

**Deutscher Bundestag**  
**11. Wahlperiode**

**Drucksache 11/6191**

03. 01. 90

Sachgebiet 2129

**Unterrichtung**  
durch die Bundesregierung

**Sondergutachten „Atlanten“ des Rates von Sachverständigen  
für Umweltfragen**

## Mitglieder des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen

Stand: April 1987

Name, Ort	Fach	Aufgabe im Rat
Wolfgang Haber, Prof. Dr. rer. nat., München/Weihestephan	Landschaftsökologie	Vorsitzender, Naturschutz, Landschaftspflege
Horst Zimmermann, Prof. Dr. rer. pol., Marburg	Volkswirtschaftslehre, Finanzwissenschaft	Stellv. Vorsitzender, ökonomische und finanzwirt- schaftliche Fragen der Umweltpolitik
Franz-Josef Dreyhaupt, Prof. Dr.-Ing., Düsseldorf	Ingenieurwissenschaft	Immissionschutz, Umweltadministration
Georges Fülgraff, Prof. Dr. med., Berlin	Medizin	Umwelt und Gesundheit, Organisationsfragen der Umweltpolitik
Helmut Greim, Prof. Dr. med., Neuherberg	Toxikologie	Toxikologie, Gesundheitsrisiken
Werner Hoppe, Prof. Dr. jur., Münster	Rechtswissenschaft	Bau- und Planungsrecht, Raumplanung
Paul Müller, Prof. Dr. rer. nat., Saarbrücken	Biogeographie, Ökologie	Ökologie
Eckard Rehbinder, Prof. Dr. jur., Frankfurt	Rechtswissenschaft	Umweltrecht
Carl-Franz Seyfried, Prof. Dr.-Ing., Hannover	Siedlungswasserwirtschaft	Gewässerschutz, Deponietechnik
Hansjörg Sinn, Prof. Dr. rer. nat., Hamburg	Chemie	Rohstofffragen, Abfallwirtschaft
Hans Willi Thoenes, Prof. Dr. rer. nat., Essen	Ingenieurwissenschaft, Naturwissenschaft	Umwelttechnik
Ekkehard Weber, Prof. Dr.-Ing., Essen	Verfahrenstechnik	Umwelttechnik, Luftreinhaltung

## VORWORT

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen legt mit dem Sondergutachten „Altlasten“ ein weiteres Gutachten vor, das einem speziellen Problem der Umweltpolitik gewidmet ist. Grundlage auch dieses Gutachtens ist der im Einrichtungserlaß festgelegte Auftrag, die Situation der Umwelt darzustellen und auf Fehlentwicklungen und Möglichkeiten zu deren Vermeidung hinzuweisen.

Wie dies bereits im Umweltgutachten 1987 angekündigt worden ist, bearbeitet der Rat zur Zeit den umfangreichen Themenkomplex Abfallwirtschaft als Teilbeitrag einer sektorübergreifenden Bewertung der Umweltpolitik der ausgehenden 1980er und beginnenden 1990er Jahre. Im Verlauf dieser Arbeiten hat sich herausgestellt, daß die Altablagerungen und Altstandorte hierin einen eigenständigen Problembereich darstellen, dem besondere Aufmerksamkeit und eine eigene wissenschaftliche Begutachtung zukommt.

Stoffeinträge in Böden, Untergrund und Grundwasser stehen an vielen Altablagerungsplätzen und Altstandorten längst nicht mehr im Gleichgewicht mit dem Reinigungs- und Regelungsvermögen dieser Umweltmedien. Umweltschädliche Stoffe, die bereits in die Umweltmedien gelangt sind oder auszutreten drohen, lassen aus Altablagerungen und Altstandorten Altlasten werden. Diese Altlasten stellen akute oder zumindest latente Gefährdungen für die menschliche Gesundheit und alle Schutzgüter der Umweltpolitik dar.

Die Erfassung der Altablagerungen und Altstandorte und die Abschätzung ihres Gefährdungspotentials müssen bundesweit beschleunigt durchgeführt werden, um alle Altlasten zuverlässig zu identifizieren. Erkannte Altlasten sind zügig zu sanieren. Nur das Zusammenwirken der verschiedenen Fachdisziplinen und das Einbeziehen der vielfältigen Erfahrungen bei der Behandlung der Altlasten werden zu optimalen Sanierungslösungen in ökologischer, ökonomischer und technischer Hinsicht führen.

Die Bewältigung des Altlastenproblems ist eine neue Aufgabe für die Umweltpolitik. Sie steht auch beispielhaft für die Weiterentwicklung von der sektoralen zur integralen Betrachtungsweise im Umweltschutz. Der Rat hat den Eindruck, daß der ganze Umfang und die ganze Problematik, insbesondere die der Altstandorte, noch unterschätzt werden. Neben den bisher die öffentliche Aufmerksamkeit bestimmenden spektakulären Einzelfällen wird sich eine neue Dimension des Altlastenproblems eröffnen, wenn die systematische Erfassung und eine erste Bewertung der Altstandorte vorliegt. Die mit Altlasten verbundenen Umweltgefährdungen und Umweltschäden sind Zeugnisse zurückliegender menschlicher Aktivitäten. Diese Umweltsünden der Vergangenheit gilt es nachträglich in den Griff zu bekommen. Alle Erkennt-

nisse, die aus dem Altlastenproblem gewonnen werden, müssen aber auch in entsprechende Maßnahmen umgesetzt werden, um Altlasten in der Zukunft zu vermeiden.

Das vom Rat vorgelegte Sondergutachten zeigt Politikern, Verwaltungen, Unternehmen und der Öffentlichkeit den derzeitigen und künftigen Handlungsbedarf auf.

Die Grundkonzeption und wesentliche Beiträge des Sondergutachtens stammen von dem Ratsmitglied Prof. Dr. Hans Willi Thoenes, der auch die dafür gebildete Arbeits- und Redaktionsgruppe mit Umsicht und Sorgfalt leitete.

Der Rat dankt den Vertretern der Ministerien und der Ämter des Bundes und der Länder, die mit ihren Beiträgen und Auskünften die Arbeiten immer wieder unterstützt haben. Besonderer Dank gebührt der Leitung und den Mitarbeitern des Umweltbundesamtes und des Statistischen Bundesamtes, die mit fachlichem Rat, bei Verwaltungsfragen sowie durch technische Hilfe bei diesem Gutachten geholfen haben.

Die wissenschaftlichen Mitarbeiter des Rates haben durch eigene Ausarbeitungen, Materialsammlungen und Diskussionsbeiträge zum Gelingen des Gutachtens wesentlich beigetragen. Im Stab der Geschäftsstelle haben Dr. Verena Brill, Dr. László Kacsóh, Ass. Stephan Krieger, Dr. Bernhard Link und als wissenschaftliche Mitarbeiter der Ratsmitglieder Dr. Jürgen Bunde, Dipl.-Ing. Benno Kier, Dipl.-Volksw. Jochen Reiche und Dr. Heidrun Sterzl mitgearbeitet. In bestimmten Arbeitsphasen haben Dipl.-Geograph Karl-Werner Benz, Ass. Michael Kruske, Ass. Eva-Maria Kuhlmann und Ass. Renate Welp den Rat unterstützt.

Die Aufgabe der Koordinierung dieses Gutachtens hat Dr. Helga Dieffenbach-Fries mit Energie und Umsicht übernommen. Sie hat auch an der Gliederung und Konzeption des Gutachtens sowohl organisatorisch als auch inhaltlich mitgewirkt, wofür sie den Dank des Rates verdient.

Als Leiter der Geschäftsstelle hat Dr. Günter Halbritter durch seine fachkundigen Ratschläge, seine organisatorische Übersicht und durch die Unterstützung des Vorsitzenden bei seinen Aufgaben wesentlich zum Gelingen des Gutachtens beigetragen. Dipl.-Volkswirt Lutz Eichler hat als stellvertretender Geschäftsführer seine langjährigen Erfahrungen in der Koordination von Gutachten in die Arbeiten eingebracht.

Die Angestellten der Geschäftsstelle haben dem Rat auch bei diesem Gutachten durch die sorgfältige und zuverlässige Erfüllung der Aufgaben in ihren Arbeitsbereichen tatkräftig unterstützt. Für diese gute Mitarbeit dankt der Rat Frau Klara Bastian, Herrn Ernst Bayer, Frau Diplom-Bibliothekarin Ursula Belusa,

Herrn Lorenz Brettinger, Frau Monika Scheib, Frau Jutta Schindehütte und Frau Dagmar Schlinke-Muschik.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen schuldet allen, die an diesem Gutachten auf vielfältige Weise mitgewirkt haben, auch den nicht namentlich Genannten Dank für ihre unentbehrliche Hilfe. Für Fehler und Mängel, die das Sondergutachten „Altla-

sten“ enthält, tragen die Mitglieder des Rates die Verantwortung.

Wiesbaden, im Dezember 1989

Wolfgang Haber  
Vorsitzender

### Inhaltsübersicht

	Seite
1 Ursachen, Abgrenzung und Dimension des Altlastenproblems .....	9
2 Grundlagen zur Beurteilung der Gefährdungen durch Altablagerungen und Altstandorte .....	32
3 Erfassung und Gefährdungsabschätzung von altlastverdächtigen Flächen .....	74
4 Sanierung von Altlasten .....	118
5 Kosten und Finanzierungsbedarf .....	172
6 Möglichkeiten der Finanzierung bei der Altlastensanierung .....	186
7 Rechtliche Aspekte bei der Altlastensanierung .....	200
8 Schlußfolgerungen und Empfehlungen .....	221

### Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite
1 Ursachen, Abgrenzung und Dimension des Altlastenproblems .....	9	1.5 Zur Akzeptanz von Altlasten und ihrer Sanierung .....	25
1.1 Ursachen für das Entstehen von altlastverdächtigen Flächen .....	9	1.5.1 Was ist Akzeptanz, und wie ist sie herstellbar? .....	25
1.2 Umweltpolitische Zusammenhänge	11	1.5.2 Bereiche der Akzeptanz bei Altlasten .....	26
1.2.1 Altlasten als Umweltschutzproblem	11	1.5.3 Vertrauen und Partizipation als Voraussetzungen für Akzeptanz .....	27
1.2.2 Auswirkungen von Altablagerungen und Altstandorten .....	13	1.5.4 Ansätze für notwendige Verbesserungen .....	29
1.2.2.1 Schadwirkungen .....	13	2 Grundlagen zur Beurteilung der Gefährdungen durch Altablagerungen und Altstandorte .....	32
1.2.2.2 Wirtschaftliche und soziale Auswirkungen .....	13	2.1 Ziele und Möglichkeiten der Beurteilung der Gefährdungen .....	32
1.3 Klassifikationskriterien und Definitionsansätze .....	15	2.2 Eigenschaften und Mengen der Stoffe .....	33
1.3.1 Möglichkeiten der Klassifikation von altlastverdächtigen Flächen ...	15	2.3 Räumliche und zeitliche Ausbreitung .....	36
1.3.2 Verschiedene Ansätze zur Altlastendefinition .....	17	2.3.1 Ausbreitungspfade .....	36
1.3.3 Vorschlag zu einer bundeseinheitlichen Definition für Altlasten .....	18	2.3.2 Standortgebene Risikofaktoren ..	37
1.4 Dimension des Problems altlastverdächtiger Flächen .....	20	2.3.3 Verhalten und Ausbreiten von Schadstoffen .....	37
1.4.1 Stand der Erfassung der altlastverdächtigen Flächen .....	20	2.4 Exposition, Schutzgüter und Nutzungen .....	40
1.4.2 Internationale Erhebungen .....	24		
1.4.3 Ausschlußaktivitäten auf Bundesebene .....	25		

	Seite		Seite
2.5	Stoff- und konzentrationsbezogene Kriterien zur Beurteilung der Verunreinigungen in Umweltmedien . . . . .	44	
2.5.1	Einführung . . . . .	44	
2.5.2	Beurteilungskriterien für Belastungen von Grund- und Oberflächenwasser . . . . .	48	
2.5.3	Beurteilungskriterien für Belastungen der Böden und des Untergrundes . . . . .	50	
2.5.4	Beurteilungskriterien für Belastungen der Luft . . . . .	52	
2.5.5	Schlußfolgerungen . . . . .	53	
2.6	Beurteilungskriterien für die Auswirkungen auf die Gesundheit . . . . .	54	
2.6.1	Einführung . . . . .	54	
2.6.2	Abschätzung der Exposition . . . . .	55	
2.6.3	Orale Aufnahme von Schadstoffen . . . . .	60	
2.6.3.1	Belastung durch kontaminierte Böden . . . . .	60	
2.6.3.2	Belastung über die Nahrungskette . . . . .	63	
2.6.3.3	Belastung über das Trink- und Brauchwasser . . . . .	66	
2.6.4	Inhalative Aufnahme von Schadstoffen . . . . .	69	
2.6.4.1	Belastung durch staubgebundene Schadstoffe . . . . .	69	
2.6.4.2	Belastung durch flüchtige Schadstoffe . . . . .	70	
2.6.5	Dermale Aufnahme von Schadstoffen . . . . .	71	
2.6.6	Kombinationswirkungen . . . . .	71	
2.6.7	Zusammenfassung . . . . .	72	
3	Erfassung und Gefährdungsabschätzung von altlastverdächtigen Flächen . . . . .	74	
3.1	Zum Vorgehen beim Umgang mit altlastverdächtigen Flächen und Altlasten . . . . .	74	
3.2	Erfassung . . . . .	77	
3.2.1	Einführung . . . . .	77	
3.2.2	Informationssammlung . . . . .	79	
3.2.3	Ergänzende Ermittlungen . . . . .	81	
3.2.4	Kataster für altlastverdächtige Flächen und Altlasten . . . . .	81	
3.2.5	Schlußfolgerungen zur Erfassung . . . . .	82	
3.3	Gefährdungsabschätzung . . . . .	84	
3.3.1	Untersuchungsmaßnahmen . . . . .	84	
3.3.1.1	Aspekte der Durchführung von Untersuchungsmaßnahmen . . . . .	84	
3.3.1.2	Geophysikalische Untersuchungen . . . . .	86	
3.3.1.3	Geologisch-hydrogeologische Untersuchungen . . . . .	87	
3.3.1.4	Chemische und physikalische Untersuchungen . . . . .	90	
3.3.1.5	Biologische Untersuchungen . . . . .	98	
3.3.2	Bewertungsverfahren . . . . .	100	
3.3.2.1	Möglichkeiten und Grenzen von Bewertungsverfahren . . . . .	100	
3.3.2.2	Bewertungsverfahren zur Ermittlung von Handlungsbedarf im Einzelfall . . . . .	102	
3.3.2.3	Verfahren der vergleichenden Bewertung zur Prioritätensetzung . . . . .	108	
3.3.2.4	Überlegungen zu derzeitigen Bewertungsansätzen . . . . .	112	
3.3.3	Konzepte zur Gefährdungsabschätzung . . . . .	113	
3.3.3.1	Anforderungen an die Konzepte . . . . .	113	
3.3.3.2	Beispiele entwickelter Konzepte . . . . .	114	
3.3.4	Schlußfolgerungen zur Gefährdungsabschätzung . . . . .	116	
4	Sanierung von Altlasten . . . . .	118	
4.1	Sanierungsziele und Sanierungsbegriff . . . . .	118	
4.2	Systematik der Maßnahmen zur Abwehr und Beherrschung von Auswirkungen aus Altlasten . . . . .	119	
4.2.1	Art der Maßnahmen . . . . .	119	
4.2.2	Ort der Durchführung von Maßnahmen . . . . .	122	
4.3	Maßnahmen und Verfahren zur Sanierung . . . . .	123	
4.3.1	Sanierungsplanung . . . . .	123	
4.3.1.1	Funktionen der Sanierungsplanung . . . . .	123	
4.3.1.2	Vorgaben für die Sanierung . . . . .	123	
4.3.1.3	Sanierungsuntersuchung und Machbarkeitsstudie . . . . .	124	
4.3.1.4	Sanierungskonzept . . . . .	126	
4.3.2	Beschreibung der Sanierungsmaßnahmen und Sanierungsverfahren . . . . .	128	
4.3.2.1	Maßnahmen und Verfahren zur Sicherung . . . . .	128	
4.3.2.1.1	Überblick über die Sicherungsmaßnahmen . . . . .	128	
4.3.2.1.2	Passive hydraulische und pneumatische Maßnahmen . . . . .	128	
4.3.2.1.3	Einkapselungsmaßnahmen . . . . .	129	
4.3.2.1.4	Verfahren zur Immobilisierung von Schadstoffen . . . . .	134	
4.3.2.2	Maßnahmen und Verfahren zur Dekontamination . . . . .	138	

	Seite		Seite
4.3.2.2.1	138	6.2.2	187
4.3.2.2.2	139	6.3	188
4.3.2.2.3	141	6.3.1	188
4.3.2.2.4	149	6.3.1.1	189
4.3.2.2.5	154	6.3.1.2	189
4.3.2.2.6	159	6.3.2	190
4.3.3	166	6.3.3	191
4.3.3.1	166	6.3.4	192
4.3.3.2	167	6.3.5	192
4.3.3.3	168	6.3.5.1	192
4.4	169	6.3.5.2	193
4.4.1	169	6.4	194
4.4.2	170	6.4.1	194
5	172	6.4.2	195
5.1	172	6.4.3	196
5.1.1	172	6.4.4	198
5.1.2	172	7	200
5.2	173	7.1	200
5.2.1	174	7.1.1	200
5.2.2	175	7.1.1.1	201
5.3	177	7.1.1.2	202
5.4	180	7.1.2	203
5.5	180	7.1.3	204
5.5.1	180	7.2	204
5.5.2	181	7.2.1	204
6	186	7.2.2	204
6.1	186	7.2.2.1	204
6.2	186	7.2.2.2	205
6.2.1	186	7.2.2.3	206
		7.2.2.4	207
		7.3	207
		7.3.1	208

	Seite		Seite
7.3.2	209	8.1.4	229
7.4	210	8.1.5	231
7.4.1	210	8.1.6	233
7.4.2	211	8.1.7	234
7.4.3	212	8.2	237
7.4.4	212	8.2.1	237
7.4.5	212	8.2.2	237
7.4.6	212	8.2.2.1	239
7.4.7	213	8.2.2.2	239
7.5	214	8.2.3	241
7.5.1	214	Anhang	242
7.5.2	215	Erlaß über die Einrichtung eines Rates von Sachverständigen für Umweltfragen beim Bundesminister des Innern	242
7.5.3	218	Literaturverzeichnis	244
8	221	Register	273
8.1	221	Verzeichnis der Abkürzungen	298
8.1.1	221	Gutachten und veröffentlichte Stellungnahmen des Rates von Sachverständigen Umweltfragen	301
8.1.2	223	Materialien zur Umweltforschung	303
8.1.3	226		



## 1 Ursachen, Abgrenzung und Dimension des Altlastenproblems

1. Schon in seinem Umweltgutachten 1974 hat der Rat die Erfassung, Behebung und Verhütung von Folgeschäden aus früherer, unsachgemäßer Abfallbeseitigung als kurz- und mittelfristige Aufgabe erwähnt (SRU, 1974, Tz. 349). Im Umweltgutachten 1978 prägte er den Begriff „Altlasten“, indem er auf die unbekanntes Risiken, die von den ca. 50 000 Altdeponien und wilden Ablagerungen ausgehen können, hinwies: „Sehr viel weniger im Gespräch als Sonderabfallbeseitigung, Abfallverringerung und -verwertung sind die Aufgaben, die als Hinterlassenschaft früherer Übelstände bei der Abfallbeseitigung zu bewältigen sind. Der Rat glaubt jedoch, daß sie ähnliche Aufmerksamkeit verdienen . . .“ (SRU, 1978, Tz. 595).

Der Rat sprach auch schon 1978 die Befürchtung aus, daß auf Dauer eine Anzahl ungesicherter alter Ablagerungsplätze mit erheblichen Emissionen als „untilgbare Altlast“ hingenommen werden muß (SRU, 1978, Tz. 657).

2. In der Zwischenzeit, hauptsächlich ab Anfang der 80er Jahre, wurde mehr und mehr die ganze Tragweite des Problems erkannt. Es stellte sich bald heraus, daß nicht nur „frühere Übelstände bei der Abfallbeseitigung“ zu Altlasten führen können, sondern auch andere Aktivitäten.

Zu den vom Rat 1978 angesprochenen alten Ablagerungsplätzen, den „Altablagerungen“, kommen die Grundstücke stillgelegter Anlagen der gewerblichen Wirtschaft oder öffentlicher Einrichtungen hinzu, von denen durch die Verunreinigung des Erdreiches eine Umweltgefährdung ausgehen kann. Für derartige Grundstücke hat sich der Begriff „Altstandorte“ eingeführt.

3. Durch anthropogene Einwirkungen verursachte Altablagerungen und Altstandorte sind jedoch nicht nur Zeugnisse vergangener Aktivitäten. Auch heute noch werden aufgrund oft gleicher Ursachen Flächen durch umweltgefährdende Stoffe verunreinigt, wenngleich in geringerer Anzahl. Das weiterhin eingeschränkte Wissen über die Eigenschaften von Stoffen und die unzureichenden Kenntnisse über deren Verhalten in Abfällen, Wasser, Untergrund, Böden und Luft sowie über die Wirkungen zum Beispiel auf Ökosysteme, aber auch Fehler und Mängel bei der Planung und Kontrolle und nicht zuletzt menschliches Fehlverhalten bewirken auch heute noch das Entstehen von Situationen, die man später vielleicht als altlastverdächtig ansehen muß.

### 1.1 Ursachen für das Entstehen von altlastverdächtigen Flächen

4. Das Problem des Entstehens altlastverdächtiger Flächen ist eng mit der Entwicklung der modernen

Industrie- und Konsumgesellschaft, der betrieblichen Praxis und der Praxis der Abfallbeseitigung in früheren Jahren verbunden; es ist nicht nur ein nationales Problem, sondern besitzt auch internationale Dimension. Bis in die 70er Jahre dieses Jahrhunderts hinein war es allgemein üblich, sich der Abfälle fast ausnahmslos ohne ausreichende Rücksicht auf den Schutz der Böden, des Untergrundes und des Grundwassers zu entledigen, indem man diese an Berghänge, auf Halden oder in natürliche und künstlich geschaffene Vertiefungen kippte oder auf eigenem Betriebsgelände vergrub.

Die Abfälle aus dem häuslichen und gewerblichen Bereich sammelten sich auf solchen Flächen weder identifiziert noch sortiert, kontrolliert oder geordnet als meist unverdichtetes Gemenge an, wobei es nicht ausbleiben konnte, daß hierbei offen oder verdeckt auch Abfälle mit umweltgefährdenden Stoffen abgelagert wurden. In diesem Zusammenhang spielt auch das Anwachsen der Chemikalien in den Abfällen aus den Haushalten bei der möglichen Verunreinigung des Erdreiches eine nicht zu unterschätzende Rolle.

5. Neben den genehmigten und geduldeten Abfallablagerungsplätzen gab es bis 1972 eine große Zahl „wilder“ Müllkippen, die als klassisches Beispiel unsachgemäßer Abfallbeseitigung anzusehen sind. Erst mit dem Inkrafttreten des Abfallbeseitigungsgesetzes im Jahre 1972 (seit 1986: Abfallgesetz) ist es gelungen, eine umfassende Neuordnung der Abfallbeseitigung einzuleiten. Etwa 40 000 unkontrollierte Ablagerungsplätze wurden geschlossen (Umweltbericht, 1976). Die bereits im Umweltprogramm der Bundesregierung von 1971 geforderte „Sanierung und Rekultivierung“ beschränkte sich jedoch in der Regel auf Abdecken und teilweise auch Bepflanzen als Rekultivierungsmaßnahme, mit der der ehemalige Ablagerungsplatz wieder in das Landschaftsbild integriert werden sollte. Viele dieser Altablagerungen gerieten dadurch in Vergessenheit.

6. Eine andere Ursache für das Entstehen altlastverdächtiger Flächen sind die Verunreinigungen der Böden und des Untergrundes durch den Umgang mit umweltgefährdenden Stoffen auf den Geländen früher betriebener Anlagen der gewerblichen Wirtschaft oder öffentlicher Einrichtungen. Es kann sich hierbei um Standorte ehemaliger Produktionsanlagen, wie z. B. Gaswerke, Kokereien, Betriebe der Chemie und Petrochemie, Betriebe der Sprengstoff-, Kampfstoff-, Brand- und Nebelstofffabrikation, Munitionsanstalten, Metallhütten, Oberflächenveredelungsbetriebe, Farbenhersteller, oder auch um das Gelände früherer Verarbeitungs-, Gewerbe- und Dienstleistungsbetriebe, wie z. B. Färbereien, Gerbereien, Schlachthöfe, Eisenbahnbetriebsstätten einschließlich des Gleisnetzes, Tankstellen und Schrottplätze, handeln.

Auf den Industrie- und Gewerbeflächen wurden häufig im Rahmen der innerbetrieblichen Entsorgung Abfälle aus der Produktion sowie sonstige gewerbliche Abfälle abgelagert, die nach heutigen Erkenntnissen als umweltgefährdend bezeichnet werden.

Durch Unterbewertung des Gefährdungspotentials, oft aber durch sorglosen und leichtfertigen Umgang nicht nur mit Abfällen, sondern auch mit Betriebsstoffen sowie durch undichte Leitungs- und Kanalsysteme und beim Abbruch von Betriebsanlagen kam es zu Verunreinigungen von Böden und Untergrund auf dem Betriebsgelände und in dessen Umgebung.

7. Weitere Ursachen für die Verunreinigung der Böden, des Untergrundes und des Grundwassers sind die Altablagerung von Munition, chemischen Kampfstoffen und Produktionsrückständen aus dem Bereich der Rüstungsindustrie sowie die kontaminierten Flächen und Abwassersysteme ehemaliger Rüstungsbetriebe; sie sind hauptsächlich vor, während und nach dem zweiten Weltkrieg entstanden und aus heutiger Sicht allgemein als „Rüstungsaltposten“ anzusehen (Interministerielle Arbeitsgruppe „Rüstungsaltposten“ des Landes Niedersachsen, 1988). Darüber hinaus sind als Verunreinigungsursachen Zerstörungen von Rüstungs- und Produktionsanlagen mit ihren Transportmitteln sowie von militärischen Einrichtungen durch Kriegereignisse und unmittelbar nach Kriegsende zu nennen; in diesem Zusammenhang ist es auch durch absichtliches Ablassen von umweltgefährlichen Flüssigkeiten aus Kesselwagen und Tanks im Vorfeld von Luftangriffen zu Versickerungen großer Schadstoffmengen in den Untergrund gekommen. Unter Einbeziehung aller vorgenannten Ursachen ist der Begriff „Kriegsfolgelasten“ umfassender als der Begriff „Rüstungsaltposten“.

8. Die beschriebene Art und Weise der Ablagerung von Abfällen vor Inkrafttreten des Abfallbeseitigungsgesetzes im Jahre 1972 und der Umgang mit den Stoffen und den Abfällen aus der Produktion in den Industrie- und Gewerbebetrieben war früher üblich und wurde damals in einem gewissen Maße als ordnungsgemäß betrachtet (SCHMIDT-SALZER, 1986). Weder Abfallerzeuger noch Abfallbeseitiger und auch nicht die Behörden nahmen Anstoß an dieser Praxis. Es wurde nicht gesehen, daß ein Gefährdungspotential nicht nur für Böden und Untergrund bestehen kann, sondern für das gesamte Ökosystem bzw. die gesamte Ökosphäre im betroffenen Einwirkungsbereich. Über die Langzeitwirkung der abgelagerten Abfälle und insbesondere über die Möglichkeit des Austritts von Schadstoffen in die Umwelt wurde nicht nachgedacht. Die Selbstreinigungskräfte von Untergrund und Grundwasser wurden weit überschätzt. Man ging davon aus, daß die Reinigungsleistung der Böden sowie des Untergrundes und die Verdünnung im Grundwasser ausreichten, um weitreichende Folgen zu verhindern.

Gestützt wurden diese Ansichten durch die damaligen Grenzen der Analytik. Konzentrationen im µg/l-Bereich und darunter waren damals nicht zu messen, und eine Vielzahl vor allem organischer Schadstoffe konnte mangels geeigneter Meßverfahren nicht erkannt werden.

9. Die Aufdeckung zahlreicher, oft schwerwiegender Umweltschäden in den letzten Jahren hat Zweifel an diesen Vorstellungen aufkommen lassen. Das von allen Beteiligten früher „übersehene Risiko“ (SCHMIDT-SALZER, 1986) wurde in seiner ganzen Tragweite erst erkannt, als

- die Entwicklung der Meßtechnik erheblich empfindlichere Nachweise der Spuren von Schadstoffen ermöglichte,
- neue Erkenntnisse über das Verhalten und über das Gefährdungspotential von Schadstoffen vorliegen,
- eine Änderung des Umweltbewußtseins im Hinblick auf den Schutz der Böden und des Untergrundes erfolgt war, unter anderem durch das Auftreten spektakulärer Fälle von Verunreinigungen.

10. Für das Entstehen von altlastverdächtigen Flächen in der Vergangenheit sind folgende Ursachen festzustellen:

- Sowohl aus mangelndem Wissen als auch wegen der Werteordnung in der wirtschaftlichen Aufbauphase wurde das Gefährdungspotential von Altlasten nicht erkannt oder zumindest unterschätzt.
- Die Beseitigung von Abfällen und insbesondere von Produktionsrückständen erfolgte auf die kostengünstigste Weise, und Schadstofffreisetzungen wurden hingenommen.
- Die erhoffte dauerhafte Bindung der in kommunalen und industriellen Abfällen enthaltenen Schadstoffe oder deren Umwandlung in schadlose Verbindungen wurde nur im Ausnahmefall erreicht, da z. B. potentiell schädliche Stoffe häufig in auslaugbarer Form abgelagert wurden und das Selbstreinigungsvermögen der Umweltmedien überschätzt wurde.
- Es fehlte an Eingangskontrollen an Deponien, die das Ablagern problematischer Abfälle mit umweltbelastenden Stoffen, z. B. aus der Industrie, zuverlässig hätten verhindern können.
- Bei der Planung von Deponien waren die technischen Möglichkeiten zur Sicherung der Schutzgüter, z. B. des Grundwassers, der Böden und des Untergrundes, nicht vorhanden; später wurden sie nicht in vollem Umfang genutzt oder gar nicht für notwendig erachtet.
- Die Entwicklung von Stoffen verlief schneller als die der Entsorgungstechniken und der Spurenanalytik.
- Die mittel- bis langfristigen Auswirkungen und Risiken von Verunreinigungen waren, gemessen am heutigen Stand der Wirkungsforschung und besonders der Analytik, nur unvollkommen zu bewerten.
- Für die komplexen und vielfach vernetzten Wirkungszusammenhänge lagen keine ausreichenden Kenntnisse zur Einschätzung der Stoffumsetzungen in Deponien oder in den Umweltmedien vor.

- Es wurde nicht durch gezielte und regelmäßige Untersuchungen ermittelt, ob von Ablagerungen oder Grundstücken mit Anlagen der gewerblichen Wirtschaft oder öffentlicher Einrichtungen Schadstoffe in die Umwelt ausgetreten waren.
- Einheitliche und rechtlich verbindliche Regelungen für eine geordnete Abfallbeseitigung wurden erst 1972 durch das Abfallbeseitigungsgesetz festgelegt.
- Erst mit der 1976 beschlossenen Novelle zum Abfallbeseitigungsgesetz wurde die Grundlage für die bundeseinheitliche Festlegung der Abfallarten geschaffen, an deren Beseitigung erhöhte Anforderungen zu stellen sind.

Obwohl einige Ursachen, die in der Vergangenheit zu altlastverdächtigen Flächen führten, inzwischen durch neue Erkenntnisse, verbesserte Kontrollen sowie durch Änderungen in den Prinzipien und Instrumenten des Abfallrechts weitgehend ausgeschaltet wurden, können nicht alle Ursachen für Verunreinigungen behoben werden. Vor allem Gleichgültigkeit und Leichtfertigkeit, die in der Vergangenheit zu Verunreinigungen beigetragen haben, spielen auch heute noch eine wichtige Rolle.

**11.** Der Rat erkennt nicht, daß die Öffentlichkeit zunehmend sensibel auf das Problem der altlastverdächtigen Flächen reagiert und sehr umfassende, teilweise sogar übersteigerte Forderungen an die Rückführung in den unbelasteten Zustand stellt. Bei der Information der Öffentlichkeit muß immer wieder darauf hingewiesen werden, daß Altablagerungen und Altstandorte in Verdacht stehen können, Gefahren für Mensch oder Umwelt zu verursachen, daß sich aber nicht jede dieser Flächen tatsächlich als gefährlich erweist. Erst eine eingehende Untersuchung und Bewertung kann Klarheit über das Gefährdungspotential einer altlastverdächtigen Fläche (Verdachtsfläche) geben.

Der Rat gibt aber zu bedenken, daß diese Klarheit nicht immer voll erreicht werden kann, weil heute sehr oft die Abläufe beim Zustandekommen der Verunreinigungen nicht mehr sicher nachvollziehbar sind, und daß trotz der Fortschritte der Meßmöglichkeiten und Erkenntnisse auch heute noch erhebliche Unsicherheiten über das potentielle Verhalten von Schadstoffen in den Umweltmedien vorhanden sind.

## 1.2 Umweltpolitische Zusammenhänge

### 1.2.1 Altlasten als Umweltschutzproblem

**12.** Die vom Rat verwendete Definition des Begriffes Umwelt (SRU, 1987, Tz. 5) als Komplex der Beziehung einer Lebensinheit zu ihrer spezifischen Umgebung schließt auch die durch menschliche Aktivitäten in der Vergangenheit entstandenen Altablagerungen, Altstandorte und Altlasten ein.

Von den im Umweltgutachten 1987 genannten vier Hauptfunktionen der Umwelt, den Produktionsfunk-

tionen, Trägerfunktionen, Informationsfunktionen und Regelungsfunktionen (SRU, 1987, Tz. 13 ff.), werden durch Altablagerungen und Altstandorte vor allem die Träger- und die Regelungsfunktionen in Anspruch genommen. Die Erfüllung der Trägerfunktionen ist gleichbedeutend mit Eingriffen in die natürliche Umwelt und Veränderungen in derselben infolge der Raumannsprüche von Altablagerungen und Altstandorten. Die Regelungsfunktionen der Umwelt werden benötigt für Stabilisierungs-, Säuberungs- und Reinigungsvorgänge in Böden, Untergrund, Grundwasserleiter und Gewässer. Sie spielen beim Abbau von Abfallstoffen sowie bei der Speicherung und Unschädlichmachung von Schadstoffen eine wichtige Rolle. Auch die Produktionsfunktionen der Umwelt, die die Versorgung des Menschen und der natürlichen Umwelt zum Gegenstand haben, werden durch Altablagerungen und Altstandorte betroffen. In Einzelfällen ist die Gewinnung von Gütern und Produkten beeinträchtigt, z. B. der Nutzpflanzenanbau in Haus- und Kleingärten oder in der Landwirtschaft sowie die Trinkwassergewinnung. Auch die Funktionsfähigkeit der natürlichen Umwelt, d. h. die Umwelt als Lebensraum für Pflanzen, Tiere und den Menschen, kann betroffen sein.

Aus der Sicht des Bodenschutzes werden die Bodenfunktionen nach Regelungsfunktion, Produktionsfunktion und Lebensraumfunktion unterschieden (SRU, 1987, Abschn. 2.2.3).

Vor allem die Überbeanspruchung der Regelungsfunktionen der Umweltmedien Wasser, Boden und Luft führen zu Umweltveränderungen, die je nach örtlicher Situation und Exposition eine Gefährdung für den Menschen und für die belebte und unbelebte Umwelt darstellen.

**13.** Es gehört deshalb zu den umweltpolitischen Zielsetzungen, die durch Altablagerungen und an Altstandorten bereits entstandenen Umweltschäden zu beseitigen und Gefährdungen der Umweltmedien und der Schutzgüter auszuschalten oder zu vermindern.

**14.** Da es sich bei den Altablagerungen und Altstandorten in der Regel um kleinräumige Belastungen handelt, sind die möglichen Schadstoffausbreitungen über die Umweltmedien Wasser und Luft auch räumlich begrenzt und haben im Vergleich zu großflächigen Schadstoffeinträgen eher lokale Bedeutung. Andererseits können in Gebieten mit zahlreichen Altablagerungen und Altstandorten vor allem die ins Grundwasser gelangenden und mit diesem transportierten Schadstoffe durchaus zu weiträumigen Verunreinigungen des Grundwassers führen. Bedrohlich werden Altlasten durch irreversible Belastungen des Grundwassers (SCHNURER, 1988).

**15.** Altablagerungen stellen weniger eine Boden- als eine Grundwassergefährdung dar; Böden sind am Altablagerungsplatz in der Regel nicht mehr vorhanden, da die Nutzung einer Fläche zur Abfallablagerung die Zerstörung der gewachsenen Böden bedeutet (SRU, 1987, Tz. 537 ff.). Häufig leitet aber das Transportmedium Wasser als Sickerwasser Schadstoffe in den Untergrund und in das Grundwasser sowie in Oberflächengewässer und in benachbarte Böden weiter.

Durch diese Ausbreitung der Schadstoffe werden das Grundwasser und Oberflächengewässer verunreinigt und gegebenenfalls gesundheitsgefährdend. Hier liegt die hauptsächliche Gefahr der altlastverdächtigen Altablagerungen. Außerdem können auf bepflanzten und bewachsenen Altablagerungen Schadstoffe von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden und dadurch in die Nahrungskette gelangen, was ebenfalls zu unerwünschten Belastungen sogar bis zu Schädigungen führen kann.

Die in einer Altablagerung auftretenden chemischen Umsetzungen können ferner zur Entstehung von Gasen führen, die sich einen Weg zur Oberfläche bahnen und dort wachsende Pflanzen und die Luft belasten (SRU, 1987, Tz. 634). Darüber hinaus sind Staubverwehungen eine mögliche Ursache für Umweltbelastungen.

**16.** Altstandorte bedeuten neben den für die Altablagerungen beschriebenen Belastungen eine mögliche Bodengefährdung. Auf den Grundstücken und Flächen ehemaliger Gewerbe-, Industrie- und Dienstleistungsbetriebe, wo umweltgefährdende Stoffe während des Betriebes oder bei Abbrüchen auf und in den Boden gebracht worden sind oder sonstwie gelangten und dadurch Böden und Untergrund verunreinigten, können bei entsprechender Anreicherung bestimmte Schadstoffe die Regelungsfunktion mit ihren Stoff- und Energieflüssen, die Produktionsfunktion beim Anbau von Nutzpflanzen und den Lebensraum nachteilig verändern. Hierdurch können die Verunreinigungen an Altstandorten auch zu einem Bodenschutzproblem werden.

**17.** Die vom Rat als wichtigste Bodenfunktion angesehene Regelungsfunktion (SRU, 1987, Tz. 550), aber auch die Lebensraumfunktion ist nicht nur auf Böden im Sinne der Definition des Rates beschränkt. Vielmehr erfüllen auch Untergrund, Grundwasserleiter, Grundwasser oder Oberflächengewässer Regulations- und Lebensraumfunktionen. Diese Funktionen werden durch die Schadstoffe in Altablagerungen und an Altstandorten in Anspruch genommen; je nach Stärke der Belastung können die Funktionen entsprechend gestört werden. Diese Störungen wirken sich zum Beispiel auf das Rückhaltevermögen und die Umwandlungs- bzw. Abbaufähigkeit für Schadstoffe nachteilig aus und beeinträchtigen die Ökosysteme „Untergrund“, „Grundwasser“ oder „Oberflächengewässer“.

**18.** Der Nachweis von Schadstoffen in Böden und im Untergrund allein beweist zunächst jedoch nur deren Bindungs- und Speicherfähigkeit. Die Priorität für umweltpolitische Maßnahmen liegt bei der Exposition des Menschen über den direkten Kontakt, über die Ausbreitung der Stoffe in den Umweltmedien Wasser und Luft oder über die Pflanzen und Tiere in der Nahrungskette.

**19.** Eng verbunden mit dem Problem der Altablagerungen und Altstandorte ist der Flächenverbrauch als ein Maß der Bodenbelastung. Die durch Altablagerungen und Altstandorte in Anspruch genommene Fläche, bezogen auf die Fläche der Bundesrepublik, ist nicht bekannt. Nach Angaben von 38 Städten in der

Bundesrepublik beläuft sich der Anteil der Verdachtsflächen auf 0,1 bis maximal 16,7% der jeweiligen Stadtgebietsflächen; im Mittel liegt der Anteil bei etwa 5% (DELMHORST, 1989; FIEBIG und OHLIG-SCHLÄGER, 1989). Diese Aussage ist allerdings nicht repräsentativ für die Bundesrepublik. Der Rat geht davon aus, daß der Wert für die von der Untersuchung erfaßten Städte noch ansteigen wird, wenn die Erfassung der Altstandorte abgeschlossen ist. Brachliegende Altstandorte und nicht sanierte Altlasten können eine an den Belangen des Umweltschutzes orientierte Stadtentwicklung behindern, indem sie den Verbrauch von Freiflächen und die Inanspruchnahme bislang weitgehend unbelasteter Böden fördern. Sie beschleunigen damit die Geschwindigkeit, mit der der besiedelte Raum in Gebiete vordringt, die zuvor dem Außenbereich zugerechnet werden konnten oder die innerhalb des Innenbereichs wichtige ökologische Ausgleichsfunktionen übernahmen.

**20.** Die Flächennutzung von Altablagerungen und Altstandorten durch Wohnbebauung führt sehr oft zu großen Umweltproblemen. Das mögliche Ausmaß dieser Probleme ist daran zu erkennen, daß aufgrund der bestehenden Bauleitplanung in 38 Städten ein Anteil von mehr als 30% der Verdachtsflächen als Bauflächen, insbesondere Wohnbau- und gewerbliche Bauflächen, vorgesehen ist (FIEBIG und OHLIG-SCHLÄGER, 1989). Nach Unterlagen aus Hessen liegen derzeit mehr als 520 Altablagerungen innerhalb von Bebauungsgebieten (ZESCHMAR-LAHL, 1988).

Auf zahlreichen Altablagerungsplätzen am Rande der Städte sind Kleingartenanlagen mit Nutzpflanzenanbau angelegt. WILLE (1988) berichtet, daß sich auf dem Gebiet einer rheinischen Großstadt mindestens 15 Kleingartenanlagen auf derzeit bekannten Altablagerungen befinden. Das in Städten bei den Bauflächen liegende Schwergewicht der Flächennutzung von Verdachtsflächen verschiebt sich in den Landkreisen vorrangig auf Landwirtschafts- und Waldflächen. Die vorliegenden Nutzungen der bisher erfaßten altlastverdächtigen Flächen lassen erkennen, daß alle Schutzgüter betroffen sein können, wenn es zu entsprechender Ausbreitung der Schadstoffe und Exposition kommt (Kap. 2.4).

**21.** Aufgrund der dargestellten Vielfalt der Möglichkeiten von Gesundheits- und Umweltgefährdungen durch Altablagerungen und Altstandorte sieht der Rat in der Erfassung und Gefährdungsabschätzung altlastverdächtiger Flächen und in der Sicherung und Dekontamination der Altlasten eine besondere und wichtige Aufgabe des Umweltschutzes. Diese Aufgabe verlangt eine medienübergreifende Denk- und Handlungsweise und steht beispielhaft für die Weiterentwicklung von der sektoralen zur integralen Betrachtungsweise im Umweltschutz.

**22.** Darüber hinaus gilt es, die bei der Erfassung, Untersuchung und Sanierung gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen zu sammeln und zu nutzen, um künftig derartige Umweltgefährdungen durch entsprechende Vorsorgemaßnahmen zu vermeiden, das heißt, für die Zukunft neue Altlasten zu verhindern.

## 1.2.2 Auswirkungen von Altablagerungen und Altstandorten

### 1.2.2.1 Schadwirkungen

**23.** Von Altablagerungen und Altstandorten kann eine Gefährdung für die Umwelt ausgehen, wenn Schadstoffe

- die Gesundheit des Menschen gefährden oder sein Wohlbefinden beeinträchtigen,
- Wasser, Böden, Luft, Pflanzen, Tiere und Ökosysteme schädlich beeinflussen.

Durch Wechselbeziehungen zwischen den vorgenannten Auswirkungen können über die Nahrungskette der Mensch, die Funktionen der Böden und des Untergrundes gefährdet oder sogar geschädigt oder die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes insgesamt nachteilig beeinflusst werden.

Darüber hinaus kann auch die Sicherheit in und von Bauwerken beispielsweise durch Explosionsgefahren und Setzungen beeinträchtigt sein.

**24.** Aufbauend auf Veröffentlichungen von SCHULDT (1987) und der Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“ der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA, 1989) wird hier der Versuch unternommen, die Möglichkeiten der Schadwirkungen durch Altablagerungen und Altstandorte auf die einzelnen Schutzgüter – soweit heute bekannt – zusammenzustellen. Das Ausmaß der schädlichen Wirkungen wird nicht allein durch die Art und Konzentration der Schadstoffe, sondern entscheidend durch die im jeweiligen Falle vorliegende Exposition bestimmt (vgl. Kap. 2).

**25.** Mögliche Schadwirkungen für den Menschen können sich ergeben durch Einatmen von Gasen und Stäuben, durch Verschlucken oder Berühren des verunreinigten Erdreiches oder Wassers, z. B. Hand-zu-Mund-Aktivität bei Kindern, durch die Aufnahme von Bodenresten an Garten- und Feldfrüchten, durch die Aufnahme von verunreinigtem Trinkwasser sowie durch den Verzehr schadstoffhaltiger Pflanzen- oder Tierprodukte. Eine Entzündung brennbarer Gase mit Brand, Verpuffung oder Explosion kann sich auf Gesundheit und Leben auswirken.

Bei den im Zusammenhang mit der Emission gasförmiger Verbindungen auftretenden Geruchsbelästigungen ist in erster Linie das Wohlbefinden des Menschen betroffen, weil die Geruchsschwelle im allgemeinen unter der Schadensschwelle liegt.

**26.** Bei den Gewässern können Schadstoffe zu schädlichen Verunreinigungen von Grundwasser bzw. Grundwassergewinnungsanlagen für Trink- und Brauchwasser sowie zu schädlichen Verunreinigungen von Oberflächengewässern, z. B. Trinkwassersperrungen und anderen der Trinkwassergewinnung dienenden Gewässern, Fischteichen und Kleingewässern, führen. Die Verunreinigung des Grundwassers kann auch die Leistungsfähigkeit der Lebensgemeinschaften im Grundwasserleiter so beeinträchtigen, daß diese ihre natürlichen Funktionen nicht mehr erfüllen können.

**27.** Die Einwirkungen auf Böden und Untergrund können sich auf die Schädigung der Regelungsfunktion, der Lebensraumfunktion und der Produktionsfunktion erstrecken. Im einzelnen können die Einwirkungen zu einer verminderten Bodenfruchtbarkeit und eingeschränkter Nutzbarkeit zur Pflanzen- bzw. Nahrungsmittelproduktion, zu einer Belastung durch Schadstoffeintrag in die Umgebung, zu Rutschungen, Sackungen, Geländeabsenkungen, Wärmebildung und zu Schadstofffreisetzungen im Baugrund durch Baumaßnahmen führen.

**28.** Bei dem Schutzgut Pflanzen können durch Sauerstoffverdrängung in der Wurzelzone Wuchsschäden und Absterben auftreten. Weiterhin kann eine Aufnahme pflanzenverfügbarer Schadstoffe aus dem Boden sowie eine Verunreinigung mit Schadstoffen über den Luftweg und über Gieß- bzw. Beregnungswasser zu einer Schadstoffanreicherung in den Pflanzen führen.

**29.** Beim Schutzgut Tier können sich durch direkte Kontakte und Inhalation sowie durch die Aufnahme von Schadstoffen mit dem Wasser und der Nahrung Gesundheits- und Wachstumsschäden sowie Schäden bei der Fortpflanzung ergeben.

**30.** Die Auswirkungen für die Landschaft können mit Einschränkungen der Lebensraum- und Erholungsfunktion, Veränderungen des Landschaftsbildes sowie mit Schädigungen naturnaher und schützenswerter Biotope und davon abhängiger Tier- und Pflanzenarten verbunden sein. Darüber hinaus kann es, wenn Gelände von Altablagerungen und Altstandorten nicht nutzbar ist, zur Inanspruchnahme bisher unverbauter Fläche an anderer Stelle kommen.

**31.** Die Einwirkungen auf Sachgüter können Schäden an Fundamenten und Materialien von Bauwerken, an Ver- und Entsorgungsleitungen, an Verkehrswegen durch Setzungen, Verschiebungen bzw. Rutschungen oder durch Stoffe, die sich aggressiv verhalten, hervorrufen.

### 1.2.2.2 Wirtschaftliche und soziale Auswirkungen

**32.** Neben den Belastungen der Biosphäre und den unmittelbar von Altablagerungen und Altstandorten ausgehenden Gefahren müssen auch Auswirkungen wirtschaftlicher und sozialer Art in die Beurteilung einbezogen werden.

Allein schon aufgrund der hohen Zahl der bisher bekannten altlastverdächtigen Flächen und des damit verbundenen großen Aufwandes für die Ermittlung, Bewertung und Sanierung bereits festgestellter oder noch aufzuspürender Altlasten ergeben sich volkswirtschaftliche Belastungen in Milliardenhöhe (s. Kap. 5), die nur in geringem Maße durch die Schaffung neuer Aufgaben für Industrie und Gewerbe bei der Altlastensanierung aufgewogen werden.

**33.** Die dadurch gebundenen finanziellen und personellen Mittel, insbesondere bei den behördlichen Stellen, gehen zumindest z. T. zu Lasten des vorbeugenden Umweltschutzes. Im Ruhrgebiet sind die Wasserbehörden zu etwa 80 % ihrer Kapazität mit Altlasten beschäftigt (Ruhrverband, pers. Mitt.). Im Bereich

der wissenschaftlichen und industriellen Forschung und Entwicklung wurden von seiten des Bundes bis Ende 1988 mehr als 90 Mio DM Fördermittel für Maßnahmen im Zusammenhang mit den Altlasten zur Verfügung gestellt (BT-Drucksache 11/2725). Bei einem durchschnittlichen Zuwendungsanteil von 50 % kann mit Investitionen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben von bisher ca. 180 Mio DM gerechnet werden. Tabelle 1.1 zeigt die Aufteilung der Fördermittel des BMFT in Höhe von 84 Mio DM für den Zeitraum 1977 bis Februar 1988. Der größte Teil des Förderungsbetrags entfällt auf die Entwicklung und Erprobung von Sanierungsverfahren.

Eine regionale Aufteilung des Förderbetrags von 84 Mio DM ergibt, daß ca. 28 % der Mittel für Vorhaben in Nordrhein-Westfalen, jeweils etwa 14 % für Vorhaben in Baden-Württemberg und Hamburg, ca. 12 % für Vorhaben in Rheinland-Pfalz sowie ca. 10 % für solche in Hessen verwendet wurden. In dieser Aufteilung spiegeln sich auch die derzeitigen regionalen Schwerpunkte der Altlastenproblematik wider.

Der Rat ist der Auffassung, daß die finanzielle Förderung für Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Altlasten auch in den nächsten Jahren fortgesetzt werden sollte.

**34.** Als positiver Aspekt kann angeführt werden, daß die bei der Altlastensanierung gewonnenen Er-

kenntnisse und Verfahren auch zu Verbesserungen auf anderen Gebieten, z. B. der Abfallverbrennung, Abgas- und Abwasserreinigung oder der Errichtung neuer Deponien, und zur Vermeidung von Fehlern im Umgang mit Stoffen und Abfällen in der Zukunft beitragen. Auch werden sich die neuen Erkenntnisse auf die Anforderungen an das Schutzgut Boden übertragen lassen.

**35.** Ähnliche Überlegungen wie zur volkswirtschaftlichen Belastung gelten auch für die betriebswirtschaftliche Situation von unmittelbar betroffenen Unternehmen, sofern nach dem Verursacherprinzip eine Schadenshaftung oder eine Verpflichtung zu Abhilfemaßnahmen gegeben ist. Die dabei auf ein Unternehmen zukommenden finanziellen Forderungen können – insbesondere bei Vorliegen schwerwiegender Verunreinigungen oder bereits weit fortgeschrittener Schadstoffausbreitung – die wirtschaftliche Substanz gefährden oder gar vernichten.

**36.** Ein solcher Vorgang wird nicht ohne Folgen für das soziale Umfeld und die Beschäftigungssituation vor allem in den Regionen mit hohem Anteil von sanierungsbedürftigen Altlasten bleiben. Auch privater Grundstücksbesitz kann durch Bodenverunreinigungen, z. B. bei einer stillgelegten Tankstelle, praktisch unverkäuflich und somit wertlos werden, wenn eine weitere Nutzung nur mit hohem Untersuchungs- und Sanierungsaufwand erreichbar ist.

Tabelle 1.1

**Forschungs- und Entwicklungsprojekte des BMFT auf dem Gebiet der Sanierung von Altlasten**  
(Zeitraum 1977 bis Februar 1988)

Art der Projekte	Anzahl der Projekte	Fördermittel	
		Mio DM	Anteil in v. H.
Sanierungsverfahren insgesamt .....	71	69,8	83,1
Dekontaminationsverfahren .....	33	36,9	43,9
– thermische Verfahren .....	8	16,1	19,1
– biologische Verfahren .....	15	15,2	18,1
– Extraktionsverfahren .....	3	2,5	3,0
– kombinierte Verfahren .....	7	3,1	3,7
Sicherungsmaßnahmen .....	19	19,1	22,8
– Verfestigung .....	2	1,3	1,6
– Einkapselung .....	17	17,8	21,2
weitergehende Behandlung .....	19	13,8	16,4
– Gasreinigung .....	3	4,9	5,8
– Sickerwasserreinigung .....	16	8,9	10,6
sonstige Projekte .....	23	14,2	16,9
– Erfassung und Feststellung .....	4	2,5	3,0
– Untersuchung und Bewertung .....	16	11,0	13,1
– Überwachung .....	3	0,7	0,8
<b>zusammen</b> .....	<b>94</b>	<b>84,0</b>	<b>100,0</b>

Quelle: SRU, nach UWD, 1988

**37.** Auswirkungen auf die Wirtschafts- und Gebietsentwicklung zeigen sich in erster Linie in Ballungsräumen, wenn durch Altlasten größere Flächen für bestimmte Nutzungen nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung stehen. Die aus struktur- oder kommunalpolitischen Gründen geplanten Maßnahmen zur Städtebau- bzw. Wirtschaftsförderung können bei der Aufbereitung und Wiedernutzung von Industrie- und Gewerbebrachflächen beträchtliche Sanierungsmaßnahmen mit hohen Kosten auslösen. Die bei der Wiederherrichtung dieser Flächen erst entdeckten Bodenverunreinigungen bzw. Altlasten müssen beseitigt werden, um die Flächen für neue Industrie- und Gewerbeansiedlungen attraktiv und verfügbar zu machen (BÖHM, 1989; Stadt Essen, 1988). Dieser Problematik trägt das neue Baugesetzbuch bereits Rechnung, indem es sowohl für den Flächennutzungsplan als auch für den Bebauungsplan eine Kennzeichnung solcher Flächen vorsieht, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind, allerdings nur, wenn es sich um für bauliche Nutzung vorgesehene Flächen handelt. Neben der Wertminderung dieser Flächen und Grundstücke ergibt sich daraus auch eine Behinderung der gegebenenfalls wünschenswerten Entwicklung von Wohn-, Gewerbe- und Industriegebieten mit unvermeidlichen negativen Folgen für die lokale Wirtschaftssituation und die Infrastruktur.

**38.** Neben den bereits im Zusammenhang mit den wirtschaftlichen Belastungen angesprochenen sozialen Auswirkungen sind auch die individuellen Einflüsse hervorzuheben. Im Vordergrund stehen dabei solche Fälle, in denen bestehende Gebäude oder ganze Wohnsiedlungen von einschneidenden Sanierungsmaßnahmen betroffen sind. Je nach Art und Umfang der erforderlichen Maßnahmen kann dies von der vorübergehenden Räumung bis zur vollständigen Aufgabe der Wohnsiedlungen führen. Wenn auch Schadenersatz und öffentliche Zuschüsse die wirtschaftlichen Folgen für die Betroffenen vermindern helfen, so sind die Auswirkungen auf das soziale Umfeld oft weitreichend. Nicht selten werden langjährig gewachsene nachbarschaftliche Beziehungen zerstört. Dadurch sind ältere Bewohner, die ihren gewohnten Lebensbereich verlassen müssen, besonders betroffen. Auch beunruhigt zahlreiche Familien die Frage, ob vor Bekanntwerden eines Altlastenverdachts oder der Feststellung einer Altlast bereits gesundheitliche Beeinträchtigungen, z. B. bei spielenden Kindern oder durch Verzehr von belasteten Gartenfrüchten, verursacht worden oder mögliche Schädigungen während und nach der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen tatsächlich auszuschließen sind. In Extremfällen sehen sich Anwohner aus Angst vor unbekanntem Folgen sogar veranlaßt, auch ohne objektiven Grund und zum Teil unter Hinnahe erheblicher finanzieller Nachteile ihr Wohneigentum aufzugeben. Andererseits können sich starke psychische Belastungen ergeben, wenn trotz dieser Befürchtungen an der Wohnung oder am Eigenheim festgehalten wird. Schließlich kann es auch dazu kommen, daß sich durch die Abwertung der Wohnqualität gerade sozial schwache Bevölkerungskreise im Einflußbereich von Altablagerungen und Altstandorten kon-

zentrieren und so neue soziale Probleme hervorgerufen werden.

Die unmittelbare Betroffenheit dieser Personen hat erhebliche Folgen für ihr Umweltbewußtsein und ihre Meinungsbildung im Hinblick auf die Akzeptanz von Sanierungsmaßnahmen (vgl. Kap. 1.5). Sie kann aber auch zu einem öffentlichen Handlungsdruck für umfangreiche Sanierungsmaßnahmen führen. Die Bürger stellen mehr und mehr den Anspruch, daß die städtebauliche Planung so beschaffen ist, daß sie Bauen ohne Gesundheitsgefährdung sicherstellt.

### 1.3 Klassifikationskriterien und Definitionsansätze

#### 1.3.1 Möglichkeiten der Klassifikation von altlastverdächtigen Flächen

**39.** Die Klassifizierung erfolgt nach verschiedenen Kriterien, die einzeln oder gemeinsam zur Abgrenzung, Lokalisierung, Identifizierung und als Hilfestellung bei den Maßnahmen zur Bewältigung des Problems der altlastverdächtigen Fläche dienen. Es werden folgende Kriterien unterschieden:

- Ursprünge der Verunreinigungen
- Zeitpunkt der Entstehung der Verunreinigung
- Ausdehnung, Volumen, Menge, Freisetzungsart
- Schadstoffarten
- Arten der Gesundheits- und Umweltgefährdung.

#### Ursprünge der Verunreinigungen

**40.** Die Ursprünge der Verunreinigung einer Fläche, von der eine Gefährdung für Mensch und Umwelt ausgehen kann, sind in ihren Möglichkeiten sicher noch nicht alle bekannt, und nicht alle von ihnen werden in diesem Gutachten behandelt (vgl. Kap. 1.1). Von den bisher bekannten Ursprüngen sind es die Ablagerungen von Hausmüll, Gewerbeabfällen, produktionsspezifischen Abfällen – darunter Schlämme aus Industrie und Gewerbe –, Bodenaushub, Bauschutt und Straßenaufbruch. Hierzu gehören auch die Aufhaltungen von Bergematerial aus Betrieben des Kohle-, Salz- und Erzbergbaues und das Verbringen von flüssigen Abfällen zum Beispiel in sogenannte Schluckbrunnen. Als weiterer Ursprung sind Anlagen und Tätigkeiten auf Grundstücken der gewerblichen Wirtschaft bzw. von öffentlichen Einrichtungen zu nennen.

Je nach Umgang mit den für Mensch und Umwelt gefährdenden Stoffen kann das Eindringen dieser festen bzw. flüssigen Stoffe von der Oberfläche her in das Erdreich und in den Untergrund eine Verteilung oder auch eine Anreicherung von Schadstoffen bewirken. Als Ursprung von Verunreinigungen müssen in diesem Zusammenhang auch kriegsbedingte Zerstörungen von Anlagen mit Freisetzung von Schadstoffen, Brände mit Löschwasser und Abrißarbeiten genannt werden.

Weitere Verunreinigungen, die lange in ihren Auswirkungen verkannt wurden, können aus länger andauernden oberirdischen und unterirdischen Leckagen stammen. So können Verunreinigungen durch oberirdische Leckagen an Einrichtungen auftreten, die umweltgefährdende Stoffe lagern oder mit deren Hilfe diese transportiert, abgefüllt oder umgeladen werden. Verunreinigungen durch unterirdische Leckagen sind an im Boden verlegten, undichten Rohrleitungssystemen oder an defekten Abwasserkanälen möglich. Ursachen für Leckagen können Verschleiß, Korrosion, Wartungsfehler oder menschliches Fehlverhalten sein.

Vergrabungen von Munition und Kampfmitteln stellen eine weitere Quelle der Verunreinigungen von Erdreich und Untergrund dar.

Weiterhin können Verunreinigungen des Erdreiches und des Untergrundes mit umweltgefährdenden Stoffen im Zusammenhang mit der Abwasserreinigung auf dem Gelände von Rieselfeldern, mit der Verbringung von Klärschlämmen aus Abwasserreinigungsanlagen und von Sedimenten aus Flüssen und Kanälen als Baggerabsaug- und -spülgut auftreten.

**41.** Während die bisher aufgeführten Verunreinigungen kleine Flächen betrafen, könnte man daran denken, auch großflächige, diffuse Belastungen der Böden unter altlastverdächtige Flächen zu fassen. Dies betrifft die durch Immissionen bedingten Depositionen von Luftschadstoffen, das Überschwemmungsmaterial belasteter Gewässer sowie die durch die Bewirtschaftung bedingten Bodenbelastungen land- und forstwirtschaftlicher Flächen. Auf diese Verunreinigungen hat der Rat in seinen Gutachten „Waldschäden und Luftverunreinigungen“ und „Umweltprobleme der Landwirtschaft“ hingewiesen (SRU, 1983 und 1985).

#### Zeitpunkt der Entstehung der Verunreinigungen

**42.** Die zeitliche Zuordnung einer Verunreinigung hinsichtlich ihrer Entstehung ist aus verschiedenen Gründen von Bedeutung. Zunächst hängt die Einstufung einer altlastverdächtige Fläche als „Alt“-ablagereung, „Alt“-standort und „Alt“-last unter anderem davon ab, daß die Belastung aus einer in der Vergangenheit bereits abgeschlossenen Aktivität resultiert. „Alt“-last heißt dabei im wesentlichen, daß die Ursachen der Belastung in einem früheren, inzwischen abgeschlossenen Vorgang liegen, das heißt, Altlasten werden hier als Folgelasten verstanden.

Für den Bereich der Ablagerung von Abfällen lassen sich nach KLOEPFER (1987) aufgrund des Zeitpunktes ihrer Entstehung oder des Betriebszeitraums der Ablagerung im Hinblick auf die jeweiligen rechtlichen Eingriffsmöglichkeiten uralte, echte alte, unechte alte und neue Kontaminationen bzw. Lasten unterscheiden. In rechtlicher Hinsicht wird in Kapitel 7.1 nach dem zeitlichen Geltungsbereich der einschlägigen Vorschriften differenziert, wobei der Rat auf eine Begriffsbildung der genannten Art verzichtet. Derartige Zuordnungen dürfen nach Ansicht des Rates nicht der Problemdifferenzierung hinsichtlich des

Gefährdungspotentials und der Sanierungstechnik dienen.

Unter naturwissenschaftlich-technischen Aspekten besteht häufig die Möglichkeit, aus dem Zeitpunkt der Entstehung von Verunreinigungen in Verbindung mit anderen Informationen über die Art und die Ursachen einer Altlast auf das Gefährdungspotential zu schließen und Hinweise auf Sanierungsmöglichkeiten zu gewinnen (s. Kap. 3).

#### Ausdehnung, Volumen, Menge, Freisetzungsart

**43.** Unter räumlichen Gesichtspunkten kann zwischen

- punktförmigen,
- kleinflächigen, d. h. räumlich enger begrenzten, sowie
- großflächigen, d. h. weiträumigen und meist diffusen,

Belastungen unterschieden werden.

Zu den Belastungen, die zum Bereich der Altlasten führen, werden die großflächigen nicht gezählt, da in der Regel hier die Schadstoffe diffus verteilt sind und das Gefährdungspotential je Flächeneinheit im allgemeinen nicht so hoch anzusetzen ist.

**44.** Das Kriterium des Volumens der kontaminierten Masse kann auf

- das Gesamtvolumen der abgelagerten Abfälle einer Altablagerung,
- den Anteil und die Verteilung von bestimmten Abfällen im Abfallkörper, z. B. fünf Fässer mit Chemikalien in einer Bauschuttdeponie, sowie
- die Ausdehnung der Verunreinigung im Bodenkörper und/oder Grundwasserkörper

angewandt werden.

**45.** Zusätzlich zur Ausdehnung und zum Volumen ist zum einen die Menge des Abfalls, zum anderen die Menge der Schadstoffe im Abfall, im Wasser oder Bodenkörper ein Unterscheidungsmerkmal.

**46.** Schließlich kann die Art der Schadstofffreisetzung als gasförmige oder flüssige, z. B. wäßrige, ölige, aber auch als feste Phase, z. B. Staub, zur Klassifikation der Verunreinigung herangezogen werden. Bezüglich der Emission kann als Klassifikationsmerkmal auch der Ausbreitungspfad, z. B. Wasserpfad, verwendet werden (Abschn. 2.3.1).

#### Schadstoffarten

**47.** Bei der Erfassung, Begriffsbestimmung und Klassifikation der Verunreinigungen spielt die Art der Schadstoffe eine wichtige Rolle. Wegen der großen Zahl der Schadstoffe und der Vielfalt der unter Verdacht stehenden Betriebe ist es zweckmäßig, die Schadstoffe in Stoffgruppen einzuteilen und diese den potentiellen Emittenten entsprechenden Wirtschafts-



zweigen (Branchen) zuzuordnen (KINNER et al., 1986; siehe weitere Hinweise in Kap. 2.2, Tab. 2.1 und Abschn. 3.2.2).

Die von KINNER et al. (1986) vorgeschlagene Einteilung ist vornehmlich für die Verunreinigungen von Böden und Untergrund gedacht, ist aber weitgehend auch für Verunreinigungen von Gewässern, d. h. für Grund- und Oberflächenwasser, gültig. Im einzelnen sind jedoch Unterschiede vorhanden, denn manche Stoffe sind aufgrund der jeweiligen physikalisch-chemischen Eigenschaften der Stoffe bzw. der Umweltmedien eher im Bodenkörper, andere mehr im Grundwasser zu finden.

**48.** Die Bestimmung der Stoffgruppen bzw. einzelner Stoffe ermöglicht Rückschlüsse auf die Herkunft der abgelagerten Abfälle in den Altablagerungen und auf die Herkunft der Verunreinigungen an den Altstandorten. Die in den Medien verwendete Bezeichnung „Chemiemüll“ macht diesen Zusammenhang deutlich.

Die stoffliche Unterscheidung bietet auch Möglichkeiten zur Ermittlung des Alters einer Verunreinigung, wenn bekannt ist, wann solche Stoffe hergestellt wurden. Derartige Feststellungen lassen auch Rückschlüsse auf das mögliche Vorkommen anderer, bisher nicht festgestellter Stoffe zu.

Da in Altablagerungen und an Altstandorten nicht ohne weiteres die Abwesenheit von Schadstoffen vorausgesetzt werden kann, werden im folgenden Altablagerungen und Altstandorte bis zu ihrer endgültigen Bewertung als altlastverdächtige Flächen (Verdachtsflächen) bezeichnet (s. Tz. 61).

#### Arten der Gesundheits- und Umweltgefährdung

**49.** Auf der Grundlage einer Gefährdungsabschätzung lassen sich altlastverdächtige Flächen hinsichtlich ihres Gefährdungspotentials einteilen. Die die Gesundheits- und Umweltgefährdung bestimmenden Faktoren sind die Eigenschaften der Schadstoffe, das Verhalten und Ausbreiten der Schadstoffe (Transportphänomene), ihre Wirkungen auf Schutzgüter sowie standortgegebene und nutzungsorientierte Risikofaktoren (s. Kap. 2).

Die Arten der Gefährdungen werden bestimmt durch das Ausmaß und die Dauer von Belastungen infolge der Schadstoffanreicherung in Böden und im Untergrund, der Emissionen von Gasen, Staub und Gerüchen sowie von flüssigen Emissionen, aber auch durch Direktkontakt mit Schadstoffen. Durch diese Vorgänge können Gefährdungen für Menschen, Tiere und Pflanzen sowie für die Schutzgüter Luft, Boden, Grund- und Oberflächenwasser auftreten. Bei altlastverdächtigen Flächen sind das Schutzgut menschliche Gesundheit und damit die Schutzgüter, die sich darauf auswirken, wie z. B. die Qualität des Grundwassers im Zusammenhang mit der Trinkwasserversorgung, vorrangig zu betrachten. Von besonderer Bedeutung sind die jeweiligen Ausbreitungspfade (s. Abschn. 2.3.1), die die Expositionsmöglichkeiten gegenüber den Schadstoffen bestimmen (s. Kap. 2.4).

**50.** Die von Altlasten ausgehenden Gefährdungen können in akute und latente Gefährdungen der Schutzgüter unterschieden werden. Unter akut wird dabei in Übereinstimmung mit dem polizei- und ordnungsrechtlichen Gefahrenbegriff ein Zustand verstanden, der schon Schäden bzw. Beeinträchtigungen der Schutzgüter verursacht hat bzw. bei ungehindertem Ablauf des Geschehens in überschaubarer Zukunft mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu einem Schaden an einem oder mehreren Schutzgütern der öffentlichen Sicherheit führen wird (BREUER, 1986; vgl. Kap. 7.3).

Sind schädliche bzw. nachteilige Umwelteinwirkungen oder Gesundheitsbeeinträchtigungen mit einer gewissen Eintrittswahrscheinlichkeit, die im Sinne des polizeirechtlichen Gefahrenbegriffs als noch nicht hinreichende Wahrscheinlichkeit zu bezeichnen ist, erst zukünftig zu besorgen, kann man von einer latenten Gefährdung der Schutzgüter sprechen. (Beispiel: gefährliche Stoffe, die sich in abgelagerten dichten Fässern befinden.)

Altlastverdächtige Flächen mit einem latenten Gefährdungspotential können mit der Zeit zu Flächen mit einer akuten Gefährdung werden. Auf der anderen Seite ist auch denkbar, daß zum Beispiel durch Abbauvorgänge im Laufe der Zeit auch das latente Gefährdungspotential abnimmt bzw. ganz verschwindet.

**51.** Art und Grad der Gesundheits- und Umweltgefährdungen bestimmen sich nicht nur durch die Schadstofflast, sondern auch durch die Art der Nutzung der altlastverdächtigen Fläche und ihrer Umgebung, so z. B. Wohnbebauung, Trinkwassereinzugsgebiet, landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung (s. Kap. 2.4).

**52.** Das Ergebnis der Gefährdungsabschätzung führt zu einer Einteilung in ungefährliche, beobachtungs- und überwachungsbedürftige, sanierungsbedürftige sowie schutz- und beschränkungsbedürftige Flächen.

Das jeweilige Potential der Gesundheits- und Umweltgefährdung wird sowohl bei der ersten abschätzenden Bewertung von altlastverdächtigen Flächen zur Festlegung von Untersuchungsprioritäten als auch bei der weiteren Bearbeitung und abschließenden Gefährdungsbeurteilung zur Ermittlung der Notwendigkeit und Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen herangezogen (s. Kap. 3).

#### 1.3.2 Verschiedene Ansätze zur Altlastendefinition

**53.** Als Sammelbegriff stehen Altlasten für unangenehme, aus heutiger Sicht unerwünschte Geschehnisse, die durch ihre vergangene Entstehung abgeschlossen sind, in ihren Umweltauswirkungen jedoch gegenwärtiges Handeln erfordern (s. a. EBERLE, 1989).

Mit Blick auf die verschiedenen Kriterien, nach denen Altlasten aus Altablagerungen und Altstandorten klassifiziert werden können, ist es nicht überraschend, daß zahlreiche Definitionen für Altlasten vorliegen,

aber eine allgemein verbindliche bisher noch nicht existiert. In den letzten Jahren sind von verschiedenen Seiten Definitionen veröffentlicht worden.

Die Breite der Begriffsbestimmungen ist dadurch gekennzeichnet, daß man

- auf frühere Tatbestände, z. B. Kippen, Ablagern, Aufhalden, d. h. handlungsbezogen,
- auf ehemalige Standorte, z. B. Ablagerungsplätze, Gewerbe- bzw. Industriegrundstücke, d. h. ortsbezogen,
- auf die erfolgte Verunreinigung mit ihren belastenden Nachwirkungen, z. B. Schadstoffanreicherungen im Bodenkörper und im Grundwasser, d. h. wirkungsbezogen,

als Kriterien abstellt.

**54.** Unter dem Begriff Altlasten, der im Umweltgutachten 1978 (SRU, 1978) zunächst nur im Zusammenhang mit verlassenen und stillgelegten Abfallablagerungsplätzen (Altablagerungen) angewendet wurde, werden heute in den verschiedenen Definitionen unterschiedliche Belastungen zusammengefaßt. In alle Definitionen sind die Altablagerungen einbezogen und in die meisten kontaminierte ehemalige oder stillgelegte Betriebsstandorte. Einige Definitionen schließen auch Verunreinigungen durch undichte Leitungen und Kanalsysteme oder vergrabene Kampfstoffe ein. Auch Verunreinigungen von Böden im Bereich der Landwirtschaft werden vereinzelt unter Altlasten angeführt (DELMHORST, 1986). LOSCH und NAKE (1988) bezeichnen die Seitenstreifen von vielbefahrenen Straßen auch als Altlasten.

**55.** Nach der Definition des Umweltbundesamtes werden „kontaminierte Flächen“ wie großflächige Bodenverunreinigungen durch industriell bedingte Schadstoffemissionen oder Rückstände von Pflanzenbehandlungsmitteln in der Landwirtschaft von den „kontaminierten Standorten“ abgegrenzt und gehen nicht in die Altlastendefinition ein. Vergrabene Kampfstoffe oder Belastungen durch Leckagen in Leitungen oder Abwasserkanälen sind in die Definition einbezogen (FRANZIUS, 1986).

Das Umweltbundesamt verbindet mit dem Begriff „Altlasten“ das Risiko der Umweltgefährdung. Zur Abgrenzung werden die Begriffe „problematisch“ und „unproblematisch“ verwendet (UBA, 1983). Das Risiko wird von der Art des Schadstoffes, seiner Ausbreitung und seiner Wirkung bestimmt.

**56.** Die Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“ der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) bezeichnet als Altlasten bestimmte Flächen mit Verunreinigungen in Böden oder Untergrund, die in der Vergangenheit begründet sind und die menschliche Gesundheit, die Umwelt oder sonst die öffentliche Sicherheit gefährden oder stören (LAGA, 1989). Nach Auffassung aller Länder gelten Altablagerungen und Altstandorte in der Regel als altlastverdächtig. Sonstige Bodenverunreinigungen, die beispielsweise durch

- Einwirkung von Luftverunreinigungen,
- Überschwemmungen,

- Verrieselung von Abwässern,
- Aufbringen von belasteten Schlämmen,
- Anwendung von heute verbotenen Pflanzenschutzmitteln,
- Leckagen in Rohrleitungen

entstanden sein können, werden dagegen nicht von allen Ländern zu den altlastverdächtigen Flächen gerechnet (LAGA, 1989). Die novellierten Abfallgesetze der Länder Nordrhein-Westfalen und Hessen enthalten auch eine Definition für Altlasten.

Der Rat empfiehlt eine bundeseinheitliche Definition, für die in Abschnitt 1.3.3 ein Vorschlag unterbreitet wird.

### 1.3.3 Vorschlag zu einer bundeseinheitlichen Definition für Altlasten

**57.** Eine einheitliche Handhabung des Altlastenbegriffs in der Bundesrepublik stellt eine wesentliche Voraussetzung dar, und zwar für

- die gleichartige Erfassung und Beurteilung altlastverdächtiger Flächen,
- die Festlegung von Handlungsprioritäten auch unter ökonomischen Aspekten, z. B. für die optimale Verwendung der verfügbaren Mittel,
- den Erfahrungsaustausch zwischen den zuständigen Stellen im Inland und mit dem Ausland,
- die Vergleichbarkeit und damit Übertragbarkeit von Sanierungslösungen,
- die Erfolgskontrolle der praktischen Umweltpolitik.

**58.** Der Rat schlägt die folgende Definition vor:

Altlasten sind Altablagerungen und Altstandorte, sofern von ihnen Gefährdungen für die Umwelt, insbesondere die menschliche Gesundheit, ausgehen oder zu erwarten sind.

1. Altablagerungen sind

- verlassene und stillgelegte Ablagerungsplätze mit kommunalen und gewerblichen Abfällen,
- stillgelegte Aufhaldungen und Verfüllungen mit Produktionsrückständen auch in Verbindung mit Bergematerial und Bauschutt sowie
- illegale („wilde“) Ablagerungen aus der Vergangenheit;

2. Altstandorte sind

- Grundstücke stillgelegter Anlagen mit Nebeneinrichtungen,
- nicht mehr verwendete Leitungs- und Kanalsysteme sowie
- sonstige Betriebsflächen oder Grundstücke,

in denen oder auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen wurde, aus den Bereichen der

gewerblichen Wirtschaft oder öffentlicher Einrichtungen.

59. Diese Definition erlaubt eine systematische Unterscheidung von Altlasten und neuen umweltgefährdenden Verunreinigungen, die durch andauernde Aktivitäten verursacht werden; dementsprechend rechnen

- Verunreinigungen der Böden und des Untergrundes durch in Betrieb befindliche Anlagen aus dem Bereich der gewerblichen Wirtschaft oder der öffentlichen Einrichtungen einschließlich Umschlag- und Lagerplätze sowie
- Versickerungen von umweltgefährdenden Stoffen aus undichten, noch in Betrieb befindlichen Rohrleitungen und Abwässerkanälen

nicht zu den Altlasten.

Weiterhin beschränkt sich die Definition auf die kleinflächigen, d. h. räumlich enger begrenzten Flächen und schließt aus Gründen, die in Tz. 41 und 43 erläutert sind, die großflächigen, weiträumigen und diffusen Belastungen aus. Nicht erfaßt sind damit

- Depositionen von Luftverunreinigungen oder radioaktiver Stoffe,
- Belastungen von Bodenoberflächen durch Überschwemmungen,

- Fremdstoffeintrag bei der Bewirtschaftung gärtnerisch, forst- und landwirtschaftlich genutzter Flächen,
- Fremdstoffeintrag beim Aufbringen von Abwasser, Klärschlamm, Fäkalien, Baggergut,
- Verunreinigungen von Böden und Gewässern durch Transportunfälle sowie
- Versickerungen und Altablagerungen im Bereich der privaten Haushalte, obwohl diese Auswirkungen im Einzelfall durchaus ein erhebliches Problem darstellen können.

60. Der Rat ist sich bewußt, daß es sich bei diesem Definitionsansatz und bei der Abgrenzung um eine Konvention handelt, die sich auf die heute erkennbaren Schwerpunkte des Altlastenproblems konzentriert. Kriegs- und rüstungsbedingte Altlasten können sowohl dem Bereich der Altablagerungen als auch dem der Altstandorte zugerechnet werden.

Der Rat befürwortet eine bundesgesetzliche Initiative, durch die Bund und Länder an die oben genannte Definition für Altlasten gebunden werden.

61. In Tabelle 1.2 sind die räumlichen Verbreitungstypen der Belastung, die Verunreinigungsursachen sowie die Zuordnung der Begriffe Altablagerung, Altstandort und Altlast zusammengestellt.

Tabelle 1.2

**Einteilung und Bewertung von altlastverdächtigen Flächen**

räumlicher Verbreitungstyp der Belastung	Ursachen der Verunreinigung	altlastverdächtige Flächen	Bewertung nach Gefährdung mit Bezeichnung des Verunreinigungsbereichs
kleinflächige, räumlich enger begrenzte Belastung	Ablagern von Stoffen auf nichtbetrieblichen und betriebseigenen Ablagerungsplätzen sowie illegale Ablagerungen: – Siedlungsabfälle – gewerbliche Abfälle – Erdaushub, Bauschutt – Bergematerial	verlassene und stillgelegte Ablagerungsplätze <b>Altablagerungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· mit akuter Gefährdung</li> <li>· mit latenter Gefährdung</li> <li>· ohne Gefährdung → keine Altlast</li> </ul> <p style="text-align: right;"><b>Altlasten</b></p>
	Entweichen von Stoffen: – aus Anlagen und Nebeneinrichtungen der gewerblichen Wirtschaft oder öffentlicher Einrichtungen – aus Lager- und Transporteinrichtungen (Umschlag- und Lagerplätze sowie Rohrleitungen, Abwasserkanäle etc.)	Grundstücke stillgelegter Anlagen und Nebeneinrichtungen; Leitungs- und Kanalsysteme sonstige Betriebsflächen oder Grundstücke !) <b>Altstandorte</b>	

1) Hierbei handelt es sich um Betriebsflächen oder Grundstücke, auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen wurde.

Quelle: SRU

Die Begriffe Altablagerung und Altstandort sind hinsichtlich ihrer Verunreinigungs- und Gefährdungssituation wertfreie Bezeichnungen. Bei diesen Flächen besteht aber aus den in Kapitel 1.1 genannten Gründen der Verdacht, daß Verunreinigungen vorliegen und daß diese eine Gefährdung für Mensch und Umwelt bedeuten können.

Diese Flächen werden deshalb, bis der Verdacht verifiziert oder falsifiziert werden kann, als altlastverdächtige Flächen (Verdachtsflächen, auch gefahrverdächtige Flächen) bezeichnet. Ergibt die Untersuchung einer Fläche und die Bewertung der vorgefundenen Verhältnisse, daß eine Gefahr für Mensch und Umwelt besteht oder zu besorgen ist, gilt die Fläche als Altlast. Diese auf das Vorhandensein einer Gefährdung der Umwelt bezogene Definition des Altlastenbegriffes sieht der Rat nicht als einen im Sinne des umfassenden Umweltschutzes eingrenzenden Begriff an. Jede Altablagerung und jeder Altstandort wird im Rahmen der Erfassung zu einer altlastverdächtige Fläche, die hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen zu bewerten ist.

#### 1.4 Dimension des Problems altlastverdächtigter Flächen

##### 1.4.1 Stand der Erfassung der altlastverdächtigten Flächen

**62.** Die in Kapitel 1.2 dargestellten mit Altlasten verbundenen Probleme machen es notwendig, alle altlastverdächtige Flächen in der Bundesrepublik zu erfassen und ihre Gefährdungspotentiale zu ermitteln.

**63.** In allen Bundesländern laufen Aktionen zur Erfassung altlastverdächtigter Flächen. Die Entwicklung der Zahlen seit 1983 zeigt Tabelle 1.3. Durch das systematische Vorgehen hat sich die Anzahl seit 1983 um 20 000 altlastverdächtige Flächen erhöht.

Tabelle 1.3

##### Zeitliche Entwicklung der Erfassung altlastverdächtigter Flächen in der Bundesrepublik Deutschland

Stand der Erhebungen	bis 1983	bis 1985	bis 1988
Anzahl	ca. 28 000	ca. 35 000	ca. 48 000
Angaben aus	Daten zur Umwelt, UBA, 1984	Daten zur Umwelt, UBA, 1986/87	BT-Drucksache 11/4104

Quelle: Zusammenstellung SRU

**64.** Aus den Zahlenwerten in Abbildung 1.1 und Tabelle 1.4 errechnet sich für Ende 1988 eine Gesamtzahl von 48 377 altlastverdächtigten Flächen.

**65.** Die vorliegenden Zahlen machen jetzt schon deutlich, daß nicht alle Bundesländer gleichermaßen

von den Problemen der Altablagerungen und Altstandorte betroffen sind. Sowohl nach der Art der Verunreinigungen als auch nach der Anzahl und schwerpunktmäßigen Verteilung bestehen Unterschiede zwischen den Ländern mit hohem Industrieanteil und den eher landwirtschaftlich orientierten Bundesländern. Eine Verschärfung der Lage ergibt sich vor allem für die vom industriellen Strukturwandel betroffenen Länder. In den eher landwirtschaftlich ausgerichteten Ländern ist bei einer insgesamt geringeren Zahl von altlastverdächtigten Altablagerungen und Altstandorten freilich nicht auszuschließen, daß auch hier im Einzelfall erhebliche technische und finanzielle Anstrengungen für Untersuchung und Sanierung erforderlich werden.

Nach Angaben der Länder ist, wie aus Tabelle 1.4 ersichtlich, in keinem Bundesland die Erfassung abgeschlossen. Besonders fehlt es noch an der systematischen Erfassung der Altstandorte und der Flächen, die im Verdacht stehen, kriegs- und rüstungsbedingte Altlasten zu sein.

**66.** Zu den altlastverdächtigten Altstandorten zählen zum Beispiel auch die Grundstücke stillgelegter Tankstellen. Hier können Bodenverunreinigungen durch Mineralölprodukte vermutet werden. Ende 1968 waren 46 859 Tankstellen in Betrieb. Durch Straffung des Vertriebes waren es Ende 1988 nur noch 18 928 (MWV, 1988), so daß mit 27 931 stillgelegten Tankstellen gerechnet werden muß, die durchaus als Verdachtsflächen angesprochen werden können. Ein Teil dieser stillgelegten Tankstellen wird in den bisher erfaßten 7 863 Altstandorten enthalten sein.

**67.** Die systematische Erfassung aller rüstungsaltlastverdächtigten Flächen erfolgte erst in einigen Bundesländern (LIERSCH, 1989; SCHULDT, 1988). Als Beispiel ist der Stand der Erfassung in Niedersachsen dargestellt (Abb. 1.2).

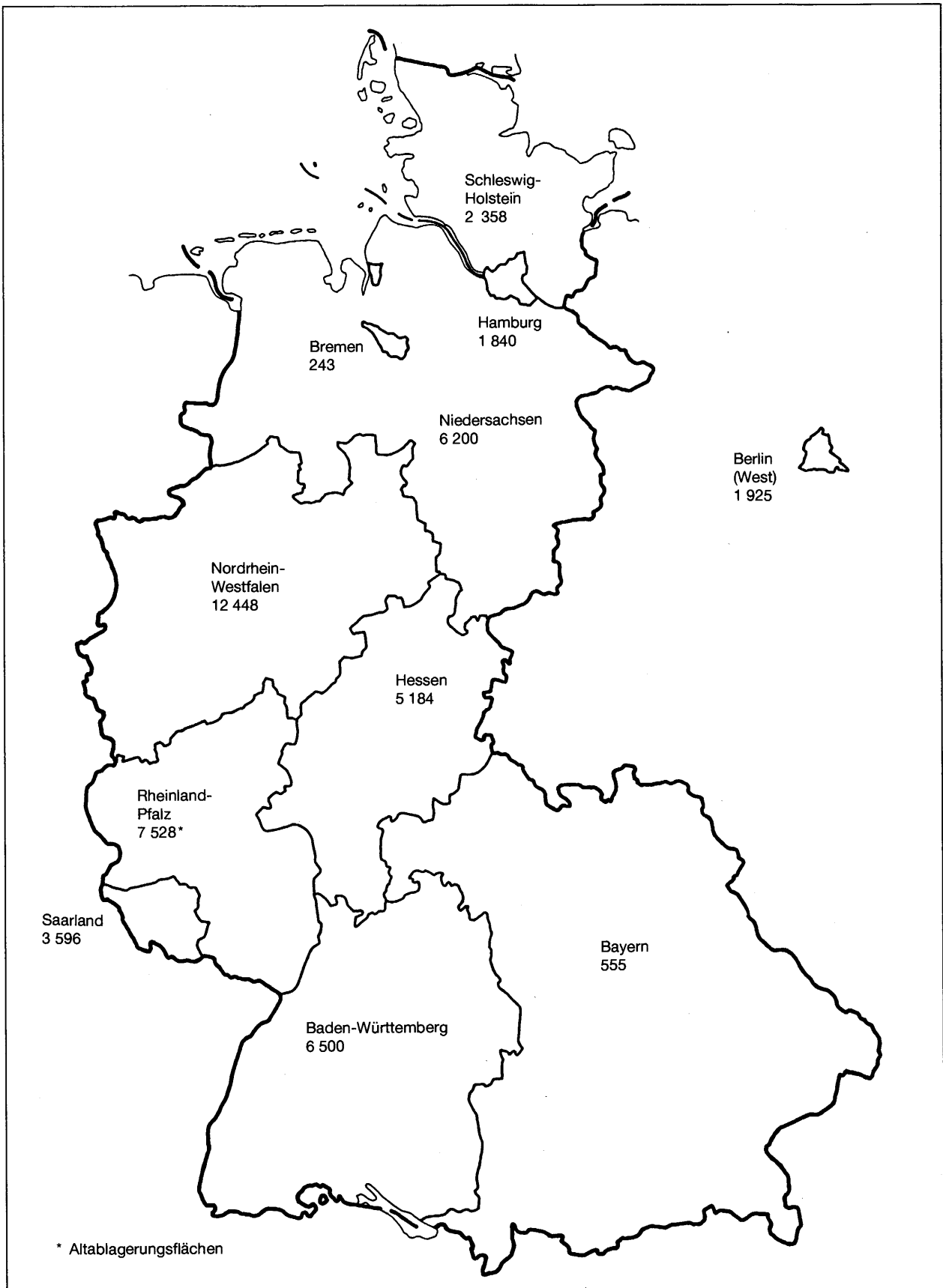
**68.** Der Rat rechnet in der nächsten Zeit mit einer erheblichen Zunahme der Zahl von altlastverdächtigten Flächen, so daß Prognosen von insgesamt über 70 000 altlastverdächtigten Flächen (FRANZIUS, 1989 a; UBA, 1988/89) als realistisch angesehen werden müssen.

Der Rat muß deshalb feststellen, daß die vorliegenden Zahlen nur ein Zwischenergebnis darstellen. Sie sind auch noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, da die Erfassungsbehörden nach unterschiedlichen Auswahlkriterien vorgehen. Hinzu kommt, daß bei einer ersten Erfassung in der Regel zunächst alle Hinweise auf mögliche Altablagerungen und Altstandorte ungeprüft übernommen werden. Im Zuge weiterer Erfassungsmaßnahmen müssen alle diese Hinweise überprüft werden; wenn sich ein Verdacht als nicht haltbar erweist, muß die betroffene Fläche ausgesondert werden.

Die bisher zur Verfügung stehenden Zahlenangaben der einzelnen Länder sind deshalb nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar; so ist es noch verfrüht, wenn man aus den Zahlenangaben für die Bundesländer eine spezifische Kennzahl der Altablagerungs- bzw. Altstandortdichte pro km<sup>2</sup> errechnet.

Abbildung 1.1

Anzahl der erfaßten altlastverdächtigen Flächen in der Bundesrepublik Deutschland (Stand 1988)



Quelle: SRU, nach BT-Drucksache 11/4104

Tabelle 1.4

## Erfassungsgrad der Altablagerungen und Altstandorte

Land	Altablagerungen	Altstandorte	Erfassung weitgehend abgeschlossen	Kriegsfolgelasten (in Gesamtzahl enthalten)	Stand der Erhebung
Baden-Württemberg ...	6 500	keine Angaben	nein <sup>2)</sup>	keine Angaben	21. September 1988
Bayern .....	482	73	nein <sup>3)</sup>	keine Angaben	30. September 1988
Berlin .....	332	1 593	nein	ca. 25 %	7. Oktober 1988
Bremen .....	74	169	nein	5–10 %	31. Dezember 1988
Hamburg .....	1 550	290	nein <sup>1)</sup>	ca. 70	31. Dezember 1988
Hessen .....	5 123	61	nein <sup>4)</sup>	2 <sup>5)</sup>	6. September 1988
Niedersachsen .....	6 200	keine Angaben	nein <sup>1)</sup>	67	31. Dezember 1988
Nordrhein-Westfalen ..	8 639	3 809	nein <sup>1)</sup>	117 Kriegs-schäden <sup>7)</sup>	31. Dezember 1988
Rheinland-Pfalz .....	7 528	keine Angaben	nein <sup>1)</sup>	30	1. Januar 1989
Saarland .....	1 728	1 868	nein	1	31. Dezember 1988
Schleswig-Holstein ....	2 358	keine Angaben	nein <sup>1)</sup>	6 <sup>6)</sup>	14. September 1988
Gesamt .....	40 514	7 863			

1) Altstandorte müssen noch erfaßt werden bzw. werden z. Z. erfaßt

2) wird im Rahmen eines Pilotprojekts vorbereitet, insbesondere für Altstandorte

3) landesweite Erhebung 1985 begonnen und bei knapp 50 % der Gebietskörperschaften durchgeführt

4) bisher nur Gaswerksstandorte erfaßt

5) 8 weitere Verdachtsflächen werden überprüft

6) in 8 regionalen Schwerpunktbereichen des Landes und 7 küstennahen Seegebieten werden Kriegsfolgelasten vermutet

7) nicht in Gesamtzahl enthalten

Quelle: Zusammenstellung SRU, nach Angaben der Bundesländer für BT-Drucksache 11/4104

**69.** Um ein eindeutiges Bild über die erfaßten registrierten Altablagerungen und Altstandorte zu erhalten, empfiehlt der Rat, Übersichten gemäß der Zusammenstellung aus Nordrhein-Westfalen (Tab. 1.5) für alle Bundesländer anzufertigen, wobei aber noch die Position Altstandorte nach Industrie- und Dienstleistungszweigen unterteilt werden sollte. Hieraus lassen sich dann Art und Umfang der altlastverdächtigen Flächen in der Bundesrepublik Deutschland eindeutiger und differenzierter erkennen. Von Interesse wäre auch festzustellen, ob es größere Zahlen der gleichen Altstandorttypen gibt, z. B. stillgelegte Tankstellen, die zu einer gewissen Standardisierung in der Gefährdungsabschätzung und Sanierung führen könnten.

**70.** In der „Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung“ vom 7. März 1985 (BT-Drucksache 10/2977) ist als Ziel festgelegt, daß alle Informationen über Altlasten innerhalb der nächsten fünf Jahre auszuwerten und bundeseinheitlich zu erfassen sind. Der Rat hofft sehr, daß dieser Termin eingehalten wird. Entsprechende Personalengpässe müßten hierzu beseitigt werden.

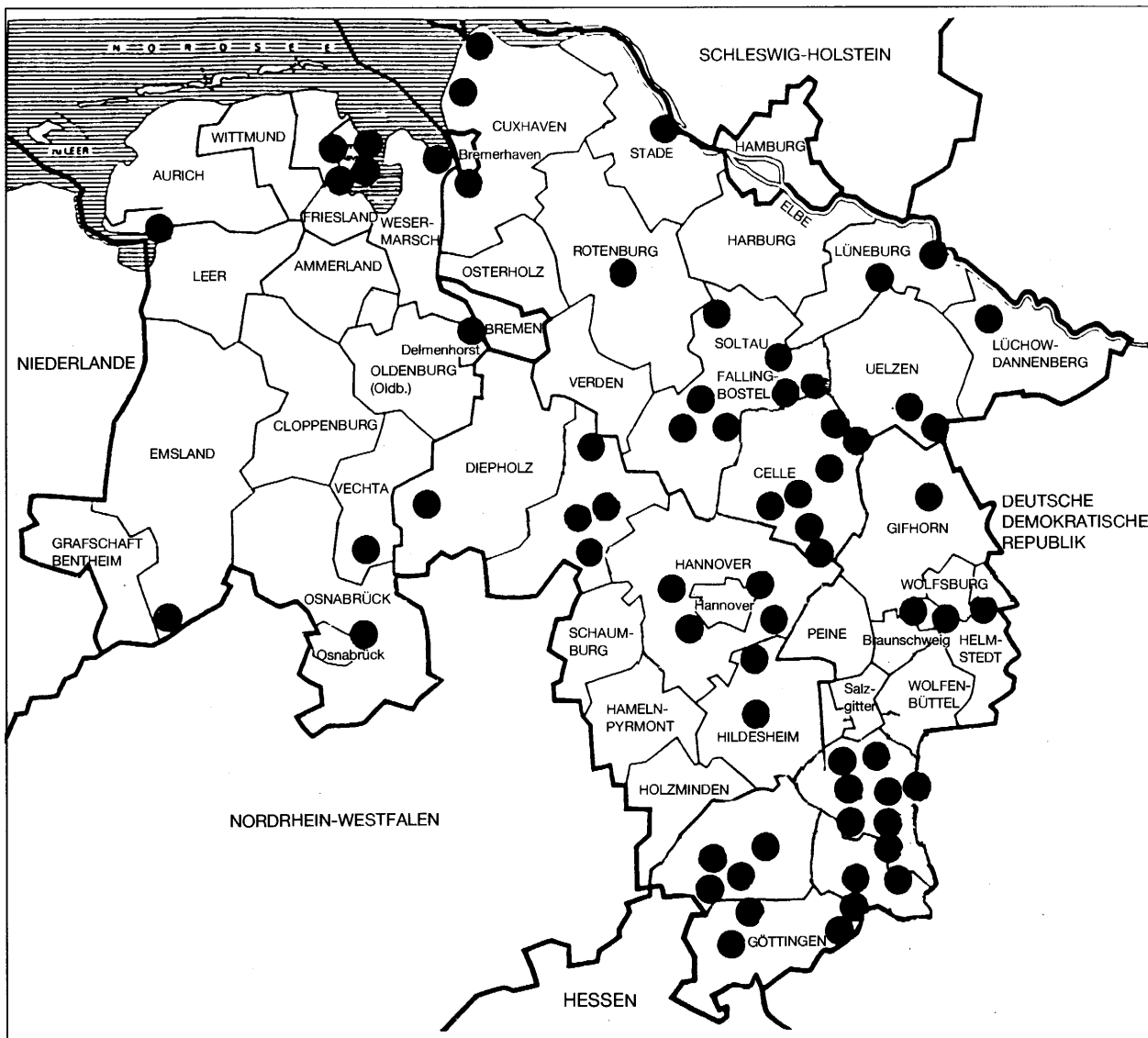
**71.** Ein gravierendes Problem, das erst bei der Erfassung bekannt wird, ergibt sich aus der Tatsache, daß

häufig die Verursacher der Altablagerungen bzw. der Altstandorte nicht mehr greifbar sind oder, wenn sie ermittelt werden können, nicht über ausreichende Mittel verfügen, um die Kosten für die Untersuchungen und für die Altlastensanierung zu tragen. In solchen Fällen müssen zunächst in der Regel die betroffenen Kreise und Gemeinden für den unbekannteren oder zahlungsunfähigen Verursacher einspringen. Dies kann zu finanziellen Belastungen führen, denen einzelne Kreise und Gemeinden angesichts ihrer drückenden Verpflichtungen im sozialen Bereich und der hohen Verschuldung der öffentlichen Hand nicht gewachsen sind, insbesondere dann nicht, wenn sie wegen des regionalen Strukturwandels finanziell schwach sind. Der daraus resultierende Zielkonflikt birgt die Gefahr, daß dringend notwendige Schritte zur Altlastensanierung aufgeschoben oder unterlassen werden, ohne die möglichen Folgen für die Umwelt und die menschliche Gesundheit zu berücksichtigen.

In dieser Situation ist es als landespolitische Aufgabe anzusehen, einerseits durch geeignete Sanierungskonzepte und die Kontrolle ihrer Verwirklichung, andererseits durch finanzielle Hilfen Gefährdungspotentiale zu ermitteln und Schäden zu beseitigen.

Abbildung 1.2

Rüstungsaltplastverdächtige Flächen in Niedersachsen



Quelle: Der Niedersächsische Umweltminister, 1989, verändert

**72.** Das Ausmaß der bisher durchgeführten Gefährdungsabschätzungen und der Sanierungsmaßnahmen ist in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich. Allgemein ist festzustellen, daß bisher dort Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden, wo im Bereich der Wohnbebauung oder des Grundwassers akute Gefährdungen auftraten oder wo Wiedernutzungen von Flächen im Rahmen der Stadtentwicklung eine Sanierung verlangten.

Für einige Länder liegen Situationsberichte vor, so z. B. für Hamburg (SCHULDT, 1988), Hessen (TIEDGE, 1988), Niedersachsen (MÜCKE, 1988), Rheinland-Pfalz (LORIG, 1988), Saarland (DEGRO und SOBICH, 1988) und Schleswig-Holstein (CONRAD, 1988). Weitere Angaben z. B. für die Länder Bremen und Nordrhein-Westfalen finden sich in der Bundestags-Drucksache 11/4104 und für Baden-Württemberg in der Landtags-Drucksache 10/831.

**73.** Aufgrund der vom Deutschen Institut für Urbanistik (Berlin) durchgeführten bundesweiten Umfrage „Altlasten in der Kommunalpraxis“ liegen weitere Ergebnisse vor (FIEBIG und OHLIGSCHLÄGER, 1989; FIEBIG, pers. Mitt.). Danach geben die Kommunen von je 100 altlastverdächtigen Flächen etwa 20 an, von denen die nähere Untersuchung jetzt bereits mindestens einen begründeten Verdacht auf Gefährdungen oder Schäden ergeben hat. Für etwa 15 % der altlastverdächtigen Flächen werden nach der Erstbewertung und Untersuchung keine Gefahr oder Schäden erwartet.

**74.** Ein systematisches und zügiges Vorgehen bei der Sanierung unter dem Gesichtspunkt der Dringlichkeit wird erst möglich sein, wenn die Erfassung weitgehend abgeschlossen ist und mehr Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung vorliegen.

Tabelle 1.5

**Anzahl erfaßter altlastverdächtiger Flächen in Nordrhein-Westfalen**  
(Stand Dezember 1988)

Abfallart	Regierungsbezirk					NRW gesamt	NRW ca. %-Anteil
	Düsseldorf	Köln	Münster	Detmold	Arnsberg		
M feste Siedlungsabfälle .....	756	836	633	1 393	735	4 353	35,0
I feste Industrie- und Gewerbeabfälle (nicht hausmüllähnlich) .....	253	176	18	216	86	749	6,0
Bm Bergematerial ....	152	43	52	—	23	270	2,2
A Asche, Schlacke ..	43	51	13	17	41	165	1,3
B Bauschutt, Erdaushub .....	1 148	484	178	645	425	2 880	23,1
K kommunaler Klärschlamm .....	28	3	14	14	19	78	0,6
S sonstige Schlämme	46	14	19	40	25	144	1,2
Altstandorte, Altablagerungen mit AL mehreren oder unbekanntem Abfallarten .....	918	1 577	589	49	676	3 809	30,6
gesamt .....	3 344	3 184	1 516	2 374	2 030	12 448 <sup>①</sup>	100,0
ca. %-Anteil bezogen auf <sup>①</sup> .....	26,9	25,6	12,2	19,1	16,3	100,0	

Quelle: Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen, 1989, pers. Mitt.

#### 1.4.2 Internationale Erhebungen

**75.** Altlastverdächtige Flächen sind nicht nur auf die Bundesrepublik beschränkt. Beachtung finden die Probleme in den Ländern Westeuropas sowie in den USA, in Kanada und Japan (GIESELER, 1987; SANNING et al., 1988).

**76.** In den Niederlanden hat die Altlastensanierung einen hohen Stellenwert; die rechtlichen Grundlagen sind 1983 geschaffen worden. Inzwischen sind ca. 7 500 altlastverdächtige Flächen erfaßt (DE BRUIJN und DE WALLE, 1988); die Zahl steigt noch an. Im Zeitraum von 1981 bis 1986 sind 2 700 orientierende Untersuchungen, 1 200 nähere Untersuchungen und 600 Sanierungen vorgenommen worden. Bis zu 2 000 Fachleute sind mit dem Problem der Bodensanierung in den Niederlanden beschäftigt (VAN VEEN und VAN DER GALIËN, 1988).

In Dänemark wurden bis 1982 3 115 sowie in Frankreich etwa 800 altlastverdächtige Flächen erfaßt; in Großbritannien rechnet man mit 12 000 bis 15 000 (GIESELER, 1987). In Österreich sind bisher 2 300 Altablagerungen erfaßt; davon sind min-

destens 900 Standorte untersuchungswürdig (ZIRM und SANDAUER, 1988).

In den Ländern der Europäischen Gemeinschaft werden Definitionen für Altlasten nicht einheitlich gebraucht; der Schwerpunkt liegt bei den Altablagerungen.

**77.** In den USA umfaßte das Verzeichnis der Verdachtsflächen Mitte 1988 30 844 Objekte, von denen bisher 1 173 in die Nationale Prioritätenliste für eine vorgesehene Sanierung aufgenommen wurden (JAPCA, 1989). Das US-Office of Technology Assessment vermutet, daß mehr als 10 000 altlastverdächtige Flächen saniert werden müssen (KOEPEKE, 1987). Für die Sanierung wurden 1980 in einem Finanzfond (sog. Superfund) per Gesetz (Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act [CERCLA]) ca. 1,6 Mrd Dollar Bundesmittel für die Dauer von fünf Jahren bereitgestellt. Dem ersten Gesetz (CERCLA) folgte nach Ablauf der Frist mit dem 1. 1. 1987 eine Fortschreibung (Superfund Amendments and Reauthorization Act [SARA]), die mit einem Finanzvolumen von 8,5 Mrd Dollar an Bundesmitteln für fünf Jahre ausgestattet wurde (DOWD, 1988;



FRANZIUS, 1989b). Um diese Mittel in Anspruch nehmen zu können, müssen die zuständigen Einzelstaaten entsprechende Mittel in der gleichen Höhe zur Verfügung stellen.

#### 1.4.3 Ausschlußaktivitäten auf Bundesebene

**78.** Die Bedeutung, die die Bundesregierung und die Länder der Altlastenproblematik beimessen, läßt sich durch die Einrichtung zahlreicher Arbeitsgruppen erkennen.

Folgende Arbeitsgruppen waren bzw. sind eingerichtet:

- Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“ der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall mit den Unterarbeitsgruppen
  - Juristische ad hoc Unterarbeitsgruppe, Grundwasser, Luft, Oberirdische Gewässer, Kulturboden/Kulturpflanzen/Vegetation, Bauwerke, Direkter Kontakt, Stoffe, Sanierungstechniken
- Arbeitsgruppe „Altlastensanierung“ der Umweltministerkonferenz (rechtliche, organisatorische und finanzielle Fragen der Altlastensanierung)
- Expertengruppe des Bundes zur Gefahrenbeurteilung bei Altlasten
- Interministerielle Arbeitsgruppe „Maßnahmenkatalog zum Bodenschutzprogramm der Bundesregierung“.

**79.** Der von der „Bund/Länder-Arbeitsgruppe Bodenschutz“ erarbeitete Maßnahmenkatalog des Bundes und der Länder zum Bodenschutz wurde von der Umweltministerkonferenz (UMK) im Mai 1987 beschlossen. Unter den „Maßnahmen zum Bodenschutz“, die am 8. Dezember 1987 von der Bundesregierung beschlossen wurden (BT-Drucksache 11/1625), finden sich entsprechende Festlegungen und Zielsetzungen zur Bearbeitung der Altlastenproblematik, wobei auch zusätzlicher Erörterungsbedarf hinsichtlich der Schaffung der rechtlichen, organisatorischen und finanziellen Voraussetzungen für Hilfen zur Sanierung von Altlasten festgestellt wird.

Der Rat ist der Auffassung, daß in diesem Zusammenhang aber auch das Problem des langfristigen Personalbedarfs bei der öffentlichen Hand zur Erfassung und Überwachung nicht vernachlässigt werden darf, um das Altlastenproblem zügiger als bisher bearbeiten zu können.

**80.** Auch in Bereichen der Wirtschaft, z. B. BDI, DECHEMA, VCI, und in Berufsverbänden, z. B. VDI, Bundesverband Deutscher Geologen e.V., wird in Ausschüssen das Thema „Altlasten“ behandelt. In den Umwelt-Leitlinien des Verbandes der Chemischen Industrie (VCI, 1988) bietet der Verband Beratung und aktive Mitwirkung an Lösungskonzeptionen bei der Sanierung der Altlasten an. Neben der chemi-

schen Industrie beteiligen sich auch Firmen der Anlagen- und Bauindustrie, der Entsorgungswirtschaft und Ingenieurbüros an der Weiterentwicklung von Sanierungskonzepten. In diesem Zusammenhang ist auch auf die Gründung der Vermittlungsstelle der Wirtschaft für Altlasten-Sanierungsberatung (VAB) beim Bundesverband der Deutschen Industrie hinzuweisen (WICHERT, 1989).

## 1.5 Zur Akzeptanz von Altlasten und ihrer Sanierung

### 1.5.1 Was ist Akzeptanz, und wie ist sie herstellbar?

**81.** Gesellschaftliche Risiken können nur in öffentlichen, das heißt politisch organisierten, Prozessen bewältigt werden. Sowohl Altlasten selbst als auch Entscheidungen über Art und Zeitraum der Sanierung, über das Sanierungsverfahren und über Entsorgungsanlagen bzw. Sanierungszentren einschließlich der durch die Sanierung entstehenden Belastungen und Belästigungen betreffen viele Menschen; es sind gesellschaftliche Lasten, Entscheidungen und Risiken.

Für viele Betrachter hat der Umgang der Gesellschaft mit ihren Altlasten geradezu symbolischen Charakter angenommen, Symbol dafür, „daß unsere Gesellschaft die Schwierigkeiten des Umgangs mit den — von ihr selbst produzierten — Risiken kaum bewältigt“ (SRU, 1987, Tz. 1962). Mit Altablagerungen und Altstandorten zusammenhängende Fragen können öffentlichen Interesses stets sicher sein. Die Angst vor im Boden „tickenden giftigen Zeitbomben“, die technische und organisatorische Schwierigkeit der Sanierung und die unvorstellbar hohen Kosten haben in der Öffentlichkeit eine rational und emotional kaum bearbeitbare Problemlage geschaffen. Zwar mag die unmittelbare Betroffenheit der Menschen mit der Entfernung des Wohn- und Arbeitsortes von den bekannten und als besonders gefährlich geltenden Altlasten abnehmen, doch berührt das Thema alle Bürger der Bundesrepublik nicht zuletzt deshalb so sehr, weil niemand sicher sein kann, nicht eines Tages — meist aus den Medien — zu erfahren, daß auch in seiner Nachbarschaft „Gift“ lagert.

**82.** Der Rat hat in seinem Umweltgutachten 1987 an mehreren Stellen zu Fragen der Technik- und der Risikoakzeptanz Stellung genommen (SRU, 1987, Tz. 44, 58f., 69, 1676, 1962). Zusammengefügt ergeben sie ein allgemeines Raster, innerhalb dessen spezielle Akzeptanzfragen der modernen Industriegesellschaft analysierbar sind. Der Kern der Position des Rates zu diesen Fragen besteht in folgenden grundsätzlichen Überlegungen:

- Daß Vollzugsbehörden und politisch verantwortliche Mandatsträger um die Akzeptanz ihrer Vorstellungen und Vorschläge im Einzelfall bemüht sein und sich durch Überzeugungsarbeit für die Herstellung der Akzeptanz einsetzen müssen, ist kein beklagenswerter, negativ zu bewertender Zustand, sondern ein normaler Vorgang, der geradezu typisch ist für die Entwicklung einer moder-

- nen Industriegesellschaft und der Aufgaben, die sie stellt.
- „Hierbei geht es vor allem um die Akzeptanz ökologischer, aber auch weitergehender sozialer Risiken neuer Techniken . . .“ (SRU, 1987, Tz. 44). Die Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland denkt heute differenzierter über den technischen Fortschritt als in den beiden Jahrzehnten nach dem zweiten Weltkrieg. „Die Ambivalenz des technischen Fortschritts, die Tatsache, daß er Vorteile wie Nachteile mit sich bringt, wird von einem wachsenden Anteil der Bevölkerung erkannt und auch artikuliert. Von einer allgemeinen Technikskepsis oder Technikfeindlichkeit zu sprechen, ist jedoch falsch“ (SRU, 1987, Tz. 59).
  - „Der Großteil der Bevölkerung vermutet, daß die Entscheidungsträger in Wirtschaft, Wissenschaft und Politik oft wissenschaftliche Erkenntnisse technologisch umsetzen, ohne deren Auswirkungen zuvor hinreichend zu untersuchen. Die Kritik trifft also weniger die Technik an sich, als bestimmte Folgen der Techniknutzung“ (SRU, 1987, Tz. 89). Das bedeutet, daß nicht so sehr die Technik, sondern „Politik, Wirtschaft und Wissenschaft . . . hinsichtlich ihrer Fähigkeit zur Lösung von Umweltproblemen mit zunehmender Skepsis betrachtet werden“ (SRU, 1987, Tz. 58f.).
  - Die Wahrnehmung von Risiken „ist kein naturwissenschaftlicher Vorgang, sondern sozial und kulturell bestimmt. Schließlich eröffnet eine allgemeine Risikobetrachtung nicht den Zugang zur individuellen Akzeptanz von Risiken“ (SRU, 1987, Tz. 1962). Diesen Gedanken des subjektiven Elements in der Wahrnehmung und Abschätzung von Risiken nimmt das Umweltgutachten 1987 auch an anderer Stelle auf: „Die Bewertung von Umweltbelastungen stellt eine subjektive Abschätzung von Risiken und Nutzen dar. Risiken sind keine urteilerunabhängigen Attribute eines bestimmten Problemfelds, sondern als Abschätzungen und Bewertungen immer an urteilende Subjekte – sowohl an einzelne Personen als auch an Gruppen – gebunden“ (SRU, 1987, Tz. 69).
  - Da die „umfassende Information über komplizierte Zusammenhänge auf vielen Gebieten . . . den einzelnen überfordern“ muß und „demnach eine rein verstandesmäßige Durchdringung und Verarbeitung der Probleme nicht mehr möglich ist, bleibt oft nur die Flucht in emotionale Reaktionen“ (SRU, 1987, Tz. 1962). Es wäre zu kurz gegriffen und keine problemadäquate Betrachtungsweise, diese Reaktionen als irrational oder den ‚rationalen Gang der Dinge‘ störend abzutun. Denn gerade „die Akzeptanz von unfreiwillig auferlegten, nicht bestimmbar Risiken hängt davon ab, daß eine öffentliche Diskussion über diese Risiken, ihre Natur und die wesentlichen Faktoren, die zum nicht bestimmbar Risiko von Stoffen in der Umwelt beitragen, geführt wird, ohne daß die Beunruhigung in der Öffentlichkeit als emotional abqualifiziert wird“ (SRU, 1987, Tz. 1676).

**83.** Gesellschaftliche Risiken können nicht bewältigt, Lasten nicht übernommen, Aufgaben nicht in

Angriff genommen und gelöst und Belästigungen dabei nicht ertragen werden, wenn sie nicht bekannt sind und ihre Notwendigkeit bzw. Unvermeidbarkeit nicht anerkannt ist. Nichts anderes meint Akzeptanz. Maßnahmen, die irgendwo durchgeführt werden und gegen die sich niemand wehrt, sind nicht deswegen schon akzeptiert. Risiken, gegen die keine Einwendungen erhoben werden, können nicht deshalb schon als akzeptiert angesehen werden. Was nur verdrängt oder geduldet wird, darf nicht als akzeptiert gelten. Akzeptanz setzt vielmehr voraus, daß alle Beteiligten die Belastungen und die Risiken kennen und diese in voller Kenntnis der Zusammenhänge um eines bestimmten, offenbar überzeugenden Zieles oder Nutzens willen in Kauf nehmen.

**84.** Akzeptanz stellt sich nicht von selbst ein; sie bedarf der Organisation. Der erste Schritt besteht darin, über Risiken, Belastungen und Belästigungen der zur Entscheidung stehenden Alternativen zu informieren. Aufklärung muß der Verdrängung entgegenwirken. Nicht Beruhigung darf das vorrangige Ziel sein, sondern aktive Bewußtseinsbildung. Verdrängung und Beruhigung mögen bestimmte Genehmigungsverfahren beschleunigen, aber nur eine Bevölkerung, die Belastungen bewußt akzeptiert hat, ist ein verlässlicher Partner für die schwierige, langdauernde und teure Aufgabe der Altlastensanierung. Verdrängung schafft dagegen eine nicht kalkulierbare Situation, in der kleinste Anlässe Mißtrauen und Ablehnung hervorrufen können.

Über bekannte und bewußte Belastungen und Alternativen kann in den auch sonst üblichen politischen Prozessen demokratisch entschieden werden. Welcher Art ist der zu erwartende Nutzen? Sind die Lasten so verteilt, daß keine einzelne Personengruppe über Gebühr benachteiligt wird? Welche Risiken können hingenommen werden und welche nicht? Welche Risiken sind unvermeidlich? Der Rat hat in früheren Äußerungen immer wieder betont, daß diese Fragen politisch zu entscheiden sind, während die besondere Aufgabe von Wissenschaftlern und Experten in der Information und Aufklärung besteht. Indem die genannten Fragen öffentlich behandelt werden, werden sie zugleich in den allgemeinen politischen Willensbildungsprozeß eingeführt.

### 1.5.2 Bereiche der Akzeptanz bei Altlasten

**85.** Hinsichtlich der Altlastensanierung stellen sich Akzeptanzprobleme in drei Bereichen und betreffen

- das Vorhandensein der Altablagerung oder des Altstandortes selbst. Nicht alle Altlasten können mit gleicher Dringlichkeit saniert werden (Tz. 400); wegen der hohen Kosten müssen Prioritäten gesetzt werden (vgl. Tz. 657). Für spezielle Altlastenfälle, z. B. toxische oder großvolumige Altablagerungen, gibt es keine geeigneten Dekontaminationsverfahren (vgl. Tz. 448 und 459). Zwar kann nicht verlangt oder erwartet werden, daß der Verbleib einer Altablagerung oder Bodenkontamination aus diesen Gründen bewußt hingenommen wird, aber es kann Verständnis für unpopuläre Maßnahmen geweckt werden, wenn die Bevölke-

rung das Gefühl hat, daß die Entscheidungen vorurteilslos, unabhängig von wirtschaftlichen Interessen und verantwortungsbewußt getroffen wurden.

- das Sanierungsverfahren. Nicht alle Altlasten können vollständig dekontaminiert werden (vgl. Tz. 448 und 539 ff.), und auch eine Dekontamination schafft keinen Zustand, in dem der Standort wieder in einem ökologischen Idealzustand für alle denkbaren Nutzungen geeignet wäre. Andere Altlasten werden überhaupt nicht für eine Dekontamination vorgesehen, sondern so gesichert, daß von ihnen nach bestem Wissen keine Gefahr ausgeht. Experten müssen darüber aufklären, welche Erwartungen überhaupt erfüllbar sind und welche nicht, ehe politisch darüber entschieden wird, mit welchem Aufwand welcher Grad an Sicherung bzw. Dekontamination tatsächlich angestrebt werden soll.
- die Standorte für neue Entsorgungsanlagen bzw. Sanierungszentren. Die Akzeptanz dafür ist vermutlich am schwersten zu gewinnen, weil an den Standorten dieser Zentren Belastungen entstehen, die nicht mit einem unmittelbaren Nutzen am Ort verbunden sind.

**86.** Die unterschiedlichen Objekte der Akzeptanz betreffen unterschiedliche Subjekte: einerseits die Bevölkerung in der Umgebung der Altlasten und andererseits die Bevölkerung in der Umgebung der zu errichtenden Sanierungszentren. Während erstere in der Regel eine Sanierung wünscht und allenfalls davon überzeugt werden muß, warum der Standort „nur“ gesichert wird, oder warum nicht die aufwendigste und radikalste Sanierungstechnik angewandt werden soll, wird letztere überzeugt werden müssen, Belastungen in Kauf zu nehmen, um Vorteile willen, die anderenorts zu Buche schlagen.

**87.** Die Sanierung von Altlasten ist als eine vordringliche Aufgabe des Umweltschutzes einzustufen. Ihre Bewältigung setzt angesichts der hohen finanziellen und wissenschaftlich-technologischen Anforderungen sowie der damit verbundenen volkswirtschaftlichen Belastungen voraus, daß entsprechende Konzepte von der Allgemeinheit akzeptiert werden. Bereits in seinem 1978 vorgelegten Umweltgutachten (SRU, 1978) hat der Rat festgestellt, daß in einer demokratischen Gesellschaftsordnung die Ziele der Umweltpolitik nur dann erreichbar sind, wenn sie von der überwiegenden Mehrheit der Staatsbürger verstanden und aktiv mitgetragen werden. Es ist davon auszugehen, daß die Akzeptanz aufwendiger Umweltschutzprogramme in der Öffentlichkeit nicht zuletzt dadurch bestimmt wird, wie die Ursachen des Altlastenproblems, die daraus resultierenden Umweltgefahren und die Möglichkeiten ihrer Beherrschung dargestellt werden.

**88.** Altlastverdächtige Flächen lassen sich nicht allein unter Umweltaspekten behandeln (COHEN, 1981), vielmehr bedeuten sie gleichzeitig ein politisches, wirtschaftliches, psychologisches und soziales Problem (s. Abschn. 1.2.2.2). Die Aspekte der Gesundheits-, Umwelt- und Sozialverträglichkeit erklären das besondere Interesse der Öffentlichkeit an der Alt-

lastenfrage und an den Strategien zu ihrer Lösung. Dabei hängt die Akzeptanz durch die Bevölkerung hinsichtlich der Entscheidungen und Maßnahmen im Zusammenhang mit der Altlastenproblematik stark von der individuellen Betroffenheit ab. Es ist zu unterscheiden zwischen den Bevölkerungskreisen, die in ihren persönlichen Belangen, wie z. B. Gesundheit, Besitz oder soziales Umfeld, durch altlastverdächtige Flächen unmittelbar beeinträchtigt werden, und der Allgemeinheit, die aufgrund des sich ständig weiterentwickelnden Umweltbewußtseins mehr wegen der grundsätzlichen ökologischen Folgen von Altlasten beunruhigt ist.

Am stärksten sind zweifellos die Personen betroffen, die in unmittelbarer Nähe einer Altlast wohnen oder einen großen Teil der Zeit dort verbringen (z. B. in Kleingartenanlagen). Problematisch sind dabei besonders die überbauten Altablagerungen und Altstandorte, einerseits wegen des engen Kontaktes von Personen zu kontaminierten Bereichen, andererseits wegen der bau-, planungs- und schadenersatzrechtlichen Folgen (VOGEL, 1986).

NOEKE und TIMM (1989) haben Interviews mit Betroffenen in der Umgebung von altlastverdächtigen Flächen durchgeführt. Diese Befragungen ergaben, daß die Risikowahrnehmung vor allem qualitative Merkmale aufweist. Das im Zusammenhang mit Altlasten befürchtete Risiko wird von den Betroffenen mit den Vorstellungen verbunden, daß es sich hierbei um unerforschte, unkontrollierbare, schreckliche bis zu tödliche Gefahren handeln kann. Subjektiv wird dabei kein Unterschied zwischen dem hochbelasteten Kern einer Altlast und den weniger betroffenen Randgebieten gemacht. Diese Vermutungen und Befürchtungen entwickeln Gefühle der Angst, Hilflosigkeit und des Ausgeliefertseins.

**89.** Aus der Sicht der Allgemeinheit steht vor allem die durch den Altlastverdacht bedingte, mögliche Wassergefährdung sowie die Bindung von bzw. Nutzungsbeschränkung auf den für Stadtentwicklungsmaßnahmen benötigten Flächen im Vordergrund. Ein entsprechendes Programm zur Wiedernutzung kontaminierter ehemaliger Industriestandorte wurde von EBEL und WEINGRAN (1988) vorgestellt. Die Verfasser gehen dabei auch auf die Problematik ein, die sich aus der Notwendigkeit der Errichtung von thermischen Behandlungsanlagen bzw. Verbrennungsanlagen ergibt, in denen kontaminiertes Material aus Altlasten thermisch gereinigt bzw. zerstört werden kann. Die Akzeptanz für solche Anlagen in der Bevölkerung und im politischen Raum gehört ebenfalls zu den Voraussetzungen im Hinblick auf eine langfristige Verbesserung der Altlastensituation, weil sie eine nachhaltige Verringerung der Schadstoffe in der Umwelt bewirken (s. Abschn. 4.2.1 und 4.2.2).

### 1.5.3 Vertrauen und Partizipation als Voraussetzungen für Akzeptanz

**90.** Der aus einem Mangel an Akzeptanz resultierende Widerstand weiterer Bevölkerungskreise, aber auch einzelner Gruppen, kann in bedenklicher Weise die Realisierung notwendiger Projekte verzögern oder

behindern und in extremen Fällen sogar zum Scheitern bringen. Auch dies kann zu Gefahren für die menschliche Gesundheit und die Umwelt führen. Unverständnis liegt bei den Betroffenen auch dann vor, wenn sie glauben oder sogar Anhaltspunkte dafür haben, daß trotz bestehender Gefahren die zuständigen Stellen nicht in der von ihnen erwarteten Weise reagieren. Die Berücksichtigung von Einwendungen, Argumenten und sinnvollen Verbesserungsvorschlägen der Bürger im Entscheidungsprozeß erhöht einerseits die Entscheidungsqualität, andererseits macht sie den Betroffenen deutlich, daß ihre Belange ernst genommen werden und nicht über ihre Köpfe hinweg gehandelt wird. Hierzu wird von CLAUS (1988 a) die Einrichtung einer „Sanierungsgemeinschaft“ empfohlen, die neben Politikern auch Betroffene, Verursacher und Umweltverbände an der Planerarbeitung beteiligen soll. CLAUS (1988 a) fordert darüber hinaus, das Sanierungsplan-Verfahren auch juristisch einzubinden, und verspricht sich davon eine breitere Vertrauensgrundlage und eine größere Rechtssicherheit. Nach Ansicht des Rates sollte vor einem solchen Schritt der Versuch unternommen werden, die bestehenden rechtlichen Gestaltungsmittel zu nutzen (vgl. Abschn. 7.5.3).

**91.** Die Beteiligung der Öffentlichkeit in verschiedenen Genehmigungs- und Planfeststellungsverfahren sollte nach dem Modell des UVP-Verfahrens mit der öffentlichen Auslegung der Projektunterlagen, einschließlich eventueller Sachverständigengutachten, und der Durchführung eines Erörterungstermins verbunden sein. Der vorliegende Entwurf eines Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) enthält mit

- der öffentlichen Bekanntmachung des Vorhabens nach Vorliegen der vollständigen Unterlagen,
- der Möglichkeit der Betroffenen, sich vor der Entscheidung über das Vorhaben zu äußern, und
- der Verpflichtung, die Ergebnisse der Öffentlichkeitsbeteiligung bei der Entscheidung zu berücksichtigen sowie den Betroffenen und denjenigen, über deren Einwendungen entschieden worden ist, die Entscheidung und die Entscheidungsgründe zugänglich zu machen,

die wesentlichen Elemente, die in analoger Weise auch beim Umgang mit Alttablagerungen und Altstandorten bzw. Altlasten eine Verbesserung der Akzeptanz sicherstellen würden. Wegen des unbestreitbaren Spannungsverhältnisses dieser Vorgehensweise zu dem Bedürfnis, rasch einer Verschlechterung der Umweltsituation durch die Altlast entgegenzuwirken, sollte das vorgeschlagene Verfahren nicht auf Sanierungsfälle minderen Gewichts (vgl. Abschn. 7.5.2) erstreckt werden.

**92.** Es ist allerdings zu berücksichtigen, daß im Falle einer altlastverdächtigen Fläche der Gegenstand der Besorgnis oder der Belastung bereits existiert und dadurch ein erheblich stärkerer Handlungsdruck auf die Entscheidungsträger ausgeübt wird als bei den zunächst hypothetischen Überlegungen zu einer geplanten Anlage. Besonders die Belange der gesundheitlich und ökonomisch am stärksten betroffenen Bevölkerung und Anwohner bedürfen in der Regel einer unverzüg-

lichen Entscheidung, damit Gefahren abgewendet werden können. In diesen Fällen sollte die rasche Einleitung geeigneter Maßnahmen Vorrang haben. Auch hinsichtlich möglicher psychosozialer Folgen würde sich ein schnelles zielgerichtetes Handeln günstig auf die Situation der Betroffenen auswirken. Die Gefahr einer gesellschaftlichen Ausgrenzung bzw. Diskriminierung der Anwohner einer Altlast (CLAUS, 1988 b) oder des Auftretens psychosomatisch bedingter Krankheiten würde damit ebenfalls wesentlich verringert.

Es ist davon auszugehen, daß die unmittelbar betroffenen Anwohner von sich aus auf eine schnelle Entscheidung und Einleitung von Maßnahmen drängen (DANNEMANN, 1988), während bei den weniger stark oder ausschließlich materiell tangierten Nachbarn eher die Tendenz bestehen könnte, durch zeitraubende Diskussionen und Verhandlungen den eigenen wirtschaftlichen Schaden zu minimieren, selbst wenn notwendige Maßnahmen dadurch verzögert werden.

**93.** Unabhängig von der Vielfalt der im Einzelfall denkbaren Konstellationen sind die Grundvoraussetzungen für eine Akzeptanzgewinnung die Information und die Partizipation der betroffenen Bürger. Die kritische und möglichst objektive Auseinandersetzung mit dem Problem der altlastverdächtigen Flächen sowohl hinsichtlich der bundesweiten oder regionalen Situation als auch im konkreten Einzelfall erfordert eine gemeinverständliche Darlegung der wesentlichen Fakten und Zusammenhänge, die auch erkennen lassen, daß eventuelle temporär auftretende Gefahren durch eine Sanierung erheblich geringer sind als durch den Fortbestand der Altlast.

Um die Gesamthematik der Sanierung von Altlasten aufklärend in das Bewußtsein der Bevölkerung zu bringen, empfehlen KARPE und ZIEGLER (1988) die fachdidaktische Aufbereitung des verfügbaren Wissens zur Altlastenproblematik, die insbesondere Aspekte wie Entstehen, Umfang, Gefährdungspfade und -objekte sowie Lösungsmöglichkeiten umfassen soll. Dies hat zum Ziel, daß problembezogenes Wissen für ein Grundlagenverständnis vollständig und nachvollziehbar die Adressaten erreicht.

**94.** Die öffentliche Meinung zur Problematik von Alttablagerungen und Altstandorten wird stark durch die Medien geprägt. Besondere Resonanz finden dabei naturgemäß die spektakulären Fälle. Entscheidenden Einfluß hat das Verhalten der — im weitesten Sinne — verantwortlichen Kreise, die aus politischen, wirtschaftlichen oder privaten Gründen eher einer restriktiven Informationsverbreitung zuneigen als einer vorbehaltlosen Darlegung der Sachverhalte in der Öffentlichkeit. Je nach Interessenlage reicht das Spektrum der Desinformation von der gezielten Falschmeldung über widersprüchliche Äußerungen bis hin zum Verschweigen relevanter Tatbestände. Hier zeigen sich dieselben Merkmale wie allgemein in der Umweltdiskussion der Vergangenheit: Verschleierung und Verharmlosung auf der einen Seite, Übertreibung und Verängstigung auf der anderen.

JANIS (1981) berichtet über eine Studie im Auftrag des Office of Hazardous Emergency Response der US-

Umweltschutzbehörde (EPA), in der 21 Fälle von gefährlichen Ablagerungen im Hinblick auf das Verhalten und die Reaktionen der betroffenen Anwohner untersucht wurden. Darin stellt er die besondere Bedeutung der sozialen und politischen Vorgeschichte eines Altlastenproblems heraus. Nach diesen Untersuchungen sehen die Bürger meist dann keinen Anlaß, ihre Sorge zu dramatisieren oder sich hintergangen zu fühlen, wenn die lokale Behörde als verantwortungsbewußt bekannt war. Ein ähnliches Verhalten zeigten sie auch gegenüber Besitzern oder Betreibern von Altablagerungen. Wenn diese gutnachbarliche Beziehungen pflegten und den Ruf besaßen, vertrauenswürdig zu sein, war die örtliche Bürgerschaft leicht davon zu überzeugen, daß das anstehende Problem auf die bestmögliche Weise gelöst wurde. Demgegenüber wurden die meisten Widerstände dort vorgefunden, wo sich die Betroffenen von den Behörden vernachlässigt fühlten und keinen Ausweg sahen, ihre Situation zu verändern.

**95.** Altlasten werden in der öffentlichen Meinung als Folgen eines nicht verantwortungsbewußten Umgangs mit technischen Einrichtungen eingestuft, die zu Gefahren für Mensch und Umwelt geführt haben. Besonders die Angst vor möglichen Gesundheitsschäden ist bei Bodenkontaminationen extrem ausgeprägt (KARPE und ZIEGLER, 1988).

**96.** Nach Erfahrungen in den Niederlanden (DE BORST, 1988; NOEKE und TIMM, 1989) lassen sich die im Zusammenhang mit Bodenkontaminationen beobachteten psychosozialen Effekte in der Bevölkerung folgendermaßen einteilen:

- allgemeines Mißtrauen gegenüber Handlungen von Staat und Wirtschaft
- Angst um die Gesundheit (vor allem der Kinder)
- Angst vor finanziellen und materiellen Schäden
- Ungeduld bezüglich des Fortschreitens von Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen
- Äußerungen von Frustration als Ursache anderer oder obengenannter Erfahrungen.

Unabhängig von der Art der Darstellung in der Öffentlichkeit bestehen auch häufig nicht ausreichende Kenntnisse im Zusammenhang mit altlastverdächtigen Flächen. Diese betreffen einerseits Art und Umfang möglicher Beeinträchtigungen der Umgebung, andererseits aber auch die Umstände, die aus rechtlicher oder verfahrensmäßiger Sicht eine Problemlösung behindern, z. B. Eigentumsfragen, Verantwortlichkeit und Haftung, und meistens Rückwirkungen auf die Finanzierung der notwendigen Maßnahmen haben. Erschwerend kommen noch eventuelle Interessenkonflikte hinzu, wenn beispielsweise die für die Sanierung zuständige Kommune selbst als Verursacher der Altablagerung in Betracht kommt (JANIS, 1981).

**97.** Vor allem die Umstände, die zur Entdeckung einer Altlast oder zumindest zur Aktualisierung der Problemlage führen, können entscheidend für die auftretenden Akzeptanzprobleme sein. Hier läßt sich die bis 1974 als Sondermülldeponie betriebene und später überbaute Altablagerung Bielefeld-Brake als Beispiel

anführen, auf die man erst 1983 wieder aufmerksam wurde, nachdem sich Anwohner über gesundheitliche Beeinträchtigungen beschwerten und medizinische Untersuchungen eindeutig als pathologisch einzustufende Leberenzymwerte ergaben (EIKMANN, 1987). Dies führte ebenso zu Protestaktionen der betroffenen Bevölkerung wie die Entdeckung von Dioxinen und Furanen im Sickerwasser der Sonderabfalldeponie Münchshagen im Herbst 1984 (LÜDEKE, 1987). Nachdem bereits vorher Differenzen zwischen dem Betreiber, den Behörden und der Bevölkerung bestanden hatten, eskalierte danach der Widerstand der Betroffenen bis zu der Behinderung der Sicherungsarbeiten und der Zerstörung der eingesetzten Geräte.

**98.** Besonders die Versäumnisse der Vergangenheit — seien sie nun auf Unkenntnis oder Fahrlässigkeit zurückzuführen — bilden den Hintergrund für die Schwierigkeiten der öffentlichen Diskussion und eine konstruktive Darstellung der Altlastenfrage. Unabhängig von den betriebsmäßig und stofflich bedingten Ursachen für die Entstehung von Altlasten bilden daher meist solche Umstände den Schwerpunkt öffentlicher Erörterung, die auf die Beteiligung von Einzelpersonen, Unternehmern und Behörden zurückzuführen sind. Es ist verständlich, daß vor allem die im konkreten Fall direkt betroffenen Anwohner im Einwirkungsbereich einer Altlast, die gesundheitliche Beeinträchtigungen oder materielle Nachteile zu befürchten haben, auf diese Problemlage besonders stark emotional ansprechen (vgl. auch NOEKE und TIMM, 1989). Es ist daher besonders wichtig, gerade bei diesen Gruppen um Vertrauen zu werben durch die Bereitschaft, mit Hilfe geeigneter Schutz- oder Sanierungsmaßnahmen die nachteiligen Auswirkungen zu beseitigen. Auch der in der Öffentlichkeit über die Medien ausgeübte Druck kann dahingehend wirken, daß notwendige Entscheidungen und Maßnahmen vor Ort schneller oder mit höherer Priorität erfolgen oder dadurch überhaupt erst in Angriff genommen werden.

#### 1.5.4 Ansätze für notwendige Verbesserungen

**99.** Der Rat ist der Auffassung, daß die Bemühungen um eine sachgerechte Darstellung der Probleme im Hinblick auf die Akzeptanz der erforderlichen Maßnahmen in der Öffentlichkeit in zwei Richtungen ansetzen müssen.

Einerseits sollte die öffentliche Diskussion sowohl die Auseinandersetzung um das Ausmaß möglicher Gefährdungen als auch die technische und finanzielle Realisierbarkeit von Sanierungsprogrammen umfassen. Dabei ist es auch notwendig, die Grenzen sinnvollen Handelns aufzuzeigen. Im allgemeinen ist davon auszugehen, daß es sich bei der Sanierung von Altlasten nur darum handeln kann, aus einer problematischen Altstandort eine unproblematische Fläche zu machen (STIEF, 1986). Überzogene Hoffnungen auf die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes sind bei Altablagerungen nicht zu rechtfertigen. Meist bestehen aber gute Aussichten auf die Rückführung einer Altlast in eine umgebungsgerechte Nutzung, wodurch vor allem in Ballungsgebieten eine gerin-

gere Inanspruchnahme von Freiflächen erreicht wird. Empfehlenswert erscheinen übergreifende Konzepte (z. B. auf Länderebene), die eine gleichartige Vorgehensweise gewährleisten, auch wenn unterschiedliche Behörden zuständig sind, und die Befolgung der sich aus der jeweiligen Gefahrenlage ergebenden Prioritäten sicherstellen. Eine abfallwirtschaftliche Kleinstaaterei kann nicht dazu beitragen, das Altlastenproblem zu lösen (DÖPPERT, 1987), wenn gleichzeitig in der breiten Öffentlichkeit die Akzeptanz für aufwendige, aber langfristig wirkende Gesamtkonzepte, wie z. B. die Einrichtung mehrerer Bodensanierungszentren in Nordrhein-Westfalen (EBEL und WEINGRAN, 1988), bei der Bevölkerung erreicht werden soll.

Überlegungen im Hinblick auf eine stärkere verfahrensrechtliche Einbindung des Umgangs mit altlastverdächtigen Flächen sowie auf die Vermittlung eines wissenschaftlich-technischen Grundwissens über die Altlastenthematik für interessierte und aufgeschlossene Bürger (s. Abschn. 1.5.1) sollten von den zuständigen Stellen aufgegriffen und auf ihre Durchführbarkeit hin überprüft werden.

**100.** Die zweite Zielrichtung zur Verbesserung der Akzeptanz ist in den unmittelbar betroffenen Personenkreisen zu sehen. Im Vordergrund muß dabei die umfassende und sorgfältige Information der Anwohner über das akute und latente Gefahrenpotential für Gesundheit und Umwelt, die Art der notwendigen Sanierungsmaßnahmen und deren Auswirkungen auf die Lebensbedingungen am Standort stehen. Besonders schwere Rückschläge erleidet das Vertrauensverhältnis des Bürgers zu den Behörden, wenn das wahre Ausmaß der Gefährdung durch die Altlast „auf Raten“, meist nach „Enthüllungen“ durch die Medien, mitgeteilt wird („Behördenskandal“): Nach anfänglichen Beschwichtigungen wird ein immer höheres Gefährdungspotential zugegeben, bis hin zum „Dioxin“.

**101.** Darüber hinaus sind die Betroffenen an den relevanten Entscheidungsvorgängen angemessen zu beteiligen. Es ist davon auszugehen, daß die betroffenen Bürger auch unangenehme Konsequenzen eher mittragen werden, wenn sie erkennen, daß auf ihre Meinung und ihre Bedürfnisse Rücksicht genommen wird.

Dabei darf sich die Beteiligung der Bevölkerung nicht auf sporadische Kontakte bzw. Informationen beschränken, sondern muß als kontinuierlicher Vorgang betrachtet werden, der alle Schritte beim Umgang mit der Altlast begleitet. Auch DE BORST (1988) hält eine Einbeziehung der Anwohner in den unterschiedlichen Phasen der Untersuchung und Sanierung für notwendig. Aufgrund der in Tz. 94 genannten EPA-Studie schlägt JANIS (1981) vor, ein besonderes Programm für die Öffentlichkeitsbeteiligung bei jeder Altablagerung aufzustellen und durchzuführen, das auf die Besonderheiten des Einzelfalles abstellt. Das Ziel ist in erster Linie, die lokale Öffentlichkeit über alle Vorgänge und Maßnahmen auf dem Laufenden zu halten und gleichzeitig die Meinungen und Belange der Bürger besser kennenzulernen. Unter der Bezeichnung „Risk Communication“ hat die EPA diese Form der Bürgerbeteiligung in den Sanierungs-

abläufen inzwischen institutionalisiert und setzt für diese Aufgabe besonders geschulte Mitarbeiter ein. Um die Sanierungsentscheidungen der EPA überprüfen zu lassen, können den Betroffenen für Sachverständigengutachten Bundeszuschüsse bis zu 50 000 US-Dollar gewährt werden (BMU/UBA, 1988). Insgesamt hält JANIS (1981) die sorgfältige Beachtung der Bürgerbelange für ebenso wichtig für die Sanierungsmaßnahmen wie hydrogeologische Untersuchungen sowie Untersuchungen zur geeigneten Sanierungstechnik.

**102.** Einen Überblick über die Palette möglicher vertrauensbildender Maßnahmen bietet das Programm zur Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Sanierung der Deponie Georgswerder (Umweltbehörde Hamburg, 1988). Im einzelnen waren dies:

- zwei Tagungen zu Fragen der Deponieüberwachung und -sanierung sowie der Gesundheitsgefährdung, an denen sich die betroffenen und interessierten Bürger beteiligen konnten
- Veröffentlichung von fünf Berichten über den jeweils aktuellen Stand der Arbeit in hohen Auflagen
- kontinuierliche Information der Presse und – durch Drucksachen – der Bürgerschaft, einschließlich aller Meßergebnisse auf der Deponie und in ihrer Umgebung
- Einrichtung einer Informations- und Beratungsstelle in einer nahegelegenen Schule mit regelmäßigen Sprechzeiten für die Anwohner
- zahlreiche themenbezogene Abendveranstaltungen, die Gelegenheit zur Diskussion mit den beteiligten Behörden boten
- Errichtung eines Informationspavillons auf dem Gelände der Deponie, der auch für Vortragsveranstaltungen genutzt wird (ca. 100 Veranstaltungen bis Dezember 1987), mit Betreuung durch die Umweltbehörde, einschließlich regelmäßiger Sprechstunden
- Beteiligung von Behördenvertretern an Versammlungen und Gesprächskreisen betroffener Bürger
- Einrichtung eines Sonderausschusses der Bezirksversammlung Harburg, dessen Sitzungen öffentlich waren und in denen die anwesenden Bürger Fragen stellen konnten.

Die Umweltbehörde Hamburg kommt zu dem Schluß, daß ohne diese Maßnahmen „die Akzeptanz für das Sanierungskonzept vermutlich nicht so weitgehend hätte herbeigeführt werden können“, und führt auch das Verständnis der Bevölkerung für Schwierigkeiten und unvermeidliche Verzögerungen darauf zurück.

**103.** Neben den vorstehenden, an einen größeren Personenkreis gerichteten Maßnahmen kann es für die Erörterung individueller Problemsituationen angebracht sein, die Betroffenen in ihren Wohnungen aufzusuchen, um persönliche Belange in Einzelgesprächen zu klären und ihnen deutlich zu machen, daß ihre Sorgen ernst genommen werden. Hierbei ist es wichtig, daß die Kontaktperson „zuständig“ ist. Die

Distanz zwischen Betroffenen und Verantwortlichen ist zu verringern (NOEKE und TIMM, 1989).

**104.** Im Zusammenhang mit der Sonderabfalldeponie Münchehagen hat die Evangelische Akademie Loccum einen interessanten Weg zur Konfliktlösung und Konsensbildung aufgezeigt (STRIEGNITZ, 1987). Die hierbei angewandte Form des Gesprächs mit speziellen Verfahrensvereinbarungen unter Beteiligung der unmittelbar betroffenen Behörden, Institutionen, Interessengruppen und Personen ist ein Beispiel für vertrauensbildende Maßnahmen.

**105.** Über die Einsetzung eines mit übergreifenden Kompetenzen ausgestatteten Sanierungsbeauftragten sowie die Bildung eines Sanierungsbeirats wird von DANNEMANN (1988) berichtet, ohne daß nähere Ausführungen über deren Aufgaben, Zuordnung und – im Fall des Beirats – personelle Zusammensetzung gemacht werden. Bei entsprechender Ausgestaltung können diese Einrichtungen, ähnlich wie die von CLAUS (1988 a) empfohlene „Sanierungsgemeinschaft“, ein Bindeglied zwischen den zuständigen Behörden und anderen verantwortlichen Stellen, z. B. Betreiber oder Besitzer, einerseits und den betroffenen Bürgern oder Vorhabengegnern andererseits darstellen. Sofern diese Gremien zur Verkürzung der Informationswege, zum Ausgleich gegensätzlicher Standpunkte und zur konstruktiven Meinungsbildung beitragen, schaffen sie ein für die anstehenden Problemlösungen günstiges Klima. In diesem Zusammenhang kann auch die Bildung von Bürgerinitiati-

ven oder anderer Interessengruppen im Hinblick auf die Bündelung der Argumente und ihre Vertretung durch einzelne kompetente Mitglieder einer schnellen Problemlösung durchaus dienlich sein.

**106.** Ein positives Klima für die Sanierung einer Altlast läßt sich in der Öffentlichkeit auch dadurch erreichen, daß die Thematisierung des Problems vorwiegend positive Aspekte einbezieht. So wurde eine im Stadtkern von Nordhorn gelegene Altlast nicht allein aus umweltpolitischen Gründen, sondern auch aus stadtplanerischen Überlegungen heraus saniert (WEBER und WIEGANDT, 1988). Mit der Zielsetzung „anspruchsvolles Wohnen am Wasser“ und der Einbindung des Geländes in eine die Stadt durchziehende Grünplanung entlang des Flusses Vechte wurde eine hohe Akzeptanz der Sanierungsmaßnahmen erreicht.

**107.** Im Interesse einer schnellen und wirksamen Sanierung von Altlasten ist der Rat der Auffassung, daß es unbedingt notwendig ist, eine möglichst weitgehende Akzeptanz für das geplante Vorgehen bei den Betroffenen und der Öffentlichkeit zu erreichen. Die ohne diese Akzeptanz auftretenden Behinderungen und Verzögerungen können Gesundheitsschäden bei Menschen und Umweltbeeinträchtigungen begünstigen. Programme zur Beteiligung der Öffentlichkeit und zur Einbeziehung der Betroffenen in die Entscheidungsvorbereitung sollten daher Bestandteil eines jeden Sanierungsplanes sein.

## 2 Grundlagen zur Beurteilung der Gefährdungen durch Altablagerungen und Altstandorte

### 2.1 Ziele und Möglichkeiten der Beurteilung der Gefährdungen

**108.** Zur Beurteilung von Gefährdungen für Mensch und Umwelt sind altlastverdächtige Flächen einer Gefährdungsabschätzung zu unterziehen, damit über ihre Einstufung als Altlasten entschieden werden kann. Hierbei muß festgestellt werden, welche Gefährdungen im einzelnen durch welche Stoffe und für welche Schutzgüter bestehen oder zu erwarten sind. Diese Feststellungen müssen sich auf alle potentiellen Ausbreitungspfade und alle besonders im Zusammenhang mit der Nutzung stehenden Schutzgüter erstrecken. Die Bewältigung dieser Aufgaben bereitet vielfach noch Schwierigkeiten, da allgemein anerkannte Kriterien, von denen sich ableiten ließe, wann für ein bestimmtes Schutzgut Anlaß zur Besorgnis besteht, noch immer weitgehend fehlen.

**109.** Es muß das Ziel sein, zukünftig über ausreichende Grundlagen zur Beurteilung des Gefährdungspotentials zu verfügen, welche erlauben, mit Hilfe von einheitlichen Kriterien das Risiko abzuschätzen.

Um für die hierfür notwendigen Beurteilungsmaßstäbe bundeseinheitliche Richtlinien zu entwickeln, empfiehlt der Rat, daß die auf Bundesebene tätige Expertengruppe zur „Gefahrenbeurteilung bei Altlasten“ baldmöglichst eine Harmonisierung herbeiführt und auch die in einzelnen Ländern tätigen Arbeitsgruppen in die Arbeit einbezieht.

**110.** Bei der Ermittlung des Gefährdungspotentials ist zu beurteilen, ob bei einer altlastverdächtigen Fläche Gefahren für Leben und Gesundheit des Menschen und Gefährdungen für die belebte und unbelebte Umwelt bestehen oder in Zukunft zu erwarten sind oder ob nach heutigen Erkenntnissen davon ausgegangen werden kann, daß solche Gefahren und Gefährdungen nicht vorliegen und auch in Zukunft nicht zu besorgen sind.

Darüber hinaus wird anhand der Gefährdungspotentiale festzulegen sein, welche Prioritäten für Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen zu setzen sind.

**111.** Voraussetzung ist aber, das Gefährdungspotential möglichst sicher zu ermitteln. Hierfür ist die Verbesserung unserer Kenntnisse über das Verhalten und den Verbleib von Stoffen im Abfallkörper, in Böden, in der Bodenluft, im natürlichen Untergrund und im Grundwasser notwendig. Außerdem sind die Wissenslücken in der Humantoxikologie und insbesondere in der Ökologie und Ökotoxikologie bezüglich der langfristigen Wirkungen von Schadstoffen auszufüllen. Sowohl bei der Abschätzung der Ausbreitung von Stoffen aus Altablagerungen und Altstandorten als auch bei den Fragen der langfristigen Wirkungen

der altlastenrelevanten Stoffe werden vom Rat Schwerpunkte für die Umweltforschung gesehen.

**112.** Die Frage nach dem Gefährdungspotential von Altablagerungen und Altstandorten ist nicht vollständig zu beantworten, weil es auf viele Einzelfragen keine oder nur unvollständige Antworten gibt. Trotz dieser Unsicherheiten gilt es, die derzeitige und zukünftig mögliche Gefährdung, die auftreten kann, wenn keine Gegenmaßnahmen getroffen werden, soweit wie möglich zu beschreiben und zu beurteilen. Ausgangspunkt hierfür sind die in Betracht kommenden Emissionen mit ihren Ausbreitungspfaden. Die Beschreibung von vorhandenen Verunreinigungen durch Analysewerte ist in den meisten Fällen möglich. Schwierigkeiten bereitet aber die anschließende Bewertung hinsichtlich zu erwartender Wirkungen, da einheitliche Bewertungskriterien allgemein fehlen. Noch schwieriger gestaltet sich die Beurteilung von in Zukunft zu erwartenden Belastungen, wenn zum Beispiel die Möglichkeit besteht, daß zum Zeitpunkt der Betrachtung noch emissionsfreie Altablagerungen und Altstandorte künftig schädliche Emissionen abgeben oder noch nicht beeinflusste Schutzgüter und Nutzungen von Verunreinigungen betroffen werden. Zur Beurteilung, inwieweit hier Altlasten vorliegen, und zur Entscheidung über die Notwendigkeit und Dringlichkeit von Maßnahmen im Sinne eines vorbeugenden Schutzes müssen in solchen Fällen zusätzliche Prognosen über die Ausbreitung von Verunreinigungen und über die Exposition von Umweltmedien, des Menschen, der Pflanzen und Tiere sowie von Sachgütern vorgenommen werden.

Derzeit ist davon auszugehen, daß es noch erheblicher Anstrengungen bedarf, um allgemeingültige Bewertungsansätze anwenden zu können.

**113.** Bei der Gefährdungsbeurteilung ist von drei miteinander verknüpften Grundelementen auszugehen; dies sind

- die Eigenschaften und Mengen der abgelagerten bzw. ins Erdreich eingedrungenen Stoffe einschließlich der Reaktionsprodukte (Kap. 2.2),
- die räumlichen und zeitlichen Möglichkeiten und Wahrscheinlichkeiten einer Ausbreitung der Schadstoffe (Kap. 2.3),
- Art und Umfang der Exposition von Schutzgütern in Verbindung mit der vorhandenen oder geplanten Nutzung (Kap. 2.4).

**114.** Seit der ersten Äußerung des Rates über Altablagerungen und Altlasten (SRU, 1978) ist ein beträchtlicher Zugewinn an Erfahrungen und Erkenntnissen über die Eigenschaften der für Altlasten spezifischen Stoffe und deren Ausbreitungsmechanismen festzustellen. Das teilweise fehlende Wissen infolge der



Vielfalt an Stoffen mit ihren zahlreichen Wechselwirkungen und Reaktionen — auch auf dem Wege der Ausbreitung — macht eine quantitative Beschreibung des Risikos nicht möglich. Es bleibt deshalb immer nur bei einer Abschätzung der Gefährdung bzw. des Risikos. Dennoch ist der Rat der Auffassung, daß durch Forschungsarbeiten sowie durch das Zusammentragen aller anfallenden Erkenntnisse die mit einer Abschätzung verbundene Unsicherheit der Aussage über das Gefährdungspotential ständig verringert werden muß.

**115.** Der Rat hat sich auch die Frage vorgelegt, ob bei fehlenden Kenntnissen hinsichtlich der Schadstoffe in Altablagerungen und an Altstandorten aus Gründen der Vorsorge von den ungünstigsten Annahmen auszugehen ist. Diese Frage besitzt weniger bei Altstandorten, wohl aber bei Altablagerungen eine erhebliche praktische Bedeutung. Der Inhalt einer Ablagerung ist in der Regel nie vollständig bekannt, doch kann man nicht bei den ca. 40 500 Altablagerungen von den „ungünstigsten“ Voraussetzungen ausgehen, zum Beispiel von abgelagerten dioxinhaltigen Abfällen. Die hiermit verbundenen Kosten stünden nicht mehr in einem vertretbaren Verhältnis zur Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung von Mensch und Umwelt. Von den ungünstigsten Voraussetzungen sollte deshalb nur beim Vorliegen von begründeten Verdachtsmomenten ausgegangen werden und wenn zusätzlich die Ausbreitung des betreffenden Schadstoffes zu einer Exposition führen kann, die eine Gefährdung für die Schutzgüter und hier insbesondere für die menschliche Gesundheit bedeutet.

**116.** Die Methoden zur Erfassung und Bestimmung des Gefährdungspotentials werden immer nur stichprobenartige Aussagen liefern und nicht das „Ganze“ (Abfallkörper, Kontaminationskörper, Ausbreitungspfade) lückenlos erfassen. Dies ist vor allem auch im Hinblick auf die Art und Menge der Schadstoffe in abgelagerten Abfällen bedeutsam.

Gewisse Unsicherheiten in der Aussage werden sich auch dadurch ergeben, daß nicht an allen Altablagerungen und Altstandorten Untersuchungen mit der Intensität von Sanierungsuntersuchungen durchführbar sind.

**117.** Die Grenzen der Ermittlung des Gefährdungspotentials sind gekennzeichnet durch

- die nicht vollständige Erfäßbarkeit der Zusammensetzung und Mengen der Schadstoffe einschließlich ihrer Reaktionsprodukte,
- das Fehlen ausreichender und bundeseinheitlich akzeptierter Leitparameter für die Ermittlung der Zusammensetzung der Schadstoffe einschließlich ihrer Reaktionsprodukte,
- die nicht ausreichenden Kenntnisse über das Verhalten und die Ausbreitung der Stoffe und Reaktionsprodukte in den zu schützenden Medien,
- Lücken im Wissen um die Zusammenhänge zwischen den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Stoffe und ihren Wirkungen auf die menschliche Gesundheit und die anderen Schutzgüter,
- das Fehlen einheitlicher und allgemein anerkannter Bewertungskriterien und Beurteilungsmaß-

stäbe hinsichtlich der zu erwartenden Wirkungen.

## 2.2 Eigenschaften und Mengen der Stoffe

**118.** Der stoffliche Inhalt einer Altablagerung und damit ihre umweltgefährdenden Eigenschaften sind nur in wenigen Fällen bekannt. Sollten aus der Erfassung der Altablagerungen Hinweise auf bestimmte Abfallarten und deren Herkunft vorliegen, so gibt die Verordnung zur Bestimmung von Abfällen nach § 2 Abs. 2 AbfG vom 24. Mai 1977 bzw. der entsprechende neue Entwurf der Verordnung Hinweise über Abfälle, die nach Art oder Beschaffenheit in besonderem Maße umweltgefährdend sind.

Bei Altstandorten ist in vielen Fällen das Stoffspektrum mit seinen Eigenschaften besser einzugrenzen, wenn die Branche, die früher an diesem Standort umweltgefährdende Stoffe hergestellt hat oder damit umgegangen ist, bekannt ist (SCHULDT, 1987). Eine Liste altlastverdächtiger Altstandorte, aufgegliedert nach Branchen, enthält Tabelle 2.1.

**119.** Entscheidend sind diejenigen Eigenschaften der Schadstoffe, die die Freisetzung und Ausbreitung in den Umweltmedien und ihre Wirkung bestimmen.

Zu den für die Abschätzung bzw. Beurteilung des Gefährdungspotentials einer Schadstofflast wesentlichen Faktoren gehören folgende Eigenschaften und kennzeichnende Größen der Stoffe:

- physikalische Eigenschaften,
  - u. a. Struktur (Molekülgröße und -form), Aggregatzustand, Dichte, Dampfdruck (Flüchtigkeit), Viskosität (Konsistenz), Sorptionsfähigkeit an organischem Bodenmaterial, Löslichkeit in verschiedenen Flüssigkeiten (Verteilungskoeffizient Octanol-Wasser), Zündtemperatur, Explosionsgrenzen in Luft sowie weitere aus allen vorgenannten Größen abgeleitete Eigenschaften, wie beispielsweise Mobilität, Remobilisierbarkeit, Auslaugbarkeit, Mischbarkeit
- chemische Eigenschaften,
  - u. a. Reaktivität mit Wasser, Boden und Untergrundmaterial, Stabilität/Alterung, Komplexbildungsfähigkeit, biologische und chemische Abbaubarkeit, Metabolitenbildung, Persistenz
- toxikologische und hygienische Eigenschaften,
  - u. a. humantoxische einschließlich kanzerogene Eigenschaften, organoleptische Eigenschaften, ökotoxische Eigenschaften, synergistische und antagonistische Eigenschaften, Bioakkumulierbarkeit und Persistenz.

**120.** Die human- und ökotoxikologischen Bewertungen von Schadstoffen geringer Konzentration machen sowohl für die Kurzzeit- als auch für die Langzeitbelastung Schwierigkeiten, da der Übertragung der Kenntnisse aus der klassischen Toxikologie für diesen Bereich noch Grenzen gesetzt sind (SRU, 1987 a, Kap. 3.1).

**121.** Die Vielzahl der möglichen Schadstoffe mit ihren unterschiedlichen Eigenschaften macht es not-

Tabelle 2.1

**Altlastverdächtige Altstandorte und mögliche relevante Stoffe**

Altstandorte, aufgegliedert nach Branchen, angelehnt an die Systematik der Wirtschaftszweige. Die rechte Spalte soll einen ersten Überblick vermitteln, welche Stoffe – neben vielen anderen – für den jeweiligen Standorttyp charakteristisch sind und maßgeblich das Risiko bestimmen können. Sie besagt nichts über die tatsächlich im Einzelfall vorgefundene Stoffpalette.

Herstellung von Batterien, Akkumulatoren	Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Fluoride, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Säuren/Basen, Selen, Zink
Herstellung von anorganischen Grundstoffen und Chemikalien	Ammonium, Antimon, Arsen, Beryllium, Blei, Cadmium, Chrom, Cyanide, Dinitrophenol, Fluoride, Fluorosilicate, Kupfer, Nickel, Nitrobenzol, Pentachlorphenol, Quecksilber, Säuren/Basen, Selen, Tetrachlormethan, Thallium, Thiocyanate, Vanadium, Zink
Herstellung von Handelsdüngern	Ammonium, Arsen, Cadmium, Fluorosilicate, Kupfer, Säuren/Basen, Thallium
Herstellung von organischen Grundstoffen, Chemikalien und Pharmazeutika	es sind viele Stoffe möglich; die Art des Betriebes bestimmt, welche Stoffe im Einzelfall relevant sind
Herstellung von Kunststoffen	Acrylnitril, Benzol, Blei, Cadmium, Chrom, Cyanide, Dibromethan, Dichloroethan, Dichloroethen, Dichlorpropan, Dinitrotoluol, Epichlorhydrin, Fluoride, Kresole, PAH, Phenol, Phthalate, Säuren/Basen, Selen, Tetrachlormethan, Trichlormethan, Toluol, Vinylchlorid, Zink
Herstellung von Farben und Lacken	Anthracen, Antimon, Arsen, Benzin, Benzol, Blei, Cadmium, Chlorbenzol, Chlorphenol, Chrom, Cyanide, Dichlormethan, Dinitrophenol, Dinitrotoluol, Ethylbenzol, Fluoranthen, Fluoride, Kresole, Kupfer, Mesitylen, Mineralöl, Naphthalin, Nitrobenzol, PAH, PCB, Pentachlorphenol, Phenol, Phthalate, Quecksilber, Säuren/Basen, Selen, Teeröle, Tetrachlorethan, Tetrachloroethen, Tetrachlormethan, Toluol, Trichlorethan, Trichloroethen, Trichlormethan, Xylol, Zink
Herstellung von Pflanzenschutzmitteln, Schädlingsbekämpfungsmitteln usw.	Aldrin, Arsen, Benzol, Blei, Chlorbenzol, Chlorphenol, Chrom, Cyanide, DDT, Dibromethan, Dichlorphenol, Dichlorpropan, Dinitrophenol, Epichlorhydrin, Fluoride, Fluorosilicate, Hexachlorbenzol, Hexachlorcyclohexane, Kresole, Kupfer, Naphthalin, Nitrobenzol, Pentachlorphenol, Phenol, Quecksilber, Selen, TCDD, Teeröle, Tetrachlormethan, Thallium, Trichlorbenzol, Trichlorphenol, Tetrachlorethan, Trichlormethan, Xylol, Zink
Herstellung von Munition und Explosivstoffen	aromatische Amine, Antimon, Arsen, Blei, Chrom, Dinitrobenzol, Dinitrophenol, Dinitrotoluol, Kupfer, Methylaminnitrat, Nitrobenzol, Nitrophenole, Phenol, Quecksilber, Säuren/Basen, Toluol, Trimethyltrinitroamin (Hexogen), Trinitrotoluol
Aufbereitungsanlagen für verbrauchte Lösemittel, Chemikalien usw.	es sind viele Stoffe möglich; die Art des Betriebes bestimmt, welche Stoffe im Einzelfall relevant sind
Steinkohlenbergbau, Gaswerke, Kokereien	Ammonium, Anthracen, Arsen, (Asbest), Benzo(a)pyren, Benzol, Blei, Chrom, Cyanide, Ethylbenzol, Fluoren, Kresole, Mesitylen, Mineralöl, Naphthalin, PAH, Phenol, Säuren/Basen, Teeröle, Thiocyanate, Toluol, Xylol, (Zink)
NE-Metallerz-Bergbau	Blei, Cadmium, Chrom, Cyanide, Kresole, Kupfer, Phenol, Quecksilber, Säuren/Basen, Zink
Mineralölverarbeitung/Mineralöllagerung (incl. Altöl)	Anthracen, Arsen, Benzin, Benzol, Blei, Chrom, Dibromethan, Dichloroethan, Dichlorpropan, Ethylbenzol, Kupfer, Mineralöl, Naphthalin, Nickel, PAH, PCB, PCN, Pentachlorphenol, Phenol, Säuren/Basen, Selen, TCDD, Teeröle, Tetrachlorethan, Tetraethylblei, Toluol, Trichlorethan, Trichloroethen, Vanadium, Xylol, Zink
Eisen- und Stahlerzeugung	Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Cyanide, Fluoride, Mineralöl, Nickel, Phenol, Quecksilber, Säuren/Basen, Vanadium, Zink
NE-Metallhütten	Antimon, Arsen, Beryllium, Blei, Cadmium, Chrom, Cyanide, Fluoride, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Säuren/Basen, Selen, Thallium, Vanadium, Zink

Tabelle 2.1

## Altlastverdächtige Altstandorte und mögliche relevante Stoffe

NE-Metallumschmelzwerke	Antimon, Arsen, Beryllium, Blei, Cadmium, Chrom, Cyanide, Fluoride, Kupfer, Mineralöl, Nickel, Phenol, Quecksilber, Säuren/Basen, Zink
Metallgießereien	Antimon, Arsen, Cadmium, Cyanide, Blei, Kupfer, Nickel, Phenol, Quecksilber, Säuren/Basen, Vanadium, Zink
Oberflächenveredelung/ Härtung von Metallen	Antimon, Arsen, Benzin, Benzol, Blei, Cadmium, Chrom, Cyanide, Dichlormethan, Fluoride, Kupfer, Mineralöl, Nickel, Quecksilber, Säuren/Basen, Selen, Tetrachlorethen, Tetrachlormethan, Trichlorethan, Trichlorethen, Trichlormethan, Zink
Tierkörperbeseitigung, Tierkörperverwertung	Ammonium, Benzin, Tetrachlorethen
Herstellung und Verarbeitung von Glas	Antimon, Arsen, Benzol, Blei, Cadmium, Chrom, Cyanide, Fluoride, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Selen, Zink
Bearbeitung, Imprägnierung, Verarbeitung von Holz	Arsen, Benzin, Chrom, DDT, Dichlormethan, Dinitrophenol, Fluoranthren, Fluoride, Fluorosilicate, Kresole, Kupfer, Mineralöl, Naphthalin, Nickel, PCB, PCN, Pentachlorphenol, Phenol, Quecksilber, Säuren/Basen, TCDD, Teeröle, Tetrachlormethan, Toluol, Trichlorethen, Xylol, Zink
Herstellung und Verarbeitung von Papier, Pappen und Texti- lien	Antimon, Arsen, Benzol, Blei, Chrom, Cyanide, Epichlorhydrin, Kupfer, Mineralöl, PCB, Pentachlorphenol, Quecksilber, Säuren/Basen, Teeröle, Tetrachlorethen, Thallium, Trichlorbenzol, Trichlorethan, Trichlorethen, Zink
Verarbeitung von Gummi, Kunststoffen und Asbest	Antimon, Asbest, Acrylnitril, Benzin, Benzo(a)pyren, Benzol, Blei, Cadmium, Chlorbenzol, Chrom, Cyanide, Dichlorethan, Dichlorethen, Dichlormethan, Dichlorpropan, Dinitrotoluol, Epichlorhydrin, Fluoride, Kupfer, Nitrobenzol, PAH, PCB, Phenol, Phthalate, Quecksilber, Selen, Teeröle, Tetrachlormethan, Toluol, Trichlorethan, Trichlorethen, Zink
Erzeugung und Verarbeitung von Leder	Arsen, Chrom, Fluoride, Kresole, Naphthalin, Pentachlorphenol, Phenol, Quecksilber, Tetrachlormethan
Herstellung von Speiseölen und Nahrungsfetten	Benzin, Benzol, Chrom, Dichlorethan, Dichlormethan, Nickel, Säuren/Basen, Tetrachlorethen, Tetrachlormethan, Trichlorethen, Trichlormethan
Chemische Reinigungen	Benzin, Benzol, Dichlorethan, Tetrachlorethen, Trichlorethan, Trichlorethen, Trichlormethan
Abfallbehandlungsanlagen, Betriebskläranlagen	es sind viele Stoffe möglich; die Art des Betriebes bestimmt, welche Stoffe im Einzelfall relevant sind
Schrottplätze, Autowrackplätze	Benzin, Blei, Cadmium, Chrom, Mineralöl, PCB, Tetrachlorethen, Trichlorethen, Zink
Güterbahnhöfe, Bahnbetriebs- werke	es sind viele Stoffe möglich; die Art des Betriebes und die transportierten Güter bestimmen, welche Stoffe im Einzelfall relevant sind
Flugplätze	Benzin, Benzol, Bleialkyle, Bromverbindungen, Mineralöl, Phosphatester, Tetrachlorethen, Trichlorethen
Metallverarbeitung	Cyanide, Mineralöl, Tetrachlorethen, Trichlorethan, Trichlorethen, Trichlormethan, (Schwermetalle)
Tankstellen	Benzin, Benzol, Bleialkyle, Chlorkohlenwasserstoffe, Dieselkraftstoff, PAH, Petroleum, Schmieröle, Testbenzin, Toluol, Xylol

Quelle: SRU, nach HAAS et al., 1989; LAGA, 1989; NICLAUSS et al., 1989; WOLFF, 1989

wendig, für die Auswahl von Stoffen, auf die sich eine Beurteilung stützen kann, auf Auswahlhilfen zurückzugreifen. Als Beurteilungshilfe hat die Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“ der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) eine Auswahl der wichtigsten Stoffe zusammengestellt, die bei Altlasten hinsichtlich ihres Vorkommens, ihrer Mobilität, Toxizität, Bioakkumulation, Abbaubarkeit und ihres Langzeitgefährdungspotentials relevant sein können (Tab. 2.2).

**122.** Neben den Eigenschaften sind Kenntnisse über die Mengen der Schadstoffe im Abfallkörper bzw. im verunreinigten Erdreich wichtig, um Sanierungsmaßnahmen nicht nur gefährdungsproportional, sondern auch mengenwirksam orientiert planen zu können.

### 2.3 Räumliche und zeitliche Ausbreitung

#### 2.3.1 Ausbreitungspfade

**123.** Die in altlastverdächtigen Flächen, d. h. in Altablagerungen oder in Böden und Untergrund von Alt-

standorten, enthaltene Schadstofflast kann nachteilige Wirkungen nur dann entfalten, wenn sie mit dem zu schützenden Gut wirklich in Kontakt kommt (SRU, 1987a, Tz. 634). Dies kann über verschiedene Pfade geschehen. In der Literatur zu Altlasten findet man für diese Pfade zahlreiche unterschiedliche Bezeichnungen.

**124.** Der Rat benutzt für die Wege der Freisetzung der Schadstoffe (Schadstoffaustrag) in die Umweltmedien und deren dortige Ausbreitung (Schadstofftransport) den Begriff „Ausbreitungspfad“.

**125.** Die Ausbreitungspfade lassen sich in zwei Gruppen einteilen. Die erste Gruppe umfaßt die Pfade der direkten Kontakte, die zweite umfaßt jene Pfade, die der Ausbreitungsmedien Wasser und Luft bedürfen.

Der Rat schlägt vor, die wichtigsten Ausbreitungspfade entsprechend den Haupttransportmedien wie folgt zu bezeichnen:

Tabelle 2.2

#### Relevante Stoffe in Altlasten

Acenaphthen	1,2-Dichlorpropan	Phenol
Acrylnitril	Dichlorbenzole	Phthalate
Aldrin	2,4-Dinitrophenol	Quecksilber und Verbindungen
Ammoniumverbindungen	2,4-Dinitrotoluol	Säuren/Basen
Anthracen	Epichlorhydrin	Selen und Verbindungen
Antimon und Verbindungen	Ethylbenzol	2,3,7,8-TCCD
Arsen und Verbindungen	Fluoranthren	Teeröle
Asbest	Fluoren	1,1,2,2-Tetrachlorethan
Benzin	Fluoride	Tetrachlorethen
Benzo(a)pyren	Fluorosilicate	Tetrachlormethan
Benzol	Hexachlorbenzol	Tetraethylblei
Beryllium und Verbindungen	Hexachlorcyclohexane	Thallium und Verbindungen
Blei und Verbindungen	Kohlendioxid	Thiocyanate
Cadmium und Verbindungen	Kresole	Toluol
Chlorbenzol	Kupfer und Verbindungen	1,2,4-Trichlorbenzol
Chlorphenole	Mesitylen	1,1,1-Trichlorethan
Chrom und Verbindungen	Methan	1,1,2-Trichlorethan
Cyanide (auch komplex)	Mineralöl	Trichlorethen
DDT	Naphthalin	Trichlormethan
1,2-Dibromethan	Nickel und Verbindungen	2,4,5-Trichlorphenol
1,1-Dichlorethan	Nitrobenzol	Vanadium und Verbindungen
1,2-Dichlorethan	PAH	Vinylchlorid
1,1-Dichlorethen	PCB	Xylole
1,2-Dichlorethen	PCN	Zink und Verbindungen
Dichlormethan	Pentachlorphenol	
2,4-Dichlorphenol	Phenanthren	

Quelle: LAGA, 1989

„Luftpfad“ = Ausbreitung von Schadstoffen durch die Luft, d. h. am Standort entwickeln sich Schwebstoffe/Gase/Dämpfe, die entweder in Luft/Boden/Wasser eingehen oder direkt auf Pflanze/Tier/Mensch einwirken;

„Wasserpfad“ = Ausbreitung von Schadstoffen durch und im Wasser, d. h. am Standort treten verunreinigte Sickerwässer/Grundwässer/Oberflächenabflußwässer auf, die entweder in Oberflächenwasser/Grundwasser/Böden/Untergrund übergehen oder direkt auf Pflanze/Tier/Mensch einwirken.

Stehen die Haupttransportmedien in engem Kontakt zu Böden und Pflanzen, so sind über deren Belastung weitere Wege innerhalb der Nahrungskette möglich, so zum Beispiel

Luft/Grund-/Oberflächenwasser → Böden → Pflanzen/Tiere → Nahrungs- bzw. Futtermittel → Mensch.

**126.** Der Rat verzichtet darauf, den Boden als besonderen Ausbreitungspfad zu bezeichnen, da der Begriff des Ausbreitungspfades durch ein aktives Transportmittel definiert ist. Böden und Untergrund sind als Ausgangs- und Durchgangsmedien für Schadstoffe anzusehen. Die besondere Bedeutung der Böden und des Untergrundes liegt einerseits in der Fähigkeit der Speicherung von Schadstoffen und andererseits in ihrem Filter-, Puffer- und Abbauvermögen.

**127.** Die Pfade können einzeln, nacheinander oder gleichzeitig an der Ausbreitung von Schadstoffen beteiligt sein.

Bei der Gefährdungsabschätzung müssen sämtliche in Betracht kommenden Pfade auf ihre Relevanz geprüft werden (s. Kap. 3.3). Hierbei ist festzustellen, ob bereits ein Schadstoffaustrag und -transport erfolgt ist, der sich als Verunreinigung der Ausbreitungsmedien Wasser und Luft und des Durchgangsmediums Boden nachweisen läßt. Ist dies nicht der Fall, muß ermittelt werden, ob die Freisetzung von Schadstoffen in Zukunft möglich und wahrscheinlich ist und welche Ausbreitungspfade in Frage kommen. Hierfür spielen standortgegebene Risikofaktoren eine wichtige Rolle.

### 2.3.2 Standortgegebene Risikofaktoren

**128.** Zur Beurteilung des Gefährdungspotentials dienen Ermittlungen und Kenntnisse, ob über die an den einzelnen Standorten vorliegenden Untergrundverhältnisse und die in der Vergangenheit üblichen Gegebenheiten der Ablagerung und der Verunreinigung des Erdreiches am Altstandort ein Austrag von Schadstoffen oder ein direkter Kontakt mit ihnen ermöglicht oder be- bzw. verhindert wird.

Die ohne Planung und ohne die aus heutiger Sicht notwendigen Sicherheitseinrichtungen erfolgten ungeordneten Ablagerungen stellen je nach Schadstoff-

gehalt und -verteilung standortspezifische Risikofaktoren dar.

**129.** Die standortgegebenen Risikofaktoren können verbunden sein mit ablagerungs- und betriebstechnischen Gegebenheiten, zum Beispiel mit

- Verfüllungen in alten Sand- und Kiesgruben, Steinbrüchen, Bombentrichtern und in Senken,
- Zwischenabdeckungen in alten Deponien,
- der gemeinsamen Ablagerung miteinander reagierender Stoffe,
- Ablagerungen von öligen und schlammförmigen Sonderabfällen in Wannen von Bauschutt und Hausmüll,
- der Verwendung von verunreinigtem Bauschutt, Bergematerial u. ä. für die Rekultivierung von Alt-ablagerungen,
- der Art der Abdichtung der Sohle, Wände und Oberfläche der Altdeponie bzw. dem Fehlen solcher Abdichtungen,
- Stoffgemischen, die zu Verschmelzungen und Bränden in Deponiekörpern führten,
- Ablagerungen und Stoffeinträgen in angeschnittenes Grundwasser,
- der Art des Abbruches von stillgelegten Anlagen,
- dem Ort und der Anordnung der Anlagenteile auf dem stillgelegten Betriebsgelände,
- dem Umfang von Kriegseinwirkungen.

Zu den standortgegebenen Risikofaktoren gehören auch die Bodenoberflächen- sowie die Untergrund- und Grundwasserverhältnisse, beispielsweise

- Geländemorphologie,
- Vegetationsstrukturen auf der Bodenoberfläche,
- der Aufbau des Untergrundes, die Art der Gesteine, ihre Mächtigkeit, Lagerung, Gebirgsdurchlässigkeit, besonders das Auftreten von Spalten, Karsthohlräumen,
- die hydrogeologischen Grundwasserverhältnisse, vor allem Grundwasserbewegung und Grundwasserbeschaffenheit.

Standortgegebene Risikofaktoren können sich aber auch aufgrund klimatischer Verhältnisse, zum Beispiel großer Niederschlagsmengen, und durch die Nachbarschaft von Oberflächengewässern sowie aus der unmittelbaren Nähe und Lage der Alt-ablagerungen bzw. der Altstandorte zu besonderen Nutzungen ergeben, wobei ihre Wirkungen je nach Exposition und Nutzung unterschiedlich sein können (Kap. 2.4).

### 2.3.3 Verhalten und Ausbreiten von Schadstoffen

**130.** Zu den gefährdungsbestimmenden Faktoren, die das Eindringen von Schadstoffen aus Alt-ablagerungen und Altstandorten in die Umweltmedien und

deren Ausbreitung in der Umwelt bestimmen, gehören neben Einflußgrößen, die auf den Eigenschaften der Stoffe beruhen (Kap. 2.2), auch solche, die in den Eigenschaften der Ausbreitungsmedien und den lokalen Verhältnissen begründet sind.

Für die Beurteilung müssen die Zustandsformen und das Verhalten der Schadstoffe in den Umweltmedien sowie die Beschaffenheit und Verhältnisse der Umweltmedien in ihren Wechselwirkungen betrachtet werden.

#### Ausbreitung im Untergrund und Grundwasser

**131.** In Tabelle 2.3 sind die in der Literatur genannten wichtigsten Einflußfaktoren für die Ausbreitung von festen und flüssigen Schadstoffen im Untergrund und im Grundwasser zusammengestellt. Darüber hinaus gibt es noch zusätzliche Einflußfaktoren für die Ausbreitung bzw. den Verbleib und die Speicherung von Schadstoffen in Böden.

**132.** Für viele der aufgeführten Faktoren sind nur lückenhafte Kenntnisse vorhanden, die besonders bei der Vielfalt der Stoffe und ihrer Reaktionsmechanismen die Abschätzung des jeweiligen Gefährdungspotentials erschweren. Hilfreich sind hierbei Näherungsverfahren, die das Verhalten von Schadstoffen im Untergrund beschreiben. DARIMONT und LÜHR (1985) haben in einer Klassifikation des Migrationsverhaltens wassergefährdender Stoffe die Vielzahl der den Migrationsvorgang bestimmenden Einflußgrößen auf wenige dominante stoffspezifische Parameter verdichtet. Für das Sickerverhalten sind Dichte und Viskosität, für das Verdunstungsverhalten Flüchtigkeit, relative Dampfdichte zur Bodenluft und für das Ausbreitungsverhalten in erster Näherung relative Dichte zum Wasser, Wasserlöslichkeit und Wassermischbarkeit dominante Parameter.

**133.** Zur Beschreibung der Transportphänomene im Untergrund sind dank der schnellen Entwicklung auf dem Gebiet der EDV zahlreiche Simulationsmodelle entwickelt worden (Literaturhinweise in BATTERMANN, 1988; DAMRATH et al., 1979; DUYNISVELD et al., 1983; GELDNER, 1983; MISCHGOFOSKY, 1986; ROUVÉ und DORGARTEN, 1988; ZIPFEL, 1985). Während Strömungsmodelle bereits ein bewährtes Instrument hydrogeologischer Betrachtungsweisen sind, sind Darstellungsweisen der Stofftransportvorgänge mittels numerischer Modelle erst in neuerer Zeit entwickelt worden. Über die Praxisreife numerischer Modelle herrschen noch unterschiedliche Fachmeinungen, die sich aus der Betrachtung der Ergebnisse bei der Anwendung im Einzelfalle mit seinen lokalspezifischen Eigenheiten ergeben. Die Ausbreitung von Stoffen im Grundwasser, die sich beim Transport nicht verändern, kann bei entsprechender Berücksichtigung der lokalen Situation in der Praxis im allgemeinen hinreichend genau erfaßt werden. Dagegen führt die Modellierung von Stoffen, die Reaktionen beim Transport unterliegen, nur dann zu befriedigenden Ergebnissen, wenn nicht nur ausreichende Kenntnisse über die lokalen Verhältnisse, sondern auch über das Verhalten dieser Stoffe und ihrer Reaktionsprodukte unter den verschiedensten Bedin-

gungen vorliegen. Hier bestehen für viele relevante Substanzen noch Wissenslücken. Auch können Prozesse, die den Verbleib von Chemikalien in Böden bestimmen, bisher nur näherungsweise und vereinfacht durch Simulationsmodelle dargestellt werden (KLEIN et al., 1988).

**134.** Der Rat empfiehlt, durch entsprechende Forschungsvorhaben das Gebiet der numerischen Simulationsmodelle zum Stofftransport weiterzuentwickeln, da deren Einsatz bei den Problemen des Erkennens und Voraussagens von kritischen Beeinträchtigungen in Bodenkörper und Grundwasser und im besonderen Maße bei den zu erwartenden Effekten der vorgesehenen Sanierungsmaßnahmen (Prognosemodelle) einen wertvollen Beitrag zur Behandlung des Altlastenproblems leisten kann.

#### Ausbreitung in der Luft

**135.** Obwohl die Gefährdung des Grundwassers als eine der gravierendsten Auswirkungen von Altlasten angesehen werden muß, bedürfen auch die gas- und dampfförmigen Emissionen im Boden und an der Oberfläche sowohl im Kern- als auch im Nahbereich der Altablagerungen und Altstandorte entsprechender Beachtung bei der Bewertung des Gefährdungspotentials.

Infolge mikrobieller Umsetzungen organischer Substanzen unter anaeroben und aeroben Bedingungen entstehen je nach Alter der Ablagerung gasförmige Produkte, vorwiegend Methan und Kohlendioxid, die durch die Oberfläche austreten können (Deponiegase, Faulgase). Darüber hinaus können auch feste oder flüssige Schadstoffe aufgrund ihrer Löslichkeit und ihres durch die Temperatur bedingten Dampfdruckes ausgetragen werden, zum Beispiel leichtflüchtige organische Halogenverbindungen. Weiterhin können durch chemische Reaktionen zwischen den Stoffen in Altablagerungen und im Erdreich an Altstandorten mit oder ohne Einwirkung von Wasser in Form von Grund- und Stauwasser, Niederschlags- bzw. Sickerwasser Reaktionsgase gebildet werden, beispielsweise Ammoniak, Wasserstoff, Phosphor-, Schwefel-, Arsen- und Cyanwasserstoff.

**136.** Nachfolgend sind die wichtigsten Einflußfaktoren für das Verhalten, den Transport und den Austritt von Gasen und Dämpfen zusammengestellt (vgl. auch DANNEMAIER, 1978; LAGA, 1983; RETTENBERGER, 1978, 1982 a und 1982 b):

- Zusammensetzung und Menge von Abfällen in Ablagerungen und von Stoffgemischen an Altstandorten mit ihren chemischen und biologischen Reaktionsmechanismen
- Wassergehalt und Hygroskopizität
- Inhomogenität und Dichteverhältnisse des Abfallkörpers und Erdreiches
- physikalische und chemische Eigenschaften der entstehenden Gase und Dämpfe
- Temperatur- und Druckverhältnisse

Tabelle 2.3

**Faktoren für das Verhalten und den Transport von festen und flüssigen Schadstoffen  
im Untergrund und im Grundwasser**

1	Ausgangsmengen, Zustandsformen und Verhalten der Schadstoffe	2.2	Lage der Altablagerungen bzw. des verunreinigten Erdreiches – im Grundwasser – oberhalb höchster Grundwasserstände
1.1	Schadstoffe in ihrer Menge und gemäß ihrer Zustandsform – gelöste Stoffe – suspendierte Stoffe – emulgierte Stoffe	2.3	Grundwasserbewegung und Grundwasserbeschaffenheit – Grundwassermächtigkeiten – Grundwasserfließgeschwindigkeiten – Grundwasserfließrichtungen – Flurabstände der Grundwasseroberfläche und deren Schwankungen – Vorflutverhältnisse und die Lage der Oberflächengewässer einschließlich Überschwemmungsgebiete – physikalische und chemische Beschaffenheit des Grundwassers
1.2	Schadstoffe gemäß ihrem Reaktionsverhalten – perseverante Stoffe – persistente Stoffe – vollständig eliminierbare Stoffe – unvollständig eliminierbare Stoffe mit toxischen Abbauprodukten (Bildung von Metaboliten) – unvollständig eliminierbare Stoffe ohne toxische Abbauprodukte	2.4	Transportmechanismen bei der Ausbreitung von Schadstoffen im Grundwasser – Transport mit der Wasserströmung (Konvektion) – Molekularbewegung der Teilchen im Wasser (Diffusion) – Konzentrationsänderungen infolge unterschiedlicher Fließgeschwindigkeiten des Wassers im Porenraum (Dispersion) – Wechselwirkung physikalischer oder chemischer Art mit dem Bodenkörper (z. B. Sorption) oder mit anderen Grundwasserinhaltsstoffen – Absinken oder Aufsteigen von Schadstoffen in Sicker- oder Grundwässern aufgrund von Viskositäts- und Dichteunterschieden
1.3	Schadstoffminderungsmechanismen <sup>1)</sup> – chemische Ausfällung – Komplexbildung – mechanische Filtration – Adsorption, Absorption – Verflüchtigung – Ionenaustausch – Hydrolyse – Bioakkumulation – aerober und anaerober Abbau; anaerobe Biosorption – photochemischer Abbau – Verdünnung	2.5	Grundwasserneubildung und Sickerwasserbildung – Menge und Intensität der Niederschläge – Oberflächenabfluß – Verdunstung – Versickerung/Kapillaraufstieg
2	Einflußfaktoren auf die Ausbreitung schadstoffbelasteter Wässer	2.6	Beschaffenheit der Sickerwässer/Sickeröle – physikalische Beschaffenheit (z. B. Lösung, Suspension, Emulsion) – chemische Zusammensetzung
2.1	Aufbau und Struktur des Untergrundes (der wassergesättigten und der -ungesättigten Zone) – Gesteinszusammensetzung und Schichtfolge des Untergrundes – Gebirgsdurchlässigkeiten (Gesteinsdurchlässigkeiten, Trennfugendurchlässigkeiten) des Untergrundes; Grundwasserleiter, Grundwasserhemmer, Grundwassernichtleiter – Mächtigkeiten der ungesättigten Bodenzone, der Grundwasserleiter, -hemmer und -nichtleiter		

<sup>1)</sup> Eine mögliche Reversibilität der Mechanismen ist zu beachten.

Quelle: Zusammenstellung SRU, nach DORSTEWITZ, 1987; EHRIG, 1988; LAGA, 1989; MELUF BW, 1985

- Absorptionsmechanismen, Schleppmechanismen und Diffusionsvorgänge
- Porosität bzw. Porenvolumen, Kanalbildung
- Gasdurchlässigkeit von Oberflächen- und Zwischenabdeckungen, Sohlen und Seitenwänden
- Drainageleitungen, Schächte
- klimatische Einflüsse.

**137.** Die Einbeziehung der hier genannten Faktoren ist Gegenstand verschiedener Ausbreitungstheorien (RETTENBERGER, 1978, 1982a und 1982b). Für die Praxis ergeben sich daraus Erkenntnisse für den zeitlichen Verlauf der Gasentwicklung und das Ausbreitungsverhalten der Gase und Dämpfe.

Über die in den letzten Jahren immer wichtigere Frage nach dem Ausbreitungsverhalten von leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen in Böden liegen zahlreiche Untersuchungen vor (MELUF BW, 1985). Danach verläuft die horizontale Ausbreitung selbst in bindigen Bodenarten relativ rasch.

Für das Ausbreitungsverhalten der Gase und Dämpfe in der Atmosphäre existieren Rechenmodelle der TA Luft und der VDI-Kommission „Reinhaltung der Luft“. Hieraus kann das Gefährdungspotential im Kern- und Nahbereich von Ablagerungen und Altstandorten durch austretende Gase und Dämpfe abgeschätzt werden.

## 2.4 Exposition, Schutzgüter und Nutzungen

**138.** Die Gefahr, die von einer altlastverdächtigen Fläche ausgehen kann, wird von den Eigenschaften der Schadstoffe, ihren Ausbreitungsmöglichkeiten und durch die Objekte, die von ihr berührt werden, bestimmt. Als Objekte, die eines Schutzes bedürfen (Schutzgüter), gelten hierbei insbesondere die Gesundheit des Menschen, weiter die Umweltmedien Wasser, Boden und Luft, pflanzliche und tierische Lebewesen mit ihren Ökosystemen, aber auch Sachgüter wie Bauwerke oder Ver- und Entsorgungsleitungen. Die Art und Weise, wie diese Schutzgüter mit den Schadstoffen in Kontakt kommen, wird als Exposition bezeichnet. Das Ausmaß der Exposition ist neben den toxischen Eigenschaften der Schadstoffe und der Empfindlichkeit der betroffenen Schutzgüter für die mögliche Schadwirkung einer altlastverdächtigen Fläche von wesentlicher Bedeutung.

**139.** Die Expositionssituation selbst läßt sich zum einen durch die Aufnahmewege für die Schadstoffe in die Schutzgüter, zum anderen durch Dauer und Häufigkeit der Einwirkung charakterisieren. Für die Schutzgüter Boden, Luft und Wasser, die als primäre Medien des Stoffdurchgangs und der Schadstoffausbreitung fungieren, sind die Aufnahmewege identisch mit den in Abschnitt 2.3.1 genannten Ausbreitungspfaden; die Einwirkung erfolgt hier vergleichsweise kontinuierlich und über große Zeiträume hinweg.

**140.** Dagegen läßt sich bei den übrigen Schutzgütern, speziell beim Menschen, die Exposition nicht mehr allein über die Ausbreitung der Schadstoffe in den primären Umweltmedien beschreiben. Wichtig ist

hier die daraus resultierende Aufnahme in den Organismus, wobei für die Aufnahme abhängig von der jeweiligen Situation unterschiedliche Möglichkeiten vorherrschen können. Auch die Dauer der Exposition ist nicht allein durch die altlastverdächtige Fläche selbst bestimmt. Aufnahmeweg und Expositionsdauer sind demnach hier im wesentlichen von der Art der Nutzung abhängig. Je nach Nutzung werden die einzelnen Schutzgüter über die primären Umweltmedien stärker oder schwächer belastet. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, zwischen nutzungsunabhängiger und nutzungsabhängiger Exposition bei den verschiedenen Schutzgütern zu unterscheiden (vgl. Abb. 2.1).

### Nutzungsunabhängige Exposition

**141.** Die Exposition der primären Umweltmedien Wasser, Boden und Luft erfolgt im Bereich einer Altablagerung oder eines Altstandortes zunächst relativ unabhängig von der tatsächlichen oder geplanten Nutzung durch den Menschen; sie kann daher im Gegensatz zur Situation bei anderen Schutzgütern durch Einschränkung von Nutzungsmaßnahmen, zum Beispiel durch bestimmte Nutzungsverbote, nicht grundlegend verändert werden. Auch ist bei Altlasten im Unterschied zu Anlagen eine Emissionsminderung durch „Stilllegung“ oder Einschränkung des Betriebs nicht möglich; hier ist zur Verhinderung der Exposition nur eine Sanierung an der Quelle erfolgreich. Unabhängig von der Nutzung können die primären Umweltmedien selbst durch die Schadstoffe direkt oder indirekt so belastet werden, daß grundlegende Umweltfunktionen, die an diese Medien gekoppelt sind (Regelungsfunktionen, Trägerfunktionen, Produktionsfunktionen, Lebensraumfunktionen usw.), beeinträchtigt werden (s. Abschn. 1.2.1). Die aus der Einschränkung dieser grundlegenden Umweltfunktionen möglichen ökologischen Wirkungen sind daher zunächst unabhängig von Nutzungsinteressen zu betrachten.

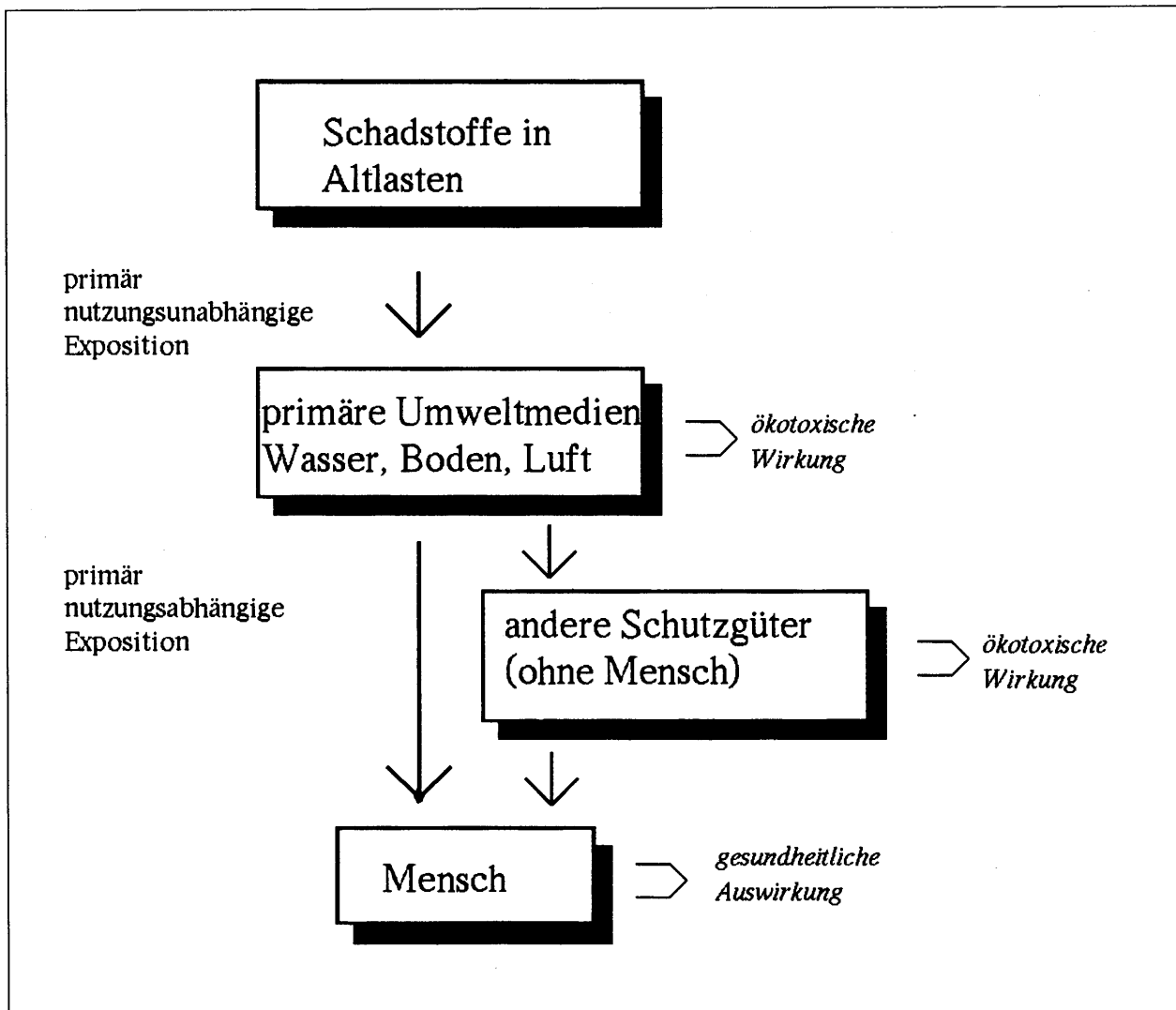
**142.** Ein wichtiges Ökosystem, das durch Altlasten häufig gefährdet werden kann, ist das Grundwasser. In enger Verbindung mit dem grundwasserführenden Untergrund bildet es den Lebensraum für die Grundwasserfauna und Mikroorganismen im Grundwasserleiter. Diese Organismen bewirken durch ihre Abbauleistung eine Umwandlung von Stoffen im Grundwasser. Die Schutzwürdigkeit des Ökosystems Grundwasser ergibt sich einerseits aus seiner wichtigen Rolle im Wasserhaushalt der Natur, andererseits aus seiner Bedeutung als Trinkwasserressource für den menschlichen Bedarf.

**143.** Die Gefährdung des Grundwassers wird schon allein an der Tatsache deutlich, daß Sand- und Kiesgruben im Bereich grundwasserführender Schichten in der Vergangenheit häufig mit Abfallmaterial verfüllt wurden. Durch den Transport der Schadstoffe mit dem Sicker- und Grundwasser erstrecken sich die Verunreinigungen unter Umständen weit über die ursprüngliche Fläche der Altlast hinaus; beispielsweise sind bei einzelnen aliphatischen Chlorkohlenwasserstoffen Migrationswege bis zu 20 km beobachtet worden (MELUF BW, 1987). Daher sind Grundwasserver-



Abbildung 2.1

## Abhängigkeit der Exposition von der Nutzung



Quelle: SRU

unreinigungen mit der Beseitigung der Kontaminationsquelle allein in der Regel noch nicht behoben.

**144.** Schon aus statischen Gründen können Altablagerungen wegen ihres Gewichts den Grundwasserleiter so verdichten, daß eine Störung der Grundwasserströmung eintritt. Dies kann unterhalb des Staus eine Versteppung und einen Zusammenbruch der Wasserversorgung bewirken, oberhalb des Staus eine Bodenvernässung zur Folge haben. Von größerer Bedeutung ist meist jedoch die Exposition des Grundwassers gegenüber Schadstoffen, die mit dem Sickerwasser in wasserführende Bodenschichten transportiert werden.

**145.** Mit dem Sickerwasser eingetragene organische Verunreinigungen rufen eine Erhöhung der Abbauleistung durch Wachstum der Mikroorganismen hervor. Durch den damit verbundenen Sauerstoffverbrauch kommt es zu anaeroben Bedingungen, bei denen die Mehrzellenfauna im Grundwasser abstirbt. Es

bildet sich eine Reduktionszone, die durch den Abbau von Sulfaten und Nitraten und durch eine Zunahme von Ammoniumionen gekennzeichnet ist; gleichzeitig steigt die Keimzahl im Grundwasser stark an. Anorganische Stoffe, zum Beispiel Schwermetalle, können ein Absterben sowie eine Selektion bzw. Änderung der Artenzusammensetzung der Grundwasserorganismen bewirken. Die Wechselwirkungen zwischen Mikroorganismen einerseits und Chemikalien andererseits führen aber auch zu einer Veränderung der eingetragenen Substanzen. Neben dem Abbau toxischer Verbindungen werden dabei durch Stoffwechselprozesse unter Umständen giftige Substanzen neu gebildet; so führt die reduktive Metabolisierung von chlorierten Ethenen zur Freisetzung von Monochlorethen (Vinylchlorid), das kanzerogene Eigenschaften besitzt. Solche Stoffwechselprodukte können dabei im Grundwasser Konzentrationen erreichen, die diejenigen der Ausgangssubstanzen im Laufe der Zeit bei weitem übertreffen (BRAUCH et al., 1987).

Die Exposition des Grundwassers gegenüber den Schadstoffen aus Altlasten führt daher nicht einfach nur zu einer Vermischung mit den eingetragenen Substanzen, sondern beeinflusst über die Wechselwirkung mit den Grundwasserorganismen das Selbstreinigungsvermögen dieses Systems. Dies kann negative Auswirkungen auch in bezug auf Schadstoffe haben, die nicht aus Altlasten herrühren; eine Qualitätsverschlechterung des Grundwassers kann ebenso durch günstigere Bedingungen für pathogene Keime eintreten.

Bezüglich der Gefährdung des Grundwassers sind durch die engen Verflechtungen in diesem Ökosystem die Regelungsfunktion, wie Selbstreinigung, die Produktionsfunktion, beispielsweise Grundwasserbildung und -speicherung, sowie die Lebensraumfunktion gleichermaßen betroffen; die einzelnen Funktionen lassen sich in diesem Fall kaum voneinander trennen.

**146.** Aus Altlasten können Schadstoffe über Sickerwässer oder verunreinigtes Grundwasser auch in Oberflächengewässer gelangen und dort ökotoxische Wirkungen entfalten. Diese toxischen Wirkungen lassen sich mit verschiedenen Testsystemen wie Bakterientest, Algentest, Daphnientest, Fischtest erfassen, mit denen sich die Gefährdung der Lebensraumfunktion dieses Ökosystems angeben läßt.

**147.** Funktionsfähige Böden erfüllen eine Regelungsfunktion, eine Produktionsfunktion und bieten Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen (SRU, 1987a, Abschn. 2.2.3). Bei einer Schadstoffexposition durch Altlasten kann jede dieser Funktionen betroffen sein. Die Belastbarkeit insbesondere der Regelungsfunktion hängt jedoch wesentlich vom Bodentyp ab; bei einem hohen Humus- und Tongehalt ist die Sorptionsfähigkeit und das Puffervermögen entsprechend gesteigert. Bodenorganismen, und damit auch die Lebensraumfunktion, spielen nicht nur eine Rolle beim Abbau von Substanzen, sondern können beispielsweise durch den Aufbau von Huminstoffen wesentlich zur Regelungsfunktion beitragen. Die Produktionsfunktion wird durch die Regelungs- und Lebensraumfunktion zwar mitbeeinflusst, sie hat aus der Sicht des Umweltschutzes allerdings einen geringeren Rang und wird in ihrer Bedeutung zudem stark durch die Nutzung bestimmt. Aus diesem Grund ist der Einfluß einer Altlast auf die verschiedenen Bodenfunktionen differenziert zu betrachten. Von Bedeutung ist dabei weiterhin, daß die Bodenfunktionen nicht nur von der Altlast, sondern unter Umständen auch durch die vorhandene oder geplante Nutzung beeinträchtigt werden können. Bei einer Überbauung wird die Frage nach dem Einfluß der Altlast auf die Bodenfunktionen irrelevant, da durch dieses Vorhaben das Schutzgut Boden zerstört würde.

**148.** Umweltfunktionen der Luft, die durch Schadstoffe aus Altlasten beeinträchtigt werden können, spielen am ehesten im Boden eine Rolle. Hier übt die Luft eine Transportfunktion aus, indem sie den Bodenorganismen Sauerstoff, Stickstoff oder Kohlendioxid zuleitet oder auch Stoffe abführt. Flüchtige Schadstoffe aus Altlasten können die für den Stoffwechsel benötigten Gase in der Bodenluft verdrängen oder nach Aufnahme in die Organismen toxisch wir-

ken. Dies kann beispielsweise durch das Absterben von Pflanzen sichtbar werden. Außerdem können auch oberirdisch lebende Organismen einschließlich des Menschen durch Luftbelastungen aus Altlasten betroffen sein.

**149.** Für die ökotoxikologische Beurteilung von Altlasten ist von besonderem Interesse, ob es durch Wirkungen, die über den unmittelbaren Bereich einer Altlast hinausgehen, oder durch das Zusammenwirken verschiedener Altlasten und von Altlasten mit anderen Umwelteinflüssen insgesamt zu Störungen von Ökosystemen kommen kann und welches umweltgefährdende Potential damit den Altlasten insgesamt zukommt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß ökotoxische Wirkungen nicht nur durch die direkte Einwirkung von Schadstoffen hervorgerufen werden können, sondern auch durch indirekte Mechanismen, die nicht mehr notwendigerweise mit der Anwesenheit von Schadstoffen im letztlich betroffenen Subjekt oder seiner unmittelbaren Umgebung verbunden sind (SRU, 1987a, Tz. 1688). Bisher liegen systematische Untersuchungen zu ökotoxischen Wirkungen, die von Altlasten ausgehen können, jedoch nicht vor.

**150.** Bei der Beurteilung von Belastungen der Schutzgüter steht zunächst der Schutz der menschlichen Gesundheit im Vordergrund. Auf die Frage, inwieweit auch die Funktionen der Ökosysteme an sich vor möglichen Schadwirkungen durch Altlasten zu schützen sind, wird schon im Umweltgutachten 1987 (SRU, 1987a) eingegangen. Im Hinblick auf diese Problematik gilt es zuerst, das geltende Recht auszuschöpfen. Belastungen von Ökosystemen durch Altlasten können durchaus Gefahren im Sinne des polizeilichen Gefahrenbegriffs darstellen (GASSNER, 1981; vgl. Abschn. 7.1.1.2). Der Gesetzgeber sollte überlegen, den im Umweltgutachten 1987 (SRU, 1987a, Tz. 1683) beschriebenen Weg eines dichotomischen Schutzgutdenkens auch auf den Bereich der Gefährdungen durch Altlasten anzuwenden. Dieser Denkansatz, der ökologische bzw. ökotoxikologische Auswirkungen berücksichtigt, beruht auf der Erkenntnis, daß der Mensch nicht nur über eine direkte stoffliche Exposition, sondern aufgrund des komplexen ökologischen Vernetzungsgefüges ebenso durch eine Störung seiner Umwelt in seinem Wohlbefinden und seiner Gesundheit beeinträchtigt werden kann. Durch eine solche dichotomische Behandlung der Schutzziele könnten gegenüber dem geltenden Recht erweiterte Möglichkeiten der Altlastensanierung auch im Sinne des vorsorgenden Umweltschutzes geschaffen werden.

#### Nutzungsabhängige Exposition

**151.** Bei der in der Bundesrepublik vorliegenden hohen Nutzungsdichte durch den Menschen läßt sich die von altlastverdächtigen Flächen ausgehende Gefährdung von Schutzgütern erst vollständig im Zusammenhang mit der bestehenden oder geplanten Nutzung beschreiben. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der Wirkungen auf den Menschen, allerdings können auch ökotoxische Wirkungen durch die Nutzung beeinflusst werden. Beispiele von verschiedenen Nutzungscharakteristiken zeigt Abbildung 2.2. Je nach

Abbildung 2.2

Nutzungscharakteristiken von alllastverdächtigen Flächen und ihrer Umgebung

Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Luft
		Wohnbebauung, Baugelände	Bebauung, Baugelände
	Freizeitnutzung, Baden, Wassersport	Erholungsflächen, Grünflächen, Parks Spiel-, Sport- u. Freizeitplätze	Erholungsflächen, Grünflächen, Parks Spiel-, Sport- u. Freizeitplätze
in oder nahe zu Trinkwasser-/Heilquellenschutzgebieten oder Trinkwassergewinnungsgebieten	Uferfiltratentnahme zur Trinkwassergewinnung		
	Entnahme zur Grundwasseranreicherung		
Wasserentnahme zur Beregnung von gärtnerischen und landwirtschaftlichen Anbauflächen	Fischzucht, Angeln, Viehtränke  Entnahme zur Bewässerung	Nahrungsproduktion Landwirtschaft, Kleingärten, Hausgärten, Forstwirtschaft	
Brauchwasserentnahme für Gewerbe u. Industrie	Brauchwasserentnahme für Gewerbe u. Industrie	Verkehrsflächen, Flugplätze, Parkplätze; Lager und Umschlagplätze	
in oder nahe zu geschützten und schutzwürdigen Biotopen	geschützte und schutzwürdige Biotop, z.B. Seen, Kleingewässer	geschützte und schutzwürdige Biotop	geschützte und schutzwürdige Biotop
		Gewerbe- und Industriebrache	

Quelle: SRU, in Anlehnung an LÜHR und ZIPFEL, 1989

bestehender oder in Aussicht genommener Nutzung auf der altlastverdächtigen Fläche und in ihrem Einwirkungsbereich sind die Schutzgüter unterschiedlich betroffen; insbesondere können primär betroffene Schutzgüter in unterschiedlichem Maß zu einer sekundären Belastung weiterer Schutzgüter beitragen und zu einer Exposition von Pflanzen, Tieren und schließlich auch des Menschen führen. Entsprechend der Gefährdung für die Schutzgüter sind damit auch die möglichen Nutzungen gefährdet (s. Tab. 2.4).

**152.** Abhängig von der jeweiligen Nutzung können für den betroffenen Organismus unterschiedliche Expositionswege im Vordergrund stehen. Beispielsweise läßt sich für den Menschen aus der konkreten Nutzungssituation ableiten, ob eine Schadstoffaufnahme vorwiegend oral, inhalativ oder über die Haut erfolgen kann. Wichtig ist die Kenntnis des Expositionsweges deshalb, weil durch ihn die aufgenommene Menge, aber auch der Wirkort und die Wirkungsweise des Schadstoffes beeinflußt werden (s. Kap. 2.6, Tz. 205).

Eine nutzungsabhängige Gefährdung besteht nicht nur im Hinblick auf die mögliche Exposition gegenüber Schadstoffen, sondern auch in bezug auf die Empfindlichkeit der Betroffenen. Daraus ergeben sich unterschiedliche Anforderungen, je nach dem ob eine Nutzung beispielsweise im Bereich Wohnen erfolgt und Kleinkinder, Kranke und Alte exponiert sein können oder sich auf Bereiche beschränkt, die nur von einem eingeschränkten Personenkreis ohne besondere Gesundheitsrisiken genutzt werden.

Von wesentlicher Bedeutung für die mögliche Schadstoffbelastung ist auch die Dauer der Exposition, die ebenfalls von der Nutzung abhängt. Während in Wohngebieten die Belastung der Luft zu einer ständigen Exposition führen kann, ist bei einer Nutzung als Verkehrsfläche die Expositionsdauer meist nur kurz.

**153.** Die Frage, ab wann von einer Gefährdung der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt auszugehen ist und wie der Gefährdungsgrad bestimmt wird, bereitet noch große Probleme (Kap. 2.5, 2.6 und 3). Im Hinblick auf die verschiedenen Schutzgüter und Nutzungsformen ist es unbestritten, daß eine Gesundheitsgefährdung des Menschen – direkt oder indirekt – zum entsprechenden Handeln zwingt.

Hierbei ist eine Abstufung hinsichtlich der Nutzungsintensität und -sensibilität sinnvoll. Hochsensible Nutzungen mit Daueraufenthalt von Menschen im Bereich Wohnen und Arbeiten sowie die Nutzung von Wasser als Trinkwasser haben ein besonderes Schutzbedürfnis. Weniger sensibel sind demgegenüber Nutzungen mit eingeschränkter Verweildauer aus dem Bereich Freizeit sowie Nutzungen als Verkehrsflächen oder Industriebrache.

**2.5 Stoff- und konzentrationsbezogene Kriterien zur Beurteilung der Verunreinigungen in Umweltmedien**

**2.5.1 Einführung**

**154.** Allgemein anerkannte Zahlenwerte in Form von schadstoffspezifischen Konzentrationsangaben, die als Maßstab für die Beurteilung der Verunreinigungen in Umweltmedien und damit zur Beurteilung des Gefährdungspotentials altlastverdächtiger Flächen dienen könnten, liegen für die Bundesrepublik nicht vor. In der Praxis werden aber bei der Beurteilung der Belastung der jeweiligen Umweltmedien Maßstäbe mit Zahlenwerten benötigt und auch herangezogen.

Zur stoffbezogenen Beurteilung werden daher hilfsweise Kriterien und Zahlenwerte benutzt, die aus Gesetzen, Verordnungen, Regelwerken und Richtlinien

Tabelle 2.4

**Gefährdungen für Schutzgüter in Zusammenhang mit Nutzungen eines Altstandortes**

Fallbeispiel: ehemaliger Standort eines Textilverarbeitungsbetriebes mit Wohnbebauung, Handwerksbetrieben, Privatbrunnen, Nutzgärten

Schadstoffe: Aromaten, Chlorkohlenwasserstoffe, Mineralölprodukte, Arsen, Blei, Cadmium, Phosphate, Fluoride

Gefährdungen für Schutzgüter	Gefährdungen der bestehenden Nutzung
Boden: Schwermetallanreicherungen, verminderte Bodenfunktionen	Wohnen, Arbeiten in Handwerksbetrieben
Wasser: Mit Mineralöl und Chlorkohlenwasserstoffen verunreinigt	Nutzgarten, Wasserentnahme zur Beregnung der Nutzgärten aus Privatbrunnen
Luft: Ausgasung von Chlorkohlenwasserstoffen und Aromaten	Brauchwasserentnahme für die Handwerksbetriebe aus Privatbrunnen
Pflanzen: Akkumulation der Schwermetalle, Vegetationsschäden durch Fluoride	
Mensch: Hautkontakt, Inhalation der Immissionen und Ingestion der Schadstoffe aus Nutzpflanzen	

Quelle: SRU

stammen und die unter ganz bestimmten Bedingungen und mit Zielsetzungen, die nicht das Altlastenproblem betreffen, festgelegt wurden. Ihre Anwendbarkeit auf den Bereich der altlastverdächtigen Flächen muß in jedem Einzelfall sorgfältig überprüft werden. Beim Fehlen solcher normativer Anhaltspunkte für die Bewertung werden zum Vergleich auch Einzel- oder Durchschnittswerte herangezogen, die Aussagen über die durch Altlasten nicht beeinflussten Umweltmedien treffen. Die benutzten Kriterien und Zahlenwerte lassen sich gestaffelt nach ihrer Verbindlichkeit und entsprechend ihren Funktionen in folgende Kategorien einordnen:

1. Referenzwerte,

das sind Einzel- oder Durchschnittswerte, die außerhalb des Einwirkungsbereichs von altlastverdächtigen Flächen ermittelt werden und zur Feststellung von Verunreinigungen dienen (im Schrifttum auch als Hintergrundwerte bezeichnet);

2. Orientierungswerte,

das sind nicht verbindliche Werte, die lediglich als Vergleichsgrößen eine Hilfe bei der medien- bzw. schutzgutorientierten Beurteilung, z. B. des Verunreinigungsgrades, bieten (im Schrifttum auch als Richtwerte bezeichnet);

3. Prüfwerte,

das sind anleitende Werte, deren Überschreiten weitere Maßnahmen, z. B. weitergehende Untersuchungen, auslöst (im Schrifttum auch als Schwellenwerte bezeichnet);

4. Höchstwerte,

das sind verbindliche Werte, die nicht überschritten werden dürfen (im Schrifttum auch als Grenzwerte bezeichnet).

**155.** Der Rat empfiehlt, den Begriff Prüfwert zu verwenden, um Verwechslungen mit den Wirkungsschwellenwerten aus Tierversuchen zu vermeiden. Die stoffbezogenen Prüfwerte haben einen anleitenden und mehr empfehlenden Charakter im Hinblick auf die Auslösung von Maßnahmen, wie weitergehende Untersuchungen zur Klärung, ob tatsächliche Gefährdungen im betreffenden Fall vorliegen oder Maßnahmen zur Verminderung des festgestellten Gefährdungspotentials angebracht sind (LAGA, 1989).

Der Rat schließt sich der Auffassung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall an, daß Prüfwerte gerade für die Altlastenproblematik hilfreich sein können. Sie sollten medienbezogen, schutzgut- und nutzungsabhängig so festgelegt werden, daß bei ihrer Überschreitung Gefährdungen bestehen können. Derartig festgelegte Prüfwerte können besonders bei der Beurteilung von Ergebnissen von Bodenuntersuchungen nützlich sein, wenn bei Unterschreitung gesagt werden kann, daß kein Gefährdungspotential für bestimmte Schutzgüter, wie Nutzpflanzen, und für bestimmte Nutzungen, zum Beispiel Erzeugung von Nahrungsmitteln, besteht. Unter diesen Gesichtspunkten könnten schutzgut- und nutzungsbezogene Prüfwerte auch bei der Abwägung im Rahmen der Kennzeichnungspflicht von Flächen in Flächennutzungs- und Bebauungsplänen nach den Vorschriften des Baugesetzbuches hilfreich sein.

Der Rat verkennt nicht, daß mit einer verbindlichen Anwendung von Prüfwerten im Bereich der Altlasten rechtliches Neuland betreten würde (vgl. Kap. 7.4).

**156.** Werden Standards aus anderen Rechtsbereichen bei altlastverdächtigen Flächen nicht unter den gleichen rechtlichen Voraussetzungen wie in diesen Rechtsbereichen angewendet, so können Status und Funktion dieser Standards verloren gehen. Beispielsweise können verbindliche Höchstwerte für die Klärschlammabfuhr nur als Orientierungswerte für die Schwermetallbelastung durch Altlasten benutzt werden. Bei der Verwendung von Standards als Orientierungswerte, die im Bereich altlastverdächtiger Flächen eingesetzt werden sollen, muß deshalb immer angegeben werden, für welches Schutzgut, unter welchen Bedingungen und in welcher Funktion sie eingesetzt werden.

**157.** In einigen Ländern, zum Beispiel in den Niederlanden, in Großbritannien und in der Bundesrepublik in Hamburg, sind Werte speziell für die Beurteilung von Boden- und Gewässerbelastungen im Zusammenhang mit Altlasten erarbeitet worden. Diese Listenwerte orientieren sich an den umweltpolitischen Wertungen und umweltrechtlichen Regelungen des jeweiligen Landes sowie an regionalen oder lokalen Gegebenheiten; sie können deshalb nicht insgesamt und uneingeschränkt auf die Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland übertragen werden.

**158.** Für eine größere Zahl von anorganischen und organischen Schadstoffen sind in den Niederlanden in einer Liste, der sogenannten Testtabelle (Tab. 2.5), Referenz- und Prüfwerte festgelegt worden (VROM NL, 1988). Diese Liste wird in der Bundesrepublik im allgemeinen als Niederländische Liste bezeichnet. Die in ihr aufgeführten Konzentrationswerte für die Beurteilung von Verunreinigungen in Grundwässern und Böden sind in drei Konzentrationsniveaus gegliedert:

- Niveau A gilt als Referenzwert. Bei diesen Werten handelt es sich um Konzentrationsangaben für nicht spezifisch verunreinigte Böden, um Bodenqualitätskriterien sowie um Konzentrationsangaben für Grundwässer, die für die Trinkwassergewinnung vorgesehen sind.
- Niveau B ist als Prüfwert für weitere Untersuchungen anzusehen. Beim Überschreiten dieser Werte sind in jedem Fall weitere Untersuchungen gewöhnlich kurzfristig erforderlich; beim Unterschreiten kann je nach örtlicher Situation, zum Beispiel im Hinblick auf den Bodentyp, auch eine weitere Untersuchung notwendig werden.
- Niveau C ist als Prüfwert für Sanierungsuntersuchungen zu betrachten. Werden diese Werte überschritten, ist es notwendig, kurzfristig eine Sanierungsuntersuchung durchzuführen und gegebenenfalls eine Sanierung vorzunehmen. Unterhalb dieser Werte ist eine Sanierungsuntersuchung meistens nicht erforderlich.

**159.** Da bei der Gefährdungsabschätzung in der Praxis sehr oft auf die niederländischen Werte zurückgegriffen wird, sollten die Einschränkungen und Grenzen der Werte beachtet werden. Die im Jahre

Tabelle 2.5

**Testtabelle für die Beurteilung von Konzentrationen verschiedener Stoffe im Boden und Grundwasser  
für die Nutzungsformen Wohngebiete und Trinkwassergewinnungsgebiete  
(Niederländische Liste)**

A – Referenzwerte B – Prüfwerte für nähere Untersuchung C – Prüfwerte für Sanierungsuntersuchung bzw. Sanierung						
Vorkommen in:	Boden (mg/kg Trockenmasse)			Grundwasser (µg/l)		
Stoffe/Konzentrationshöhe	A	B	C	A	B	C
<b>I. Metalle</b>						
Chrom .....	BQ	250	800	1	50	200
Kobalt .....	20	50	300	20	50	200
Nickel .....	BQ	100	500	15	50	200
Kupfer .....	BQ	100	500	15	50	200
Zink .....	BQ	500	3 000	150	200	800
Arsen .....	BQ	30	50	10	30	100
Molybdän .....	10	40	200	5	20	100
Cadmium .....	BQ	5	20	1,5	2,5	10
Zinn .....	20	50	300	10	30	150
Barium .....	200	400	2 000	50	100	500
Quecksilber .....	BQ	2	10	0,05	0,5	2
Blei .....	BQ	150	600	15	50	200
<b>II. anorganische Verbindungen</b>						
Ammonium (als N) .....	—	—	—	2 000/10 000 *)	1 000	3 000
Fluorid (gesamt) .....	BQ	400	2 000	500	1 200	4 000
Cyanid (gesamt – frei) ..	1	10	100	5	30	100
Cyanid (gesamt – komplexgebunden) .....	5	50	500	10	50	200
Schwefel (gesamt Sulfide)	2	20	200	10	100	300
Bromid (gesamt) ***) .....	20	50	300	300	500	2 000
Phosphat (als P) **) .....	—	—	—	400/3 000 *)	200	700
Nitrat (als N) **) .....	—	—	—	5 600	—	—
Sulfat ***) .....	—	—	—	150 000	—	—
Chlorid ***) .....	—	—	—	100 000	—	—
<b>III. aromatische Verbindungen</b>						
Benzol .....	0,05 n	0,5	5	0,2 n	1	5
Ethylbenzol .....	0,05 n	5	50	0,2 n	20	60
Toluol .....	0,05 n	3	30	0,2 n	15	50
Xylole .....	0,05 n	5	50	0,2 n	20	60
Phenole .....	0,05 n	1	10	0,2 n	15	50
Aromaten (gesamt) 1) .....	—	7	70	—	30	100
<b>IV. polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)</b>						
Naphthalin .....	BQ	5	50	0,2 n	7	30
Anthracen .....	BQ	10	100	0,005 n	2	10
Phenanthren .....	BQ	10	100	0,005 n	2	10
Fluoranthren .....	BQ	10	100	0,005 n	1	5
Chrysen .....	BQ	5	50	0,005 n	0,5	2
Benzo(a)pyren .....	BQ	1	10	0,005 n	0,2	1
Benzo(a)anthracen .....	BQ	5	50	0,005 n	0,5	2
Benzo(k)fluoranthren .....	BQ	5	50	0,005 n	0,5	2
Indeno(1, 2, 3-cd)pyren ..	BQ	5	50	0,005 n	0,5	2
Benzo(ghi)perylen .....	BQ	10	100	0,005 n	1	5
PAH (gesamt) 2) .....	1	20	200	—	10	40

noch Tabelle 2.5

Testtabelle für die Beurteilung von Konzentrationen verschiedener Stoffe im Boden und Grundwasser  
für die Nutzungsformen Wohngebiete und Trinkwassergewinnungsgebiete  
(Niederländische Liste)

A – Referenzwerte B – Prüfwerte für nähere Untersuchung C – Prüfwerte für Sanierungsuntersuchung bzw. Sanierung						
Vorkommen in:	Boden (mg/kg Trockenmasse)			Grundwasser (µg/l)		
Stoffe/Konzentrationshöhe	A	B	C	A	B	C
<b>V. chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW)</b>						
aliphatische CKW (einzeln) .....	BQ	5	50	0,01 n	10	50
aliphatische CKW (gesamt) .....	—	7	70	—	15	70
Chlorbenzole (einzeln) ...	BQ	1	10	0,01 n	0,5	2,0
Chlorbenzole (gesamt) ...	—	2	20	—	1	5
Chlorphenole (einzeln) ..	BQ	0,5	5	0,01 n	0,3	1,5
Chlorphenole (gesamt) ..	—	1	10	—	0,5	2
chlorierte polycyclische Kohlenwasserstoffe (gesamt) .....	BQ	1	10	—	0,2	1
polychlorierte Biphenyle (PCB) (gesamt) .....	BQ	1	10	0,01 n	0,2	1
EOCl (extrahierbares organisches Chlor) (gesamt)	0,1	8	80	1	15	70
<b>VI. Pestizide</b>						
org. Chlorpestizide (einzeln) .....	BQ	0,5	5	1/0,01 n	0,2	1
org. Chlorpestizide (gesamt) .....	—	1	10	—	0,5	2
Pestizide (einzeln) (nicht chloriert) .....	BQ	1	10	1/0,01 n	0,5	2
Pestizide (gesamt) (nicht chloriert) .....	—	2	20	—	1	5
<b>VII. sonstige Verunreinigungen</b>						
Tetrahydrofuran .....	0,1	4,0	40	0,5	20	60
Pyridin .....	0,1	2,0	20	0,5	10	30
Tetrahydrothiophen .....	0,1	5,0	50	0,5	20	60
Cyclohexanon .....	0,1	6,0	60	0,5	15	50
Styrol .....	0,1	5,0	50	0,5	20	60
Phthalat (gesamt) .....	0,1	50	500	0,5	10	50
oxid. PAH (gesamt) .....	1	200	2 000	0,2	100	400
Mineralöl .....	BQ	1 000	5 000	50 n	200	600

\*) Die niedrigeren Werte gelten in sandigen Gebieten, die höheren in Gebieten mit Ton- und Torfböden.

\*\*) Niedrigere Werte können zum Schutz nährstoffarmer Gebiete erforderlich sein.

\*\*\*) Höhere Werte treten von Natur aus in Gebieten mit starkem maritimem Einfluß auf.

BQ Referenzwerte der Bodenqualität (s. Tabelle 2.9)

n Nachweisgrenze

1) Aromaten (gesamt) = Summe Benzol, Ethylbenzol, Toluol, Xylole

2) PAH (gesamt) = Summe der unter IV aufgeführten polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe

Quelle: VROM NL, 1988

1983 konzipierten niederländischen Werte sollen keine Risiken oder Wirkungen als solche kennzeichnen, sondern nur als Warnsignale dienen (DE BRUIJN und DE WALLE, 1988). Sie müssen immer im Zusammenhang mit örtlichen Verhältnissen bewertet werden.

**160.** In Anlehnung an die Niederländische Liste hat die Baubehörde der Stadt Hamburg 1985 auf Hamburger Verhältnisse abgestimmte Werte für die Schadstoffbewertung als Anhaltswerte für weitere Untersuchungen und für die Sanierung veröffentlicht. Diese Werte werden im Rahmen des Bewertungsverfahrens als ein Kriterium von verschiedenen Bewertungskriterien verwendet (HECHT und BODE, 1985).

**161.** Für eine Vielzahl von Stoffen, insbesondere organischen Verbindungen, gibt es weder Orientierungs- noch Prüfwerte. Hier wird auf sogenannte Substanzlisten, d. h. Listen umweltrelevanter bzw. „umweltgefährlicher“ Verbindungen, als Hilfsmittel der Beurteilung zurückgegriffen.

Auf den unterschiedlichen Kenntnisstand im Bereich der einzelnen Umweltmedien wird nachfolgend eingegangen.

### 2.5.2 Beurteilungskriterien für Belastungen von Grund- und Oberflächenwasser

**162.** Die Gefährdung von Grundwasser und Oberflächenwasser durch Altablagerungen und Altstandorte beruht auf der Möglichkeit, daß deren Schadstofflast im Grund- bzw. im Oberflächenwasser lagert oder daß mit dem Sickerwasser Schadstoffe ins Grund- bzw. Oberflächenwasser gelangen. Darüber hinaus können flüssige Schadstoffe in das Grundwasser einsickern; oberflächennahe Grundwässer, Abschwemmungen, Schneeschmelze und Staubverwehungen können Schadstoffe in Oberflächengewässer eintragen.

**163.** Zur Beurteilung einer Verunreinigung des Grund- bzw. Oberflächenwassers an und in der Nähe von altlastverdächtigen Flächen kann es keine generellen, für alle Standorte und Regionen geltenden Orientierungs- oder Prüfwerte geben, weil unterschiedliche geologische Gegebenheiten, aber auch anthropogene Einflüsse außerhalb der Altablagerungen und Altstandorte, die Beschaffenheit der Gewässer maßgeblich bestimmen. Diese Untergrundbelastungen können örtlich großen Schwankungen unterliegen.

**164.** Aus diesem Grunde können die für die Niederlande herausgegebenen Werte der Niederländischen Liste (Tab. 2.5) für die Beurteilung von Wasserbelastungen nur mit großem Vorbehalt und nach eingehender Prüfung im Einzelfall in der Bundesrepublik angewandt werden.

**165.** Um eine durch Schadstoffe in der Altablagerung oder am Altstandort verursachte Verunreinigung des Grundwassers erkennen zu können, muß ein Vergleich der Analyseergebnisse aus oberstromig und unterstromig entnommenen Wasserproben vorgenommen werden. Zur Bewertung der Analysedaten aus den Untersuchungen des Grundwassers im Unter-

strom sind Referenzwerte der geogenen und anthropogenen Hintergrundkonzentrationen des Grundwassers heranzuziehen. Als Referenzwerte können zunächst Durchschnittswerte für die jeweilige Grundwasserregion dienen. Solche Werte liegen zum Beispiel für 85 Grundwasserregionen in Nordrhein-Westfalen vor (LWA, 1989). Werden diese Durchschnittswerte im Unterstrom der Verdachtsfläche überschritten, so sind Einzelmessungen in der unmittelbaren, nicht spezifisch durch die altlastverdächtige Fläche beeinflussten Umgebung erforderlich.

Zur Bewertung der Differenz zwischen den Stoffkonzentrationen im Ober- und Unterstrom ist die Signifikanz des Differenzwertes, die durch das gewählte Analyseverfahren mit seiner Bestimmungsgrenze und die Reproduzierbarkeit der Analysewerte bestimmt wird, heranzuziehen. Diese Einflußfaktoren muß jedes Labor selbst ermitteln.

Bei stehenden Gewässern wird ein Vergleich der Analyseergebnisse mit anderen in der Umgebung befindlichen, aber unbeeinflussten stehenden Gewässern durchgeführt. Hilfsweise kann auch der Vergleich mit den Werten aus der Analyse des Anstroms des Grundwassers dienen. Untersuchungen des Sediments können ebenfalls Aufschluß über Schadstoffeinträge in Gewässer geben.

**166.** Die Beurteilung des Gefährdungspotentials einer nach Art und Umfang festgestellten Verunreinigung richtet sich nach den Verhältnissen am Standort, zum Beispiel der Hydrogeologie, und nach den Risiken für die Schutzgüter im Zusammenhang mit den bestehenden oder geplanten Nutzungsarten des belasteten Wassers (vgl. Kap. 3).

**167.** Orientierungswerte, aber auch im Einzelfall Prüf- und Höchstwerte, können für die Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser aus folgenden Verordnungen, Richtlinien und Arbeitsblättern entnommen werden:

- Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe
- EG-Richtlinie 80/778 EWG über die Qualität des Wassers für den menschlichen Gebrauch
- DVGW-Arbeitsblatt W 151 „Eignung von Oberflächenwasser als Rohstoff für die Trinkwasserversorgung“ (DVGW, 1975)
- EG-Richtlinie 75/440 EWG über die Qualitätsanforderungen an Oberflächenwasser für die Trinkwassergewinnung in den Mitgliedstaaten.

Die im Umweltgutachten 1987 (SRU, 1987a, Abschn. 2.4.2.3, Tab. 2.4.2) von BERNHARDT und SCHMIDT (veröffentl. 1988) stammende Darstellung der wichtigsten Parameter zur Beurteilung eines Rohwassers aus der Sicht der Trinkwassernutzung ist eine weitere Orientierungshilfe. Der Rat hat in diesem Gutachten auch auf die Grenzen der Anwendung der oben genannten Richtlinien und Arbeitsblätter hingewiesen.

**168.** Neben den Qualitätsanforderungen an Gewässer zum Zwecke ihrer Nutzung zur Trinkwassergewinnung liegen auch Gütekriterien unter anderen Nutzungsaspekten vor, die als Orientierungs- bzw. Prüfwerte für die Beurteilung der Gefährdung dieser



Nutzungsarten herangezogen werden können. In der nachstehenden Übersicht sind die wichtigsten, nach Nutzungsgesichtspunkten gegliederten Richtlinien aufgeführt. Es gelten für

- Badegewässer,  
EG-Richtlinie 76/160 EWG über die Qualität der Badegewässer,
- Fischereigewässer,  
EG-Richtlinie 78/659 EWG über die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten,
- Gewässer zur Bewässerung von Freilandkulturen,  
Entwurf der Landwirtschaftskammer Rheinland (LWA, 1984; vgl. SRU, 1987a, Tz. 895) (nicht geeignet für Gewächshaus- und salzempfindliche Kulturen),
- besonders schutzbedürftige Gewässer,  
Qualitätsziele der Rats-Empfehlung (SRU, 1987 a, Tab. 2.4.25, Tz. 1123).

**169.** Im Hinblick auf die Anforderungen an die zukünftige Entwicklung des Gewässerzustandes ist der Rat der Auffassung, daß ein Gewässer Merkmale aufweisen muß, die für die Gewinnung von stets einwandfreiem Trinkwasser bei Anwendung der bekannten physikalisch-chemischen Aufbereitungsverfahren noch tolerierbar sind und die die Erhaltung

Tabelle 2.6

**Physikalisch-chemische Parameter  
für Gewässergüteklasse II**

	Parameter	
1	Temperatur ( $T_{\max}$ °C) sommerkühle Gewässer . . . . .	25°
	sommerwarme Gewässer . . . . .	28°
2	Sauerstoff (mg/l) <sup>1)</sup> . . . . .	≥ 6
3	pH-Wert . . . . .	6–9
4	Ammonium $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l) <sup>1)</sup> . . . . .	≤ 0,3
5	Stickstoff ges. (mg/l) <sup>2)</sup> Sommer . . . . .	5
	Stickstoff ges. (mg/l) <sup>2)</sup> Winter (November–März) . . . . .	7
6	BSB <sub>5</sub> o.ATH (mg/l) <sup>1)</sup> . . . . .	2–6
7	CSB (mg/l) . . . . .	≤ 15
8	Phosphor ges. (mg/l) . . . . .	≤ 0,3
9	Eisen ges. (mg/l) . . . . .	≤ 1,0
10	Zink ges. (mg/l) . . . . .	≤ 0,5
11	Kupfer ges. (mg/l) . . . . .	≤ 0,04
12	Chrom ges. (mg/l) . . . . .	≤ 0,05
13	Nickel ges. (mg/l) . . . . .	≤ 0,05
14	Blei ges. (mg/l) . . . . .	≤ 0,05
15	Cadmium ges. (mg/l) . . . . .	≤ 0,005
16	Quecksilber (mg/l) . . . . .	≤ 0,0005
17	Toxikologische Tests Keine toxische Wirkung auf Bakterien, Algen, Fischnährtiere und Fische	

<sup>1)</sup> Werte in Anlehnung an: LAWA (1976)

„Die Gewässergütekarte der Bundesrepublik Deutschland“

<sup>2)</sup> Unter der Annahme einer Denitrifizierung der Kläranlagenabläufe

Quelle: SRU, 1987a

naturnaher Gewässerbiozöosen gewährleisten. Nach diesen Gesichtspunkten wurden die in Tabelle 2.6 angegebenen Werte der Gewässergüteklasse II zusammengestellt (SRU, 1987a, Tz. 1128). Dieses Ziel sieht der Rat unabhängig von einer rein nutzungsorientierten Abwendung von Gefährdungen für den Bereich der durch Altlasten verunreinigten Oberflächengewässer im Sinne eines umfassenden, vorsorgeorientierten Gewässerschutzes. Für die Bewertung der ökotoxischen Wirkung von Schwermetallkonzentrationen auf die aquatischen Biozöosen hat WACHS (1989) entsprechende Qualitätsziele vorgeschlagen.

**170.** Da für eine Vielzahl von altlastentypischen Schadstoffen noch keine Vergleichsmaßstäbe mit entsprechenden Zahlenwerten vorliegen, können die Kenntnisse über typische Gewässerbelastungen durch kommunale und industrielle Abwässer hilfreich sein.

**171.** Darüber hinaus können sogenannte Substanz- bzw. Stofflisten zur qualitativen Beurteilung der Toxizität, Langlebigkeit, Mobilität und Bioakkumulation einzelner Stoffe für die Beurteilung der Gewässer herangezogen werden. Für diese Zwecke stehen folgende Richtlinien und Listen zur Verfügung:

- Katalog der wassergefährdenden Stoffe (GMBl. 1985, S. 175 ff. und 1987, S. 294 ff.)
- Stoffliste des Beratergremiums für umweltrelevante Altstoffe (BUA, 1986 und 1988)
- EG-Richtlinie 76/464 EWG betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft
- EG-Richtlinie 80/68 EWG über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe.

Im Anhang der beiden genannten EG-Richtlinien wird eine Einteilung von Stoffen anhand ihrer Toxizität, Langlebigkeit und Bioakkumulation in zwei Listen vorgenommen. Die Listen I und II beider Richtlinien stimmen weitgehend, aber nicht vollständig überein. Zur Konkretisierung der in den Listen genannten Stoffgruppen wurden für die Aufnahme in die Liste I der Richtlinie 76/464 EWG, die auch als „schwarze Liste“ bezeichnet wird, 129 einzelne Stoffe vorgeschlagen (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften C 176, 1982; vgl. auch KRISOR, 1982).

Als Substanzliste ist für die Bundesrepublik Deutschland der Katalog der wassergefährdenden Stoffe (GMBl. 1985, S. 175 u. S. 369; GMBl. 1987, S. 294) eine Entscheidungshilfe. Der Katalog umfaßt mehr als 500 Stoffe, die nach vier Wassergefährdungsklassen eingeteilt sind. Nicht eingestufte Stoffe sind vorsorglich als „wassergefährdend“ (Wassergefährdungsklasse WGK 2) zu betrachten. Als Übergangslösung könnte auch die vom Verband der Chemischen Industrie vorgeschlagene Selbsteinstufung dienen (VCI, 1987).

**172.** Zur Beurteilung der Analyseergebnisse von Sickerwässern und Bodeneluatn können die entsprechenden Festlegungen in ordnungsbehördlichen Verordnungen und im Regelwerk der Abwassertechnischen Vereinigung (ATV) herangezogen werden.

**173.** In der Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift von 1989 sind Anforderungen an die Beschaffenheit von Sickerwässern aus Hausmülldeponien (Höchstwerte) und an deren Reinigungsgrad bei Einleitung in die Gewässer festgelegt.

**174.** Zur Beurteilung von kontaminierten Sicker- und Grundwässern hinsichtlich ihrer betonangreifenden Wirkung gibt DIN 4030 Hinweise. DIN 4030 enthält Richtwerte für den pH-Wert, für Konzentrationen von kalklösender Kohlensäure, von Ammonium-, Magnesium-, Sulfat- und Sulfidionen.

### 2.5.3 Beurteilungskriterien für Belastungen der Böden und des Untergrundes

**175.** Für die Erkennung der durch Altablagerungen und Altstandorte zusätzlich verursachten Bodenbelastungen ist der Einfluß der örtlichen geogenen Verhältnisse und potentieller Belastungsursachen anthropogener Art zu prüfen. Entsprechende Vergleichsuntersuchungen in nahen, nicht spezifisch beeinflussten Bereichen sind hierzu notwendig.

Tabelle 2.7

#### Stoffe und Stoffgruppen mit nachgewiesenem Gefährdungspotential für Bodenfunktionen

##### A) Stoffe mit nachgewiesenem Gefahrenpotential, die weit verbreitet sind oder besonders nachteilige Wirkungen haben

###### Anorganika:

Blei; Cadmium; Kupfer; Nickel; Quecksilber; Zink; Aluminium; Arsen; Salpetersäure/Nitrate; Schwefelsäure/Sulfate; Salzsäure/Chloride

###### Organika:

polychlorierte Biphenyle, Terphenyle und Naphthaline (PCB, PCT, PCN); Hexachlorbenzol (HCB); 1,1,1-Trichlor-2,2-bis (4-chlorphenyl)ethan (DDT) und Derivate; Pentachlorphenol (PCP); Hexachlorcyclohexan-Isomere (HCH); polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH); Trichlorethen; Tetrachlorethen (Perchlorethylen); chlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF, insbesondere TCDD, TCDF, OCDD, OCDF)

##### B) Stoffe mit nachgewiesenem Gefahrenpotential, jedoch von lokaler Bedeutung

###### Anorganika:

Chrom; Thallium; Beryllium; Kobalt; Uran; Flußsäure/Fluoride; Cyanide; Ammoniak/Ammoniumsalze

###### Organika:

Mineralöle; Phenole; Nichtaromaten; aromatische Kohlenwasserstoffe, insbesondere Benzole, Toluole, Naphthaline; Diquat (6,7-Dihydrodipyrido[1,2-a; 2',1'-c]pyrazindiumdibromid); Paraquat (1,1'-Dimethyl-4,4'-bipyridiniumdichlorid)

Quelle: UMK, 1987

**176.** Zur Beurteilung der stofflichen Belastung der Böden und des Untergrundes hat die Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Bodenschutz“ eine Stoffliste veröffentlicht (Tab. 2.7), die Stoffe und Stoffgruppen enthält, für die ein Gefährdungspotential für Bodenfunktionen nachgewiesen ist (UMK, 1987).

Die Arbeitsgruppe hat außerdem eine Liste von Stoffen aufgestellt, deren Wirkungspotential und Verbreitung daraufhin zu untersuchen ist, ob sie in die Liste der Stoffe mit nachgewiesenem Gefährdungspotential aufgenommen werden müssen oder nicht. Es handelt sich um Antimon, Selen, Vanadium, Borate, Bromide, Phthalate, Octachlorstyrol sowie Inhaltsstoffe von Wasch- und Reinigungsmitteln.

**177.** Die Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“ der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall hat nutzungsorientiert die für eine Beurteilung der Bodenbelastung wichtigsten persistenten Schadstoffe zusammengestellt (Tab. 2.8). Sie sind bei den Schwermetallen und Spurenelementen schutzgutorientiert geordnet.

Tabelle 2.8

#### Wichtige persistente Schadstoffe im System Boden/Pflanze/Tier/Mensch

##### Schwermetalle und Spurenelemente

vorrangig für Mensch und Tier schädlich  
Cadmium, Blei, Arsen, Quecksilber, Thallium  
vorrangig pflanzenschädigend  
Zink, Kupfer, Nickel, Chrom

##### Organische Verbindungen

polychlorierte Biphenyle (PCB)  
polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)  
Organochlorpestizide

Quelle: LAGA, 1989, auch LÖLF, 1988

**178.** Konzentrationswerte für anorganische Substanzen, die als Referenzwerte zur Beurteilung der Multifunktionalität eines Bodens dienen, sind unter den Referenzwerten A der Niederländischen Liste (Tab. 2.5) als Bodenqualitätskriterien (BQ) aufgeführt. Die Werte sind unter Einbeziehung des örtlich vorhandenen Anteils an Ton und organischer Substanz nach den in Tabelle 2.9 aufgeführten Formeln zu ermitteln. Als Beispiel sind die Werte für einen Standardboden mit 25 % Ton und 10 % organischer Substanz angegeben.

**179.** MOEN (1988) macht darauf aufmerksam, daß Konzentrationen oberhalb der Referenzwerte nicht notwendigerweise den Verlust der Multifunktionalität bedeuten; in diesem Fall sind die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen. Nach Auffassung von DE BRUIJN und DE WALLE (1988) können die Referenzwerte zur Einordnung von Böden verwendet werden, die durch gefährliche Substanzen verunreinigt sind; eine Verwendung der Werte als Sanierungsvorgaben wird als unwahrscheinlich bezeichnet.

Tabelle 2.9

**Referenzwerte für anorganische Substanzen  
in Böden der Niederlande**  
(Bodenqualitätskriterien)

Name	Formel	Standard- boden-Re- ferenzwert (H = 10/ L = 25) in mg/kg Trocken- substanz
Chrom	(Cr) = 50 + 2L	100
Nickel	(Ni) = 10 + L	35
Kupfer	(Cu) = 15 + 0,6 (L + H)	36
Zink	(Zn) = 50 + 1,5 (2L + H)	140
Cad- mium	(Cd) = 0,4 + 0,007 (L + 3H)	0,8
Queck- silber	(Hg) = 0,2 + 0,0017 (2L + H)	0,3
Blei	(Pb) = 50 + L + H	85
Arsen	(As) = 15 + 0,4 (L + H)	29
Fluor	(F) = 175 + 13L	500

( ) Konzentrationen in mg/kg Trockensubstanz  
H = Gewichtsprozentsatz auf der Basis der organischen Sub-  
stanz im Boden

L = Tonanteil im Boden, Gew.-%

Quelle: MOEN, 1988; VROM NL, 1988

**180.** Inwieweit die niederländischen Bodenqualitätswerte auch auf die Verhältnisse in der Bundesrepublik übertragen werden können, kann erst mit Hilfe der Ergebnisse aus dem Bodeninformationssystem entschieden werden. Im Rahmen des Bodeninformationssystems werden auch die Grundlagen für die Erfassung und Bewertung der Schwermetallgehalte der Böden in der Bundesrepublik erarbeitet.

**181.** Unter den Referenzwerten A der Niederländischen Liste sind auch Werte für organische Verbindungen aufgeführt. Bei einigen Stoffen (aromatische Verbindungen) stimmen die A-Werte mit den Nachweisgrenzen überein. Für die anderen organischen Verbindungen sind Referenzwerte als Bodenqualitätskriterien für die Multifunktionalität festgelegt. Tabelle 2.10 enthält die entsprechenden Werte für organische Verbindungen. Die Werte gelten für einen Standardboden mit 10% organischer Substanz (H). Bei Bewertung der Qualität eines Bodens müssen die angegebenen Werte durch 10 dividiert und mit dem Gehalt an organischer Substanz der Bodenproben, die örtlich entnommen worden sind, multipliziert werden. Bei Böden, die mehr als 30% oder weniger als 2% organische Substanz enthalten, werden H-Werte von 30 bzw. 2 benutzt.

**182.** Die Niederländische Liste enthält Prüfwerte (Niveau B und C) für verunreinigte Böden mit Handlungsempfehlungen zu weiteren Untersuchungen (Tab. 2.5). Zur Anwendung dieser Werte aus der Niederländischen Liste wird ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die angegebenen Konzentrationen immer

im Zusammenhang mit der Nutzung des Bodens oder des Wassers und der örtlichen Verunreinigungssituation bewertet werden müssen. Die Listenwerte können die Einzelfallbetrachtung nicht ersetzen. Damit wird jede Bodenanalyse in der Bewertung zu einer individuellen Frage.

**183.** Für die Beurteilung der Verunreinigung von Böden durch anorganische Schadstoffe, insbesondere Schwermetalle und Spurenelemente, gibt es eine Reihe von Veröffentlichungen, die in der Praxis als Orientierungswerte für Kulturböden Anwendung finden. Der Rat begrüßt deshalb die Initiative der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA, 1989), für die Bundesrepublik einheitliche Werte vorzuschlagen, die von der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen (LÖLF) auf der Basis der Arbeiten von KLOKE (1980) erarbeitet wurden (Tab. 2.11).

Die Prüfwerte in Tabelle 2.11 dienen ausschließlich der Beurteilung der Notwendigkeit weiterer Untersuchungen zur Bodenanalytik und der auf altlastverdächtige Flächen und in ihrer Umgebung wachsenden Pflanzen. Die Prüfwerte sind so festgelegt worden, daß bei deren Einhaltung auch unter ungünstigsten Standortbedingungen keine Gefährdung für den Pflanzenwuchs zu erwarten ist (LAGA, 1989).

Die in Tabelle 2.11 aufgeführten Prüfwerte gelten für Nutzpflanzenstandorte, d. h. landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Flächen. Ein Vergleich mit den in den Niederlanden veröffentlichten Prüfwerten für weitere Untersuchungen (Prüfwerte B der Niederländischen Liste, Tab. 2.5) zeigt Übereinstimmung mit den Werten für Nickel, Kupfer, Zink und Quecksilber.

**184.** Werden in den Böden Überschreitungen der Prüfwerte gemäß Tabelle 2.11 festgestellt und ist wahrscheinlich, daß die entsprechenden Schadstoffe ihren Ursprung in der Altablagerung bzw. aus den Verunreinigungen am Altstandort haben, dann müssen zur Beurteilung, ob Gefährdungen vorliegen, weitere Untersuchungen an den dort wachsenden Nutzpflanzen folgen (s. Abschn. 2.6.3.2).

**185.** Wenn sich auch mit den Prüfwerten für anorganische Schadstoffe in Kulturböden, die als Musterbeispiel für nutzungs- und schutzgutbezogene Prüfwerte anzusehen sind, wichtige Schwermetalle als wesentliche anorganische Schadstoffe im Zusammenhang mit Belastungen von Kulturböden mit Nutzpflanzenproduktion beurteilen lassen, so verkennt der Rat nicht, daß es immer wieder Lücken gibt, die es in Zukunft auszufüllen gilt. Eine Lücke besteht zum Beispiel bei der Beurteilung der Analyseergebnisse belasteter Forst-, Park- oder Ziergartenflächen sowie bei der Beurteilung belasteter naturnaher Biotope.

**186.** Bei der Beurteilung von Verunreinigungen mit organischen Stoffen ist die Situation durch die Vielfalt dieser Stoffgruppe im verunreinigten Erdreich von Altstandorten noch schwierig. Hierzu wird eine Ableitung von Bodenrichtwerten für Benzo[a]pyren, Hexachlorbenzol und Tetrachlorethen (Perchloroethylen) zur Diskussion gestellt (VCI, 1989; vgl. Kap. 2.6), wobei sich die Richtwert-Konzeption des Verbandes der

Tabelle 2.10

**Referenzwerte für organische Verbindungen  
in Böden der Niederlande  
(Bodenqualitätskriterien)**

Name	Richtwert bei 10% organischer Trockensubstanz (H = 10) (für die einzelnen Substanzen *)
<i>a) halogenierte Kohlenwasserstoffe und Inhibitoren der Cholinesterase</i>	
Hexachlorcyclohexan; Endrin; Tetrachlorethan; Tetrachlormethan; Trichlorethan; Trichlorethen; Trichlormethan; PCB mit IUPAC-Nr. 28 und 52	weniger als 1 µg/kg
Chlorpropen; Tetrachlorethen; Hexachlorethan; Hexachlorbutadien; Heptachlorepoxyd; Dichlorbenzol; Trichlorbenzol; Tetrachlorbenzol; Hexachlorbenzol; Monochlornitrobenzol; Dichlornitrobenzol; Aldrin; Dieldrin; Chlordan; Endosulfan; Trifluralin; Azinphos-Methyl; Azinphos-Ethyl; Disulfoton; Fenitrothion, Parathion (und -methyl); Triazophos; PCB mit IUPAC-Nr. 101, 118, 138, 153 und 180	weniger als 10 µg/kg
DDD; DDE; Pentachlorphenol	weniger als 100 µg/kg
<i>b) polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe</i>	
Naphthalin; Chrysen	weniger als 10 µg/kg
Phenanthren; Anthrazen; Fluoranthren; Benzo(a)pyren	weniger als 100 µg/kg
Benz(a)anthrazen	weniger als 1 mg/kg
Benzo(k)fluoranthren; Indeno(1,2,3-cd)-pyren; Benzo(ghi)perylene	weniger als 10 mg/kg
<i>c) Mineralöl</i>	
insgesamt	weniger als 50 mg/kg
Octan; Heptan	weniger als 1 mg/kg

\*) oder Nachweisgrenze, wenn diese höher ist als der angegebene Wert

Quelle: MOEN, 1988; VROM NL, 1988, verändert

Chemischen Industrie insbesondere im Hinblick auf Altlasten von der Konzeption des Rates unterscheidet.

#### 2.5.4 Beurteilungskriterien für Belastungen der Luft

187. Die über den „Luftpfad“ auftretenden Emissionen wie Gase, Aerosole, Dämpfe, Stäube können im Hinblick auf die damit verbundenen Immissionen so-

wohl die Atmosphäre als auch die Raumluft in Gebäuden auf oder in der Umgebung von Altablagerungen und Altstandorten sowie die Luft im Boden bzw. im Untergrund belasten. Eine Anreicherung von Schadgasen ist bei Ausschachtungsarbeiten, in Baugruben oder bei Sanierungsarbeiten möglich. Um eine zusätzliche Belastung der Atmosphäre erkennen zu können, sollten in jedem Fall Vergleichsmessungen durch luftseitige Erfassung der Grundbelastung durchgeführt werden; auch können zum Vergleich Meßwerte aus

Tabelle 2.11

**Prüfwerte (= Schwellenwerte) für anorganische Schadstoffe in Kulturböden im Hinblick auf weitergehende Untersuchungen (Nutzpflanzen)**

Element	Schwellenwert (mg/kg Boden)	vorrangiger Aufstellungsgrund **
Cadmium .	2 *	H
Blei . . . . .	300	H, Z
Zink . . . . .	500	P
Kupfer . . .	100	P, Z
Chrom . . .	100	P (H)
Nickel . . .	100	P (H)
Quecksilber . . . . .	2	H
Thallium .	1	H, Z
Arsen . . . .	40	H, P

\* Bei Böden mit einem pH-Wert unter 6,5 oder Bodenart Sand bzw. schwach schluffiger Sand gilt als Schwellenwert 1 mg/kg

\*\* H Humantoxizität (bei erhöhter Aufnahme über Nahrung)

\*\* Z Zootoxizität (bei erhöhter Aufnahme über Futter)

\*\* P Phytotoxizität (Wachstumsdepressionen)

Quelle: LAGA, 1989; auch LÖLF, 1988, verändert

anderen Gebieten, zum Beispiel aus Reinluftgebieten oder anderen Stadtgebieten, herangezogen werden. Zur Erkennung zusätzlicher Belastungen der Raumluft sind Vergleichsmessungen in nicht belasteten Innenräumen vorzunehmen.

**188.** Zur Beurteilung der Immissionen in der Atmosphäre können die Immissionswerte der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft für Schwebstoffe, Cadmium und Blei, die Luftqualitätsleitlinie der WHO von 1987 und die von der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft herausgegebenen Richtlinien über maximale Immissionskonzentrationen (MIK) eine Entscheidungshilfe sein. Hierfür kommen die VDI-Richtlinien 2306 (VDI, 1966) und 2310 (VDI, 1974; VDI, 1984; VDI, 1985; VDI, 1987) in Betracht. Inwieweit die 1966 in der VDI-Richtlinie 2306 festgelegten Werte für organische Verbindungen im Einzelfall noch dem heutigen Stand der Erkenntnisse entsprechen, sollte bei der Anwendung geprüft werden.

**189.** Die oben genannten Immissionswerte der TA Luft sind als Prüfwerte zu betrachten. Einer Einordnung als Höchstwerte steht entgegen, daß diese Werte auf Emissionen aus Anlagen bezogen sind, die dem Bundes-Immissionsschutzgesetz unterliegen. Die Werte aus den VDI-Richtlinien stellen Orientierungswerte dar. In Kapitel 2.6 sind weitere Kriterien zur Beurteilung der Auswirkungen auf die Gesundheit beschrieben.

Im Hinblick auf den Mangel an Werten empfiehlt der Rat, daß die für die altlastentypischen Immissionsbelastungen noch fehlenden Orientierungs- und Prüf-

werte für die Gesundheit des Menschen, für Pflanzen und Sachgüter auf einheitlicher Basis baldmöglichst erarbeitet werden.

**190.** Zur Beurteilung von Geruchsbelästigungen können die immissionsschutzrechtlichen Vorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen herangezogen werden. Zur Beantwortung der entscheidenden Frage, ob eine Geruchsbelästigung als erheblich und damit als schädliche Umwelteinwirkung einzustufen ist, liefert die TA Luft einige allgemeine Maßstäbe. Eine etwas nähere Bestimmung findet sich in der Nr. 5.23 des Gem.RdErl. des Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft und des Ministers für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen vom 14. 10. 1986 (SMBl. NW 7130). Die Erheblichkeit der Geruchsbelästigung hängt danach nicht nur von der jeweiligen Immissionskonzentration und der nach TA Luft zu berechnenden Geruchszahl ab, sondern auch von der Geruchsart, der tages- und jahreszeitlichen Verteilung der Einwirkungen, dem Rhythmus, in dem die Belästigungen auftreten, der Nutzung des beeinträchtigten Gebietes, der historischen Entwicklung der unterschiedlichen Nutzungen, zum Beispiel Industriegebiet oder Wohnsiedlung, und den Möglichkeiten zur Befolgung des Rücksichtnahmegebotes im Nachbarschaftsverhältnis. Die bei der Bestimmung der Geruchszahlen anzuwendenden olfaktometrischen Verfahren sind in der VDI-Richtlinie 3881, Blatt 1 bis 3 beschrieben. Hinweise auf die Erfassung und Verminderung von belästigenden Geruchsemissionen finden sich in einer Systemstudie von MAURER et al. (1979).

**191.** Für die Beurteilung der Luft in Innenräumen von Wohngebäuden, die auf alllastverdächtigen Flächen oder in deren Nachbarschaft stehen und durch Immissionen über die Außenluft oder über den Ausbreitungspfad Boden – Keller – Wohnung belastet sind, gibt das Sondergutachten „Luftverunreinigungen in Innenräumen“ eine entsprechende Anleitung (SRU, 1987b, Abschn. 2.8.2, Kap. 9.2 und 10).

**192.** Beim Nachweis brennbarer Gase, Dämpfe oder Stäube können Zünd- bzw. Explosionsgrenzen eine wichtige Rolle spielen. Die für diesen Fall kritischen Konzentrationen sind in NABERT und SCHÖN (1980) aufgelistet. Hinweise finden sich auch in den Richtlinien für die Vermeidung der Gefahr durch explosionsfähige Atmosphäre (Explosions-Richtlinie ZH 1/10 der Berufsgenossenschaften).

**193.** Für eine Beurteilung der Ergebnisse aus Bodenluftuntersuchungen fehlen geeignete Kriterien. Inwieweit MIK-Werte der VDI-Richtlinien oder Werte aus der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft herangezogen werden können, ist in jedem Einzelfall zu entscheiden. Hinweise über die Wirkungen von Deponiegasen auf Pflanzen finden sich in der Informationsschrift „Deponiegas“ (LAGA, 1983).

### 2.5.5 Schlußfolgerungen

**194.** Der Rat empfiehlt, bei der Anwendung der stoff- und konzentrationsbezogenen Kriterien zwischen dem Einsatz zur Erkennung von Verunreini-

gungen und ihrer Verwendung zur Beurteilung des Gefährdungspotentials zu unterscheiden:

- Eine Verunreinigung liegt dann vor, wenn die Referenzwerte (Hintergrundwerte) der Schadstoffe in den Umweltmedien mit Sicherheit und nicht nur geringfügig überschritten sind.
- Bei der Abschätzung des Gefährdungspotentials der Verunreinigung sind die von ihr ausgehenden Wirkungen auf die relevanten Schutzgüter in Verbindung mit den Nutzungscharakteristiken zu beurteilen.

**195.** Für das Erkennen der Verunreinigung und zur Beurteilung des Gefährdungspotentials sind als stoff- und konzentrationsbezogene Kriterien Referenz-, Orientierungs-, Prüf- und Höchstwerte heranzuziehen. Der Rat ist jedoch der Auffassung, daß die Anwendung dieser Werte wegen der komplexen Zusammenhänge nicht starr erfolgen darf. Sie sind Teil der Methodik, die dem Aufspüren von Verunreinigungen und der Abschätzung von Gefährdungen dient. Die Anwendung dieser Werte zielt darauf ab, die Notwendigkeit und Dringlichkeit von Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren und zum Schutz der belebten und unbelebten Umwelt zu erkennen. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, daß nicht alle Auswirkungen von Altlasten durch Zahlenwerte beurteilbar sind.

**196.** Bei der Anwendung der Referenz-, Orientierungs-, Prüf- und Höchstwerte sind folgende Überlegungen zu beachten:

- Auf eine unkritische Übernahme von Durchschnittswerten für die Hintergrundbelastung von Böden, Grundwasser und Oberflächenwasser ist besonders aufmerksam zu machen; sie sind nur begrenzt auf andere Gebiete übertragbar. Die natürliche Schwankungsbreite der geogen im Boden und Wasser vorhandenen Substanzen und die ubiquitäre Anwesenheit von organischen Stoffen zwingt fast in allen Fällen dazu, Analysen der örtlichen Hintergrundbelastung und ihrer Schwankungsbreite durchzuführen.
- Die meisten der in der Praxis benutzten oder empfohlenen Orientierungswerte sind für andere Umgebungsbedingungen oder Nutzungen erarbeitet worden. Hierbei ist besonders zu beachten, daß vielen dieser Werte Gesichtspunkte der Umweltvorsorge und damit strengere Anforderungen zugrundeliegen als bei der Gefahrenabwehr.
- Ein Überschreiten von Orientierungswerten macht auf Gefährdungen, die von einer Altablagerung oder einem Altstandort ausgehen können, aufmerksam. Ein Unterschreiten bedeutet aber nicht in jedem Fall, daß eine Altablagerung oder ein Altstandort auch zukünftig als unbedenklich eingestuft werden kann.
- Ein Erfordernis für weitergehende Maßnahmen kann nicht mit der Überschreitung genereller Prüfwerte für Umweltmedien allein begründet werden, sondern nur zusammen mit den Umwelteinwirkungen, die von der Verdachtsfläche zusätzlich zu den vorhandenen Hintergrundbelastungen und zum Nachteil konkret berührter Schutzgüter und

Nutzungen ausgehen oder zu besorgen sind (vgl. FEHLAU, 1985).

- Listen mit Prüfwerten, die die Notwendigkeit näherer Untersuchungen oder einer Sanierung anzeigen sollen, können nur als Anhaltspunkte benutzt werden, die einen Entscheidungsspielraum offen lassen müssen. Der Rat weist darauf hin, daß vor Übernahme von Listenwerten eine kritische Überprüfung ihrer Anwendbarkeit erfolgen sollte, um Fehlbewertungen zu vermeiden.
- Werden durch die Auswirkungen von Altlasten Höchstwerte für Schadstoffe bei bestimmten Schutzgütern überschritten, sind allein schon aus rechtlichen Gründen Maßnahmen, sei es an der Altlast oder am Schutzgut, angezeigt.

**197.** Für die toxikologische Beurteilung der Grundwasserkontamination sollte hilfsweise von der Annahme der anspruchsvollsten Verwendung, der Verwendung als Trinkwasser ausgegangen werden. Eine solche Vorgehensweise trägt zugleich der herausragenden Bedeutung des Grundwassers für den Naturhaushalt Rechnung.

**198.** Bei den Oberflächengewässern sind die vom Rat im Umweltgutachten 1987 (SRU, 1987a, Tz. 1128) vorgeschlagenen Parameter mit ihren Werten anzustreben. Dabei geht der Rat davon aus, daß dieses Ziel nicht immer und mit vertretbarem Aufwand zu erreichen ist.

**199.** Der Rat erwartet die differenzierte Festlegung von weiteren Werten für die Beurteilung von Bodenbelastungen in Abhängigkeit vom Bodentyp, der Bodennutzung und den zu erfüllenden Bodenfunktionen. Mit der Erarbeitung derartiger Werte ist die Beantwortung der immer wieder auftretenden Frage nach dem Sanierungsumfang verunreinigter Böden eng verknüpft. Festlegungen dieser Art sollten möglichst bundeseinheitlich erfolgen.

## 2.6 Beurteilungskriterien für Auswirkungen auf die Gesundheit

### 2.6.1 Einführung

**200.** Bei der großen Zahl der zu bewertenden altlastverdächtigen Flächen ist es wichtigstes Ziel, Prioritäten zu setzen, d. h. zunächst Altlasten zu identifizieren, die in einem hohen Maße die Umwelt und damit die Menschen belasten.

Angesichts der Vielfalt der in Altlasten auftretenden Substanzen sollte zunächst auf solche Stoffe geachtet werden, die erfahrungsgemäß häufiger auftreten und ein toxisches Potential besitzen (s. Kap. 3). Hierbei ist vor allem zu unterscheiden zwischen kanzerogenen bzw. gentoxischen und nicht kanzerogenen Stoffen.

**201.** Für die Bewertung sind möglichst genaue Informationen über die Eigenschaften der emittierten Stoffe, die exponierten Personen, ihre Arbeits- und Lebensgewohnheiten, die Expositionspfade sowie Höhe und Dauer der Exposition der Menschen erforderlich.

**202.** Von den Emissionen sind in erster Linie die Bewohner von Häusern auf dem Gelände von Altlasten oder Anwohner in der näheren Umgebung betroffen. Weitere Möglichkeiten einer Exposition entstehen aus der Nutzung der Fläche als Freizeitgelände, Kinderspielplatz, Kleingarten, Weideland, Anbaufläche o. ä. (vgl. Kap. 2.4). Außerdem können Personen beruflich exponiert sein, z. B. bei Bauarbeiten.

**203.** Als mögliche Expositionspfade sind beim Menschen die orale Aufnahme von Schadstoffen (Abschn. 2.6.3), die Aufnahme über die Atmung (Abschn. 2.6.4) und die Aufnahme über die Haut (Abschn. 2.6.5) zu betrachten. Abhängig von der jeweiligen, durch die Nutzung charakterisierten Expositionssituation haben diese Wege unterschiedliche Anteile an der Belastung. Eine wichtige Aufgabe bei der Abschätzung der Gefährdung durch Altlasten besteht darin, kritische Expositionspfade herauszuarbeiten. Dazu sind zunächst quantitative Abschätzungen über die aufgenommenen Schadstoffmengen erforderlich, die sich bei den verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten ergeben können.

Erst auf dieser Grundlage kann in einem zweiten Schritt eine toxikologische Bewertung der Belastung vorgenommen werden. Hierzu müssen allerdings ausreichende toxikologische Daten in geeigneter Form zur Verfügung stehen, die eine Beurteilung erlauben.

### 2.6.2 Abschätzung der Exposition

**204.** Die Schadstoffbelastung im Menschen läßt sich entweder als äußere Belastung aus der Konzentration in den umgebenden Medien ableiten oder als innere Belastung im betroffenen Organismus selbst bestimmen.

#### Äußere Belastung

**205.** Für die Abschätzung der äußeren Belastung sind neben der Kenntnis der Schadstoffkonzentrationen in den verschiedenen Medien und Schutzgütern wie Boden, Trinkwasser, Luft, Lebensmittel usw. auch Kenntnisse über die daraus tatsächlich in den Organismus aufgenommenen Schadstoffmengen sowie ihre Bioverfügbarkeit nötig. Das Ausmaß der Resorption, die Wirkungsweise und der Wirkort eines Schadstoffes sind nicht nur von seinen toxikologischen Eigenschaften und vom Aufnahmeweg, sondern auch von seiner Bindungsform und der Matrix, in der er vorliegt, abhängig. Aufgrund der Streubreiten der Belastung und den vielfach noch vorhandenen Kenntnislücken über die Schadstoffaufnahme sind solche Abschätzungen mit großen Unsicherheiten behaftet; häufig fehlen auch ausreichende Angaben über Aufenthaltsdauer, Bewegungsaktivitäten und weitere belastungsrelevante Tätigkeiten. Daher wird hilfsweise oftmals nur auf die Abschätzung des ungünstigsten Falles zurückgegriffen, der jedoch nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit auftritt. Bei der Abschätzung muß auch eine Kombination der verschiedenen Aufnahmewege berücksichtigt werden, ferner weitere Belastungen durch andere Umwelteinflüsse.

**206.** Bei gas- und dampfförmigen Stoffen sowie bei Stäuben lassen sich die aufgenommenen Schadstoffmengen über das Atemvolumen abschätzen. Die über Nahrungsmittel und Trinkwasser aufgenommenen Mengen können bei bekannter Schadstoffkonzentration anhand statistisch ermittelter Verzehrsmengen berechnet werden (s. SRU, 1987a, Tz. 1256 ff.). Für die direkte Aufnahme von schadstoffhaltiger Erde durch Verschlucken und durch Hautresorption gibt es unterschiedliche Schätzungen. Zahlenwerte, die zur orientierenden Beurteilung der Schadstoffaufnahme über die verschiedenen Expositionswege herangezogen werden können, sind von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall zusammengefaßt worden (LAGA, 1989). In seinen Abschätzungen weicht der Rat jedoch in einigen Fällen von diesen Daten ab (s. Abschn. 2.6.3.1).

**207.** Die so ermittelte täglich aufgenommene Menge eines Stoffes kann hinsichtlich ihrer toxikologischen Relevanz mit Orientierungswerten für die gesundheitlich unbedenkliche tägliche oder wöchentliche Dosis, z. B. den DTA- oder PTWI-Werten der WHO, verglichen werden (s. Tab. 2.12; vgl. SRU, 1987a, Abschn. 2.5.2.2).

Für die Beurteilung der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit ist die Höhe der Belastung einzelner Umweltmedien einzubeziehen, wobei Vergleiche mit Höchst- oder Orientierungswerten für Wasser, Boden und Luft vorgenommen werden (s. Abschn. 2.5.2 bis 2.5.4). Für die Beurteilung der Höhe der Belastung in Nahrungs- und Futtermitteln dienen die Höchst- und Orientierungswerte der in Tabelle 2.13 angegebenen Verordnungen und Richtlinien.

Darüber hinaus können Daten aus unbelasteten Regionen oder von nicht belasteten Vergleichskollektiven als Anhaltspunkt herangezogen werden (Referenzwerte). Hierbei ist die Grenze zwischen „nur“ erhöhter Belastung und Gesundheitsgefährdung schwer zu ziehen. Besondere Aufmerksamkeit ist geboten, wenn eine relativ hohe Grundbelastung vorhanden ist, wie sie z. B. bei Blei und Cadmium vorliegt (Tz. 222; vgl. auch SRU, 1987a, Tz. 1237).

#### Innere Belastung

**208.** Die andere Möglichkeit der Expositionsabschätzung besteht in der direkten Messung der Schadstoffbelastung im Organismus oder in der Bestimmung physiologischer Parameter, die durch die Schadstoffe beeinflusst werden und damit den Belastungszustand anzeigen können. Diese Verfahren werden als „biological monitoring“ und „biological effect monitoring“ bezeichnet.

Zur Erfassung einer akuten Belastung durch das „biological monitoring“ wird die Konzentration von Schadstoffen oder ihren Metaboliten in Blut, Serum oder Urin, bei chronischer Belastung unter Umständen darüber hinaus auch in Gewebeproben, Haaren, Zähnen oder auch in der Frauenmilch bestimmt.

Beim „biological effect monitoring“ werden Wirkungsparameter bestimmt, z. B. die Hemmung von

Tabelle 2.12

**Duldbare tägliche Aufnahmemengen für Metalle und Dioxine**

1. Vorläufig duldbare tägliche Aufnahmemengen (DTA-Werte) von Schwermetallen, abgeleitet aus den vorläufig duldbaren wöchentlichen Aufnahmemengen (PTWI-Werten \*) der WHO (WHO 1972, 1983 und 1987 a)

Substanz	tägliche Aufnahmemenge
Quecksilber	0,71 µg/kg Körpergewicht
Methylquecksilber	0,47 µg/kg Körpergewicht
Blei/Erwachsene	7,1 µg/kg Körpergewicht
Blei/Kinder <sup>1)</sup>	3,6 µg/kg Körpergewicht
Cadmium	0,96–1,2 µg/kg Körpergewicht
Arsen	2,0 µg/kg Körpergewicht

<sup>1)</sup> Vorschlag beim 30. Treffen im Juni 1986, Rom

\* PTWI = provisional tolerable weekly intake

2. Vorläufig duldbare tägliche Aufnahmemengen von chlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen (SRU 1987a, Tz. 1250)

2,3,7,8-TCDD bzw. TCDD-Äquivalente: 1 pg/kg Körpergewicht

Andere polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane müssen anhand entsprechender Äquivalent-Faktoren in TCDD-Äquivalente umgerechnet werden (NATO-CCMS, 1988). Hierzu sind die Internationalen TCDD-Äquivalentfaktoren (I-TEF) heranzuziehen, da sie den neuesten Erkenntnisstand zur Toxizität der chlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane berücksichtigen.

Kongener	I-TEF	Anteil an der entsprechenden Homologen-Gruppe bei statistischer Verteilung
2,3,7,8-TCDD	1	5 % (1/22)
1,2,3,7,8-PeCDD	0,5	7 % (1/14)
1,2,3,4,7,8-HxCDD		
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	30 % (3/10)
1,2,3,6,7,8-HxCDD		
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	50 % (1/2)
OCDD	0,001	100 % (1/1)
-----		
2,3,7,8-TCDF	0,1	3 % (1/38)
2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	4 % (1/28)
1,2,3,7,8-PeCDF	0,01	4 % (1/28)
1,2,3,4,7,8-HxCDF		
1,2,3,7,8,9-HxCDF		
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	25 % (4/16)
2,3,4,6,7,8-HxCDF		
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	50 % (2/4)
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF		
OCDF	0,001	100 % (1/1)

Quelle: Zusammenstellung SRU



Tabelle 2.13

**Höchst- und Orientierungswerte, die als Grundlage für die Beurteilung einer Belastung des Menschen durch Alllasten herangezogen werden können***Höchstwerte für Lebensmittel:*

Verordnung über Höchstmengen an Schadstoffen in Lebensmitteln  
(Schadstoff-Höchstmengenverordnung – SHmV)  
vom 23. März 1988

Liste A: Polychlorierte Biphenyle (PCB)  
Liste B: Quecksilber

Verordnung über Höchstmengen an bestimmten Lösungsmitteln in Lebensmitteln  
(Lösungsmittel-Höchstmengenverordnung – LHmV)  
vom 25. Juli 1989

Verordnung über Höchstmengen an Pflanzenschutz- und sonstigen Mitteln sowie anderen Schädlingsbekämpfungsmitteln in oder auf Lebensmitteln und Tabakerzeugnissen  
(Pflanzenschutzmittel-Höchstmengenverordnung – PHmV)  
vom 24. Juni 1982 in der Fassung der Änderungsverordnung vom 5. Mai 1989

Verordnung über diätetische Lebensmittel (Diätverordnung)  
vom 21. Januar 1982 in der Fassung der Änderungsverordnung vom 10. Juli 1984

Verordnung über die hygienischen Anforderungen und amtlichen Untersuchungen beim Verkehr mit Fleisch  
(Fleischhygieneverordnung – FlHV)  
vom 30. Oktober 1986

Milchgesetz  
Erste Verordnung zur Ausführung des Milchgesetzes  
vom 15. Mai 1931 in der Fassung der letzten Änderungsverordnung vom 18. April 1975

Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung – TrinkwV)  
vom 22. Mai 1986

Futtermittelverordnung  
vom 8. April 1981 in der Fassung der 6. Änderungsverordnung vom 22. Juni 1988

*Orientierungswerte für Lebensmittel:*

Richtwerte '86 für Blei, Cadmium und Quecksilber in und auf Lebensmitteln  
Bundesgesundheitsblatt 29 (1), 1986, S. 22

Richtwerte '86 für Nitrat in Gemüse  
Bundesgesundheitsblatt 29 (5), 1986, S. 167

Guidelines for Drinking-Water Quality  
WHO, 1984

Tabelle 2.13

*VDI-Richtlinien:*

Maximale Immissions-Werte für Fluoride zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (Fluoride im Futter)  
VDI 2310 Blatt 26, Dezember 1987

Maximale Immissions-Werte für Blei zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (Blei im Futter)  
VDI 2310 Blatt 27, Entwurf Dezember 1983

Maximale Immissions-Werte für Cadmium zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (Cadmium im Futter)  
VDI 2310 Blatt 28, Entwurf November 1982

Maximale Immissions-Werte für Nickel zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (Nickel im Futter)  
VDI 2310 Blatt 30, Entwurf März 1989

Maximale Immissions-Werte für Zink zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere (Zink im Futter)  
VDI 2310 Blatt 31, Entwurf März 1989

Quelle: Zusammenstellung SRU

Enzymaktivitäten, Änderungen von Stoffwechselforgängen, Beeinflussung immunologischer und neurologischer Prozesse, Blutbildveränderungen oder cytogenetische Effekte (s. EWERS und BROCKHAUS, 1987).

**209.** Der Vorteil der Messung am Menschen besteht darin, daß Unsicherheiten bei der Abschätzung des Schadstofftransfers aus den verschiedenen Medien in den Organismus umgangen werden und die tatsächliche Belastung der betroffenen Individuen ermittelt wird.

Mit dem „biological monitoring“ kann nur der jeweilige momentane Belastungszustand der betroffenen Personen festgestellt werden; Aussagen über die Höhe einer länger zurückliegenden Exposition oder Prognosen über zukünftig mögliche Belastungen lassen sich daraus nicht ableiten. Wenn das „biological monitoring“ bei einer untersuchten Person keine Hinweise auf Belastungen ergibt, kann geschlossen werden, daß die Alllast zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht zu einer erhöhten Belastung geführt hat. Eine weitere Schwierigkeit besteht unter Umständen in der Verfügbarkeit des Probenmaterials. In der Regel beschränken sich die Untersuchungen auf Urin und Blutproben von Betroffenen. Blutuntersuchungen und in noch stärkerem Maße Gewebeuntersuchungen sind mit medizinischen Eingriffen verbunden und haben deshalb eine geringe Akzeptanz.

**210.** Darüber hinaus ist das „biological monitoring“ mit der Erhebung personenbezogener Daten und damit mit Eingriffen in die Persönlichkeitsrechte der Untersuchten verbunden. Deshalb müssen bei diesen Untersuchungen die Bestimmungen des Datenschutzes berücksichtigt werden. Regelungen des Datenschutzes können eine Identifizierung der belastenden Quellen erheblich erschweren. Das Problem der datenschutzrechtlichen Hemmnisse spielt daher auch hier eine Rolle und sollte allgemein im Zusammen-

hang mit dem Datenschutz in der epidemiologischen Forschung gelöst werden.

**211.** Umfangreiche Erfahrungen über den Einsatz des „biological monitoring“ zur Erfassung der individuellen Exposition liegen in der Arbeitsmedizin vor. Von der Senatskommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe werden arbeitsmedizinisch-toxikologisch begründete Höchstwerte für bestimmte Schadstoffe oder ihre Metaboliten im Organismus (Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte; DFG, 1989)

sowie die geeigneten Nachweisverfahren („Analysen in biologischem Material“; DFG, 1988 a) zusammengestellt und veröffentlicht. Allerdings sind die als Höchstwerte für gesunde Personen am Arbeitsplatz konzipierten BAT-Werte „nicht geeignet, biologische Grenzwerte für langdauernde Belastungen aus der allgemeinen Umwelt, etwa durch Verunreinigungen der freien Atmosphäre oder von Nahrungsmitteln, anhand konstanter Umrechnungsfaktoren abzuleiten“ (DFG, 1989). Weitere Anhaltspunkte liefern die Biological Exposure Indices (BEI) der American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH,

Tabelle 2.14

### Hintergrundkonzentrationen von Umweltschadstoffen in human-biologischen Untersuchungsmaterialien

Stoff	Untersuchungsmaterial	Parameter	Normalbereich
Arsen	Harn	Arsen <sup>a)</sup>	< 15 µg/g Kreat. <sup>b)</sup>
Blei	Blut	Blei	< 15 µg/dl
	Milchzähne	Blei	< 7 µg/g
Cadmium	Blut	Cadmium	Nichtraucher: < 1 µg/l
	Harn	Cadmium	Kinder: < 1 µg/g Kreat. Erwachsene: < 2 µg/g Kreat.
	Nierenrinde	Cadmium	< 50 µg/g
Chloroform	Blut	Chloroform	< 2 µg/l
Chrom	Blut	Chrom	< 2 µg/l
	Harn	Chrom	< 2 µg/l
DDT + DDE <sup>c)</sup>	DDT + DDE	Frauenmilch	< 4 mg/kg FB <sup>d)</sup>
Fluorwasserstoff und Fluoride	Harn	Fluorid	< 2 mg/l
Hexachlorbenzol	Frauenmilch	Hexachlorbenzol	< 2 mg/kg FB
β-Hexachlorcyclohexan	Frauenmilch	β-Hexachlorcyclohexan	< 1 mg/kg FB
Kobalt	Harn	Kobalt	< 1 µg/l
Kohlenmonoxid	Blut	CO-Hb	Nichtraucher: < 2%
Nickel	Blut	Nickel	< 5 µg/l
	Harn	Nickel	< 3 µg/l
Pentachlorphenol	Blut	Pentachlorphenol	< 50 µg/l
	Harn	Pentachlorphenol	< 100 µg/l
Quecksilber	Blut	Quecksilber	< 3 µg/l <sup>b)</sup>
	Harn	Quecksilber	< 5 µg/l <sup>b)</sup>
Thallium	Harn	Thallium	< 1 µg/l
1,1,1-Trichlorethan	Blut	1,1,1-Trichlorethan	< 2 µg/l
Trichlorethen	Blut	Trichlorethen	< 1 µg/l
	Harn	Trichloressigsäure	< 60 µg/l
Tetrachlorethen	Blut	Tetrachlorethen	< 2 µg/l

<sup>a)</sup> mit der Hydrid-Methode meßbarer Arsenanteil

<sup>b)</sup> nach Fischmahlzeiten erhöht

<sup>c)</sup> p,p'-Dichlordiphenyltrichlorethan und p,p'-Dichlordiphenyldichlorethen. DDE ist ein schlecht abbaubares und daher akkumulierendes Stoffwechselprodukt des DDT

<sup>d)</sup> FB = Fettbasis

Quelle: EWERS und BROCKHAUS, 1987

1988) und die Richtwerte der WHO (WHO, 1980, 1981 und 1982) und der EG (s. EG-Richtlinien 82/605 EWG und 77/312 EWG).

**212.** Zur Beurteilung einer durch Umwelteinwirkungen hervorgerufenen inneren Belastung stehen bisher keine umweltmedizinisch-toxikologisch begründeten Höchstwerte zur Verfügung. Um eine erhöhte Belastung zu erkennen, können – soweit vorhanden – Referenzwerte über die Hintergrundkonzentrationen in biologischem Material herangezogen werden (Tab. 2.14; EWERS und BROCKHAUS, 1987).

Weiterhin werden zur Beurteilung von Schwermetallkonzentrationen in Blut-, Urin- und Haarproben vom Bundesgesundheitsamt im Rahmen einer für die Hamburger Gesundheitsbehörde durchgeführten Untersuchung die in Tabelle 2.15 genannten Orientierungswerte vorgeschlagen. Obwohl eine toxikologische Begründung dieser Werte noch aussteht, haben sie sich, auch nach den Erfahrungen von EWERS und

BROCKHAUS (1987), in der Praxis als brauchbare Beurteilungsgrundlage erwiesen.

Die Beurteilung der Bleibelastung von Bevölkerungsgruppen kann auch anhand der in der EG-Richtlinie „über die biologische Überwachung der Bevölkerung auf Gefährdung durch Blei“ (77/312 EWG) festgelegten Referenzwerte erfolgen (Tab. 2.16). Da Kinder auf Blei empfindlicher reagieren, sind für Kinder im Vorschulalter niedrigere Referenzwerte vorgeschlagen worden (BRUNEKREEF et al., 1983).

**213.** Bei der Bewertung der gemessenen Stoffkonzentrationen ist zu berücksichtigen, daß andere Faktoren wie Ernährungsgewohnheiten, Belastungen am Arbeitsplatz, Freizeitverhalten, Arzneimittel- und Alkoholkonsum, Tabakrauchen, Infektionen, Allergien oder andere Erkrankungen die gemessenen Parameter beeinflussen können. Die Konzentration von Quecksilber und Arsen im Blut oder Urin kann z. B. auch nach dem Genuß von Fisch ansteigen. Durch

Tabelle 2.15

**Orientierungswerte zur Beurteilung von Schwermetallgehalten in human-biologischen Untersuchungsmaterialien**

Metall	Untersuchungsmaterial	Einheit	Kategorien <sup>a)</sup>		
			I	II	III
Arsen . . . . .	Haar	µg/g	< 1	> 1	–
	Urin	µg/l	<15	15–40	>40
Blei . . . . .	Blut	µg/dl	<15	15–25	>25
	– Frauen, Kinder				
	– sonstige	µg/dl	<15	15–35	>35
Cadmium . . . . .	Haar	µg/g	<20	>20	–
	Blut	µg/l	< 1	1– 3	> 3
	– Kinder				
– Erwachsene	µg/l	< 2	2– 5	> 5	
Quecksilber . . . . .	Blut	µg/l	< 3	3–10	>10
	Urin	µg/l	< 5	5–20	>20
Thallium . . . . .	Urin	µg/l	< 2	2–20	>20

a) Kategorie I: unauffällig;  
 Kategorie II: Wert erhöht, Gesundheitsgefährdung nicht erkennbar;  
 Kategorie III: Wert deutlich erhöht, Gesundheitsgefährdung auf längere Sicht nicht auszuschließen.

Quelle: Ewers und Brockhaus, 1987

Tabelle 2.16

**Referenzwerte zur Beurteilung der Bleibelastung von Bevölkerungsgruppen**

	EG-Richtlinie 77/312 EWG	empfohlene Referenzwerte für Kinder im Vorschulalter (nach Brunekreef et al., 1983)
50. Perzentilwert	höchst. 20 µg/dl	höchst. 20 µg/dl
90. Perzentilwert	höchst. 30 µg/dl	höchst. 25 µg/dl
98. Perzentilwert	höchst. 35 µg/dl	höchst. 30 µg/dl

Quelle: Ewers und Brockhaus, 1987

Tabakrauchen wird die Konzentration von Cadmium und flüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen im Blut erhöht (EWERS, 1989).

**214.** Aus Veränderungen der physiologischen Parameter und erhöhten Schadstoffkonzentrationen im Organismus oder im untersuchten Gewebe kann grundsätzlich nicht auf eine bestimmte Belastungsquelle, hier also auf eine Altlast, geschlossen werden. Daher muß bei erhöhter individueller Belastung auch die Emissionsquelle zweifelsfrei identifiziert werden, indem solche Untersuchungen immer durch möglichst genaue Erhebungen über Aufenthaltsdauer und Lebensgewohnheiten der Personen im belasteten Gebiet sowie über die qualitative und quantitative Schadstoffbelastung des Bodens und der Luft zur Ermittlung von anderen Expositionsmöglichkeiten ergänzt werden.

### 2.6.3 Orale Aufnahme von Schadstoffen

#### 2.6.3.1 Belastung durch kontaminierte Böden

**215.** Die direkte orale Aufnahme von Schadstoffen mit kontaminiertem Boden, z. B. bei Garten- oder Bauarbeiten, spielt beim Erwachsenen praktisch keine Rolle. Dagegen ist bei im Freien spielenden Kindern durch Hand-zu-Mund-Kontakt mit einer Aufnahme von Boden zu rechnen. Die von Kindern täglich aufgenommene Menge Boden wird in der Literatur unterschiedlich angegeben. Während das amerikanische Center for Disease Control (CDC) bei 9 bis 18 Monate alten Kindern 1 g Boden pro Tag, im Alter von 1,5 bis 3,5 Jahren sogar 10 g/Tag, danach bis zum Alter von 5 Jahren 1 g/Tag und anschließend 0,1 g/Tag annimmt (KIMBROUGH et al., 1984), rechnen die amerikanische Umweltbehörde EPA und andere Autoren für das Alter von 2 bis 6 Jahren mit 0,02–2 g/Tag (BINDER et al., 1986; CLAUSING et al., 1987).

Eine umfassende Literaturobwertung bisher vorliegender Arbeiten durch das Department of Health Services, Toxic Substances Control Division (1989) in den USA führte zu einem Wert von 0,6 g pro Tag für die ersten 6 Lebensjahre. Aus der mit verschiedenen Methoden bei Kleinkindern ermittelten Bodenaufnahme zwischen 0,04 und 0,64 g/Tag berechneten die Autoren einen arithmetischen Mittelwert von  $0,33 \pm 0,26$  g/Tag. Der Wert von ca. 0,6 g/Tag setzt sich zusammen aus dem Mittelwert plus der einfachen Standardabweichung.

Die Altlastenkommission Nordrhein-Westfalen geht aufgrund verschiedener Untersuchungen inzwischen von einer täglichen oralen Aufnahmerate von 1 g Boden (= 0,85 g Trockensubstanz) aus (EIKMANN et al., 1988; siehe dazu auch SCHLIPKÖTER und BROCKHAUS, 1988). Die Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“ der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall empfiehlt, von 0,1 – 0,2 g Bodenaufnahme pro Tag auszugehen (LAGA, 1989).

**216.** Da die Angaben in der Literatur sehr unterschiedlich sind, sollte, bis genauere und begründete Untersuchungen vorliegen, von 1 g Bodenaufnahme

pro Tag bis zum Schulalter ausgegangen werden. Damit befindet man sich zumindest auf der sicheren Seite.

Dieser Wert kann in Verbindung mit gemessenen Schadstoffkonzentrationen in der oberen Bodenschicht als Grundlage für eine Abschätzung der aufgenommenen Schadstoffmenge herangezogen werden, wobei allerdings in Abhängigkeit von der Bodenbedeckung durch Bewuchs, vom Spielverhalten der Kinder und von der Aufenthaltsdauer im Freien mit erheblichen Schwankungen zu rechnen ist. Daher kann die Abschätzung der Exposition über den Hand-zu-Mund-Kontakt nur einen Hinweis auf eine erhöhte Belastung geben, die dann durch gezieltes „biological monitoring“ an repräsentativ ausgewählten Kindern verifiziert werden sollte.

### Metalle

**217.** Für einige Metalle im Boden sind von verschiedenen Autoren und Gremien Referenz- oder Orientierungswerte vorgeschlagen worden (s. auch Abschn. 2.5.1 und 2.5.3), die häufig für eine Bewertung herangezogen werden. Diese Werte wurden jedoch nicht toxikologisch abgeleitet, sondern orientieren sich zum Beispiel an Konzentrationen, die in unterschiedlich belasteten Gebieten gefunden worden sind.

**218.** Für die toxikologische Bewertung der aufgenommenen Menge an Schwermetallen stehen die von der Weltgesundheitsorganisation empfohlenen Orientierungswerte für die vorläufig duldbare wöchentliche bzw. tägliche Aufnahmemenge (PTWI- oder DTA-Werte, vgl. SRU, 1987a, Tz. 1245) zur Verfügung. Dabei ist zu berücksichtigen, daß diese Werte von verfügbarem Metall, d. h. einer vollständigen Löslichkeit im Magen-Darm-Trakt ausgehen. Die Bindungsform bzw. Säurelöslichkeit der im Boden enthaltenen Metalle kann jedoch in Abhängigkeit vom pH-Wert stark variieren. Beispielsweise waren in Bodenproben einer Wohnsiedlung auf dem Gelände einer ehemaligen Deponie von nur 0,01 bis maximal 25 % des darin enthaltenen Bleis und 4 bis 41 % des Cadmiums bei einem pH-Wert im Bereich von 2 bis 4, entsprechend dem pH-Wert im Magen, löslich und damit resorbierbar (GREIM und SUMMER, 1988). Das weist darauf hin, daß die Belastung im allgemeinen eher überschätzt wird, da stets nur ein Teil der tatsächlich vorhandenen Schwermetallmenge für die Resorption zur Verfügung steht.

**219.** Unter Berücksichtigung einer einmaligen Erdaufnahme von 10 g bei Kleinkindern hat die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall „vorläufige Schwellenwerte“ für Arsen und Schwermetalle vorgeschlagen, bei deren Überschreitung Sofortmaßnahmen zur Verhinderung einer akuten Gesundheitsgefährdung geprüft werden sollen (A-Werte nach LAGA, 1989). Geht man von 10 g für eine einmalige Bodenaufnahme aus, so nähme ein Kind unter Zugrundelegung der A-Werte 1 mg Arsen, 30 mg Blei, 0,4 mg Cadmium oder 2 mg Quecksilber auf. Eine akute Vergiftungsgefahr bei einmaliger Aufnahme dieser Mengen besteht nicht, wiederholte Exposition muß allerdings vermieden werden.

Tabelle 2.17

**Aufnahme von Schwermetallen aus dem Boden durch Hand-zu-Mund-Kontakt von Kindern**  
(Berechnung unter Annahme vollständiger Verfügbarkeit im Magen-Darm-Trakt)

Metall	vorläufig duldbare Aufnahmemenge (DTA-Wert*) nach WHO, 1972, 1983 und 1987 a (µg/kg Körpergewicht und Tag)	vorläufige Schwellenwerte D** nach LAGA (mg/kg Trockensubstanz)	aus den vorläufigen Schwellenwerten der LAGA abgeschätzte tägliche Aufnahmemenge*** (µg/kg Körpergewicht und Tag)	Faktor****
Blei .....	3,5 (Kinder)	500	43	12
Cadmium .....	1	40	3,4	3,4
Quecksilber .....	0,7	10	0,85	1,2
Arsen .....	2	100	8,5	4,3

- \* abgeleitet aus den PTWI-Werten der WHO
- \*\* vorläufige Schwellenwerte für Untersuchungen im Hinblick auf die menschliche Gesundheit in Wohngebieten etc. auf Dauer (D-Wert); die Werte gelten für Flächen, auf denen sich Kinder überwiegend aufhalten (z. B. Kinderspielplätze, Hausgärten) (LAGA, 1989)
- \*\*\* bei Aufnahme von 1 g Boden/Tag = 0,85 g Trockensubstanz für ein 10 kg schweres 2-jähriges Kind
- \*\*\*\* Faktor, um den die bei Einhaltung des von der LAGA vorgeschlagenen vorläufigen Schwellenwertes berechnete Aufnahmemenge höher bzw. tiefer liegt als der von der WHO vorgeschlagene DTA-Wert

Quelle: SRU, eigene Zusammenstellung

**220.** Für Bodenbelastungen auf Dauer wurden von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall ebenfalls „vorläufige Schwellenwerte“ (D-Werte) vorgeschlagen, die für Flächen wie Kinderspielplätze und Hausgärten gelten sollen, auf denen sich Kinder überwiegend aufhalten. Bei einer angenommenen täglichen Aufnahme von 1 g Boden errechnen sich mit diesen Werten für ein Kind mit einem Gewicht von 10 kg die in Tabelle 2.17 aufgeführten Aufnahmemengen. Diese Werte liegen für Blei bei Kindern um das 12-fache, für Cadmium um das 3-fache, für Quecksilber um das 1,2-fache und für Arsen um das 4,3-fache über den vorläufig duldbaren Aufnahmemengen gemäß der WHO.

**221.** Diese Zusammenstellung zeigt, daß aus toxikologischer Sicht die bisher vorgeschlagenen „vorläufigen Schwellenwerte“ zumindest für Wohngebiete, in denen Kinder im Freien auf Altlasten spielen können, unbefriedigend sind. Unter der Voraussetzung, daß ein Kind bei einem Gewicht von 10 kg mit einer täglichen Aufnahme von 1 g Boden nicht mehr Schwermetalle aufnimmt, als dies der von der WHO empfohlenen Menge entspricht, sind die in Tabelle 2.18 angegebenen Werte errechnet worden. Dabei wird von einer vollständigen Verfügbarkeit für die Resorption aus dem Magen-Darm-Trakt ausgegangen. Bei nachgewiesener geringerer Verfügbarkeit, d. h. Löslichkeit der einzelnen Metalle im Magen-Darm-Trakt, können diese Werte entsprechend erhöht werden.

**222.** Da bei den in Tabelle 2.18 angeführten Bodenkonzentrationswerten davon ausgegangen wird, daß die Belastung ausschließlich durch die Aufnahme von kontaminiertem Boden erfolgt, müssen diese Werte unterschritten werden. Das Maß der Unterschreitung richtet sich nach dem Ausmaß der Belastung über andere Expositionspfade.

Die Auslastung des DTA-Wertes von Blei über die Nahrungsaufnahme beträgt bei Erwachsenen durch-

schnittlich 20–40 %; bei Kindern muß aufgrund der auf das Körpergewicht bezogenen höheren Nahrungsaufnahme und der wesentlich höheren Resorptionsrate (SRU, 1987a, Tz. 1311) besonders bei erhöhter Belastung mit einer Auslastung bzw. Überschreitung des DTA-Wertes gerechnet werden. Ähnlich verhält es sich in bezug auf Cadmium, wo die mittlere Auslastung des DTA-Wertes bei Erwachsenen 40 bis 60 % ausmacht. Auch hier muß bei Kindern von einer höheren Aufnahme ausgegangen werden (SRU, 1987a, Tz. 1321). Die Auslastung beträgt für Quecksilber bei Erwachsenen ca. 50 %, ist allerdings stark vom Fischverzehr abhängig. Für Arsen lassen sich durchschnittliche Aufnahmemengen schwer abschätzen; nach OHNESORGE (VDI, 1985) werden in der Bundesrepublik maximal 0,35 mg/Tag aufgenommen. Dabei entfallen ca. 100 µg/Tag auf die Zufuhr vorwiegend anorganischer Arsenverbindungen über das Trinkwasser, 100 µg/Tag auf die Zufuhr vorwiegend organischer Verbindungen über den Verzehr von

Tabelle 2.18

**Tolerierbare Metallkonzentrationen im Boden von Wohngebieten, vorgeschlagen aufgrund der duldbaren täglichen Aufnahmemenge für ein 10 kg schweres Kind bei Aufnahme von 1 g Boden/Tag**

Metall	DTA-Wert der WHO (µg/kg Tag)	Metallkonzentration im Boden (mg/kg)
Blei .....	3,5 (Kinder)	35
Cadmium .....	1	10
Quecksilber ....	0,7	7
Arsen .....	2	20

Quelle: SRU, eigene Berechnungen

Fisch und 150 µg/Tag (organische und anorganische Verbindungen) über sonstige Nahrungsmittel. Organische Verbindungen unterscheiden sich in ihrem Wirkungsspektrum jedoch deutlich von anorganischen Arsen-Verbindungen; letztere sind wesentlich toxischer. Die von der WHO als duldbar angesehenen Aufnahmemengen beziehen sich zwar auf anorganische Arsen-Verbindungen, wie sie auch in Böden zu erwarten sind. Bei diesen Verbindungen muß allerdings die kanzerogene Wirkung berücksichtigt werden, hinsichtlich der keine unbedenkliche Aufnahmemenge angegeben werden kann. Insofern ist die Empfehlung der WHO nur sehr eingeschränkt auf die zusätzliche Aufnahme von Arsen aus dem Boden zu übertragen.

**223.** Für weitere Metalle können entsprechende Berechnungen nicht durchgeführt werden, da keine DTA-Werte vorliegen. Es besteht dringender Bedarf, auch für die übrigen von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall aufgeführten Metalle DTA-Werte zu erarbeiten.

#### Organische Stoffe

**224.** Der Gehalt an organischen Stoffen im Boden ist schwieriger zu bewerten, weil es weder Höchst- und kaum ähnliche Orientierungswerte wie für Schwermetalle gibt, noch umfangreiche Erfahrungen über das Verhalten dieser Stoffe in Boden und Pflanzen vorliegen. Weit stärker als bei den persistenten und relativ immobilen Metallen können die Bodengehalte der organischen Schadstoffe durch Bodenbewirtschaftung wie Pflügen sowie bakteriellen Ab- und Umbau, Photooxidation und Auslaugung beeinflusst werden (JONES, 1989).

**225.** Die Vielzahl der möglichen organischen Schadstoffe in Böden macht eine quantitative Beurteilung ihrer Wirkungen derzeit unmöglich. Bei der oralen Aufnahme spielen in erster Linie schwerflüchtige organische Stoffe eine Rolle, während leichtflüchtige Stoffe wie Tetrachlorethen oder Benzol eher durch Inhalation aufgenommen werden (vgl. Abschn. 2.6.4.2; VCI, 1989). Für eine Gefährdungsabschätzung werden die Verbindungen häufig in Gruppen zusammengefaßt und beispielsweise für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe oder polychlorierte Biphenyle jeweils Stoffgruppen-Grenzwerte diskutiert. Dieses Vorgehen ist trotz vielfach ähnlicher Wirkungsmuster der Substanzen aus toxikologischer Sicht unzureichend. Für eine toxikologische Bewertung ist es vielmehr erforderlich, die toxikologischen Wirkungsspektren, die Verweildauer im Menschen, die Mobilität und die Metabolisierung der einzelnen Substanzen zu berücksichtigen.

Da dieses Vorgehen nur im Einzelfall möglich ist, wird in der Praxis z. B. für die Bewertung des mutagenen und kanzerogenen Potentials von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) in einer Bodenprobe die Konzentration der Leitsubstanz Benzo[a]pyren herangezogen (POTT, 1985), auch wenn vielfach andere mutagene und kanzerogene Komponenten wie Dibenz[a,h]anthracen, Benzo[b]fluoranthren oder Benz[a]anthracen über-

wiegen und ihr Konzentrationsverhältnis zum Benzo[a]pyren sehr unterschiedlich sein kann.

**226.** In einem Wohngebiet wurden in den oberen Bodenschichten von Gärten und auf Kinderspielplätzen PAH-Konzentrationen von maximal 32 mg/kg Boden gefunden. Für die mittlere PAH-Aufnahme über Nahrungsmittel können bei 1- bis 3-jährigen Kindern 0,5–1 µg pro Tag angenommen werden. Bei den oben genannten Konzentrationen im Boden übersteigt die beim Verschlucken von 1 g Boden aufgenommene Menge die nahrungsbedingte Zufuhr um den Faktor 30 bis 60 (SCHLIPKÖTER und BROCKHAUS, 1988). Soll die Aufnahme von PAH durch belasteten Boden die Größenordnung der Aufnahme durch Nahrungsmittel nicht übersteigen, dann darf der PAH-Gehalt nur 1 mg/kg Boden betragen (SCHLIPKÖTER, 1985). Daraus ergibt sich eine maximale zusätzliche Aufnahme von 1 µg Benzo[a]pyren pro Tag.

Diese Menge sieht auch der Verband der Chemischen Industrie (VCI) als Obergrenze einer zusätzlichen Aufnahme an. Bei einer PAH-Aufnahme aus dem Boden durch Hand-zu-Mund-Kontakt ist dies nach Ansicht des VCI bei einer Bodenbelastung von maximal 500 µg/kg gewährleistet, wobei allerdings von einer Aufnahme von 2 g Bodenmaterial durch Kleinkinder ausgegangen wird (VCI, 1989).

Der Rat schließt sich aus Vorsorgegründen der Empfehlung an, im Hinblick auf die kanzerogene Wirkung von Benzo[a]pyren und anderen PAH bereits ab 1 mg/kg Boden Sanierungsmaßnahmen einzuleiten.

**227.** Im Zusammenhang mit Altlasten sind teilweise erhebliche Bodenbelastungen durch polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) gefunden worden. Während Böden ohne spezifische Belastung nach Untersuchungen des Umweltministeriums von Baden-Württemberg TCDD-Äquivalente im Bereich von 1 ng/kg Boden aufweisen, wurden an einzelnen Altstandorten Konzentrationen von weit über 1 000 ng TCDD-Äquivalente pro kg Boden gemessen (UM BW, 1989). Wegen ihrer Toxizität und langen Verweildauer im Menschen muß diesen Substanzen besondere Beachtung geschenkt werden.

**228.** Von KIMBROUGH et al. (1984) wurde abgeleitet, daß eine Bodenverunreinigung von 1 000 ng TCDD/kg Boden für Wohngebiete und 40 ng/kg für landwirtschaftlich genutzte Böden als Prüfwert angesehen werden kann. Auf diese Abschätzung stützt sich auch das Bundesgesundheitsamt bei seiner Empfehlung, bei Überschreitungen des Wertes von 1 000 ng an TCDD-Äquivalenten pro kg Boden in Wohngebieten einen Bodenaustausch vorzunehmen.

**229.** Geht man von einer täglichen oralen Bodenaufnahme von durchschnittlich 1 g/Tag im Alter zwischen 1 und 3 Jahren aus (s. Tz. 216), so läßt sich unter der Annahme einer vollständigen Resorption über ein lineares pharmakokinetisches Modell (GEYER et al., 1986), das sowohl eine Halbwertszeit für TCDD von 8 Jahren als auch die Zunahme des Fettgewebes mit dem Alter (16% des jeweiligen Körpergewichts) berücksichtigt, bei einer Bodenbelastung von 1 000 ng TCDD/kg für ein 3-jähriges Kind eine Rückstandskonzentration von ca. 290 ng TCDD pro kg Fettgewebe allein aus dem Verschlucken von Bodenmaterial

berechnen (FILSER, pers. Mitt.). Bei direkter Übertragung dieser Werte auf TCDD-Äquivalente können damit Konzentrationen erreicht werden, die um das 10-fache über der durchschnittlichen Rückstandsbelastung der Bevölkerung liegen.

Nach Auffassung von SCHLATTER (1987) besteht zwischen der durchschnittlichen PCDD/F-Belastung der Bevölkerung und der Belastung, bei der erste Krankheitssymptome sichtbar werden, noch ein Sicherheitsfaktor von ca. 1 : 100. Dieser würde sich bei entsprechender Bodenaufnahme auf einen Faktor von 1 : 10 reduzieren, was unter Vorsorgeaspekten als nicht mehr ausreichend angesehen werden kann (SRU, 1987a, Tz. 1658). Bei Bodenbelastungen bis 100 ng an TCDD-Äquivalenten pro kg kann dagegen davon ausgegangen werden, daß auch bei einer oralen Bodenaufnahme von 1 g/Tag keine Zusatzbelastung auftritt, die wesentlich über die Durchschnittsbelastung der Bevölkerung hinausgeht.

**230.** Der Rat empfiehlt daher einen Prüfwert für die TCDD-Äquivalent-Konzentration von 100 ng/kg Boden im Hinblick auf Sanierungsmaßnahmen in Wohngebieten. Beim Erreichen dieses Wertes müssen weitergehende Untersuchungen zur Feststellung der tatsächlichen Belastung der Bevölkerung durchgeführt werden; zum Beispiel sollte bei möglicherweise belasteten Personen die Konzentration von polychlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen im Blut bestimmt werden.

**231.** Ein besonderes Problem der Kontamination des Bodens mit organischen Stoffen stellen kriegs- und rüstungsbedingte Altlasten dar. Charakteristisch sind z. B. bei ehemaligen Betrieben zur Sprengstoffherstellung aromatische Nitroverbindungen und deren Umwandlungsprodukte, vor allem aromatische Amine. Diese Stoffe können von spielenden Kindern mit dem Boden durch Hand-zu-Mund-Kontakt aufgenommen werden. Die toxikologischen Wirkprofile solcher Stoffe, die im Bereich ehemaliger Anlagen der Rüstungsindustrie im Boden und Grundwasser nachgewiesen wurden, sind kaum bekannt. Für einige Vertreter dieser Verbindungsklassen gibt es zumindest Hinweise auf eine krebserzeugende Eigenschaft (DIETER, 1989; HAAS und von LÖW, 1986; SCHNEIDER und KÖNIG, 1988).

#### 2.6.3.2 Belastung über die Nahrungskette

**232.** Aus der gewerblichen oder privaten gärtnerischen und landwirtschaftlichen Nutzung von Böden, die mit Schadstoffen aus Altlasten kontaminiert sind, resultiert die Möglichkeit eines Übergangs von Schadstoffen in Pflanzen und damit in pflanzliche und tierische Nahrungsmittel. Daher ist zu prüfen, inwieweit eine Gesundheitsgefährdung des Menschen auf diesem Weg zu erwarten ist.

#### Metalle

**233.** In Abschnitt 2.5.3 sind die Beurteilungskriterien für Belastungen von Kulturböden zusammengestellt. Die dort genannten Prüfwerte dienen u. a. auch der

Prüfung, ob Untersuchungen an Nutzpflanzen, die auf altlastverdächtigen Flächen und in ihrer Umgebung wachsen, zur Beurteilung des Gefährdungspotentials angezeigt sind (vgl. Tab. 2.11).

**234.** Wie aus Modelluntersuchungen, z. B. von KLOKE (1988 a), bekannt ist, werden über die Wurzel aus dem Boden in erster Linie einige Schwermetalle, wie Cadmium, Thallium und Zink, aufgenommen, während andere, z. B. Chrom, Quecksilber, Blei und Arsen, kaum in Pflanzen übergehen oder nicht in oberirdische Teile transportiert werden. Letztere gelangen wie die meisten organischen Schadstoffe überwiegend aus der Atmosphäre, durch Niederschläge und Ablagerung von kontaminiertem Staub auf und in oberirdische Pflanzenteile (SRU, 1985).

Das Ausmaß der Aufnahme von Schwermetallen aus Böden wird durch eine Reihe von Faktoren determiniert, die experimentell gut untersucht sind, z. B. chemische Bindungsform der Metalle, bodenchemische Eigenschaften, wie pH-Wert, Kationenaustauschkapazität, Ton-, Humusgehalt u. a. (vgl. SRU, 1985, Tz. 717 ff.). Der Gehalt in den Pflanzen nimmt, gleiche Pflanzenverfügbarkeit der Metalle vorausgesetzt, mit steigenden Gehalten in Böden zu. Die Verfügbarkeit z. B. von Cadmium in Böden steigt mit sinkendem pH-Wert und geringerem Humus- oder Tongehalt an.

Als Maß für die Anreicherung dient der sog. Transferfaktor, der das Verhältnis des Gehalts an Schwermetallen in der Pflanze zum Gehalt im Boden angibt. Wie Untersuchungen am Beispiel von Cadmium zeigen, hängt er neben den genannten Faktoren der Pflanzenverfügbarkeit auch von der Pflanzenart ab. Zu berücksichtigen ist weiterhin, daß die Anreicherung in verschiedenen Pflanzenteilen, z. B. Rhizom, Knollen, Sproß, Blättern und Früchten, sehr unterschiedlich sein kann. In älteren Pflanzenteilen finden sich gegenüber jüngeren häufig wesentlich höhere Mengen an Schwermetallen.

Eine erhöhte Belastung mit Schwermetallen kann darüber hinaus zu Ertragsrückgang und Blattschäden, wie Chlorosen, Nekrosen, sowie zu Kümmerwuchs führen. Im Extremfall kann der Pflanzenwuchs völlig unterdrückt werden.

**235.** Für Cadmium werden für eine noch tolerierbare Bodenbelastung je nach Bodentyp Prüfwerte von 1 oder 2 mg Cadmium/kg Boden empfohlen (LAGA, 1989; LÖLF, 1988). Werden diese Werte überschritten, sind Untersuchungen der Nutzpflanzen erforderlich.

**236.** Die Transferfaktoren für Blei und Quecksilber sind sehr viel niedriger: Die Bleikonzentration lag in allen zum Verzehr bestimmten Pflanzenteilen unter den Richtwerten des Bundesgesundheitsamtes (BGA), selbst wenn die Bleikonzentration im Boden 4 000 mg/kg betrug. Auch bei Quecksilber-Verunreinigungen, die ca. 50 mg/kg Boden betragen, blieben in den zum Verzehr bestimmten Pflanzenteilen die gemessenen Gehalte noch unter den Richtwerten des BGA (KLOKE, 1988 b).

Die schwerlöslichen Formen der Metalle Chrom und Nickel sind im Boden bzw. in der Pflanze wenig beweglich und daher für die Nahrungskette von ge-

ringerer Bedeutung als beispielsweise Cadmium (CRÖSSMANN und SEIFERT, 1986) oder Thallium (LAGA, 1989).

**237.** Bei einer äußerlichen Kontamination, z. B. durch Spritzwasser oder Verwehungen, ist die direkte Aufnahme von Schwermetallen durch die Blattoberfläche in der Regel gering. Diese äußerliche Kontamination kann deshalb durch Waschen oder Schälen zum Teil entfernt werden (s. SRU, 1987a, Tz. 1329). Blätter mit großer, rauher Oberfläche wie Grünkohl weisen allerdings viel höhere Schwermetall-Gehalte auf als glatte, wie Salat.

**238.** Aus den vielfältigen Erfahrungen lassen sich Empfehlungen ableiten, welche Pflanzen auf bestimmten, spezifisch belasteten Böden besser nicht angebaut werden sollten. So sollte auf solchen Böden verschmutzungsgefährdetes Gemüse mit großer Blattoberfläche nicht gezo-gen werden. Fruchtgemüsearten wie Tomaten, Bohnen und Gurken sind dagegen im allgemeinen weniger durch Bodenbelastungen kontaminiert. Bei hoher Cadmium-Belastung sollte auf den Anbau von Weizen, Spinat und Sellerie verzichtet werden.

**239.** Zur Beurteilung der Analysewerte aus Untersuchungen pflanzlicher Nahrungsmittel dienen die Lebensmittelrichtwerte des Bundesgesundheitsamtes für Blei, Cadmium und Quecksilber (BGA, 1986a und b). Tabelle 2.19 enthält einen Auszug. Diese Richtwerte leiten sich vorwiegend aus Daten ab, welche den durchschnittlichen Kontaminationsgrad von Lebensmitteln beschreiben. Toxikologische Gesichtspunkte wurden dabei kaum berücksichtigt. Wie bereits im Umweltgutachten 1987 (SRU, 1987a, Tz. 1270f.) diskutiert, dienen sie überwiegend dazu, Überschreitungen der durchschnittlichen Werte aufzuzeigen und damit Hinweise auf erhöhte Belastungen zu geben.

**240.** Für die toxikologische Beurteilung von Schwermetallgehalten in Nahrungspflanzen ist neben der Schadstoffkonzentration in den zum Verzehr bestimmten Pflanzenteilen die durchschnittliche tägliche Verzehrmenge entscheidend. Angaben hierzu finden sich z. B. in den Ernährungsberichten der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE, 1976 und 1980; vgl. auch SRU, 1987a, Tz. 1256 ff.). Die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall schlägt für eine Abschätzung der Belastung Zahlenwerte für die durchschnittlichen täglichen Verzehr-mengen eines Erwachsenen vor (s. LAGA, 1989). Aus der täglich mit den betreffenden Nahrungsmitteln aufgenommenen Menge errechnet sich unter Zugrundelegung eines Körpergewichts von 70 kg für einen Erwachsenen die durchschnittliche tägliche Dosis in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Körpergewicht.

Diese kann zu den von der WHO erarbeiteten Werten für die tolerierbare tägliche bzw. wöchentliche Dosis in Relation gesetzt werden. Dabei ist auch die Zufuhr aus anderen Quellen, z. B. über Atemluft, Trinkwasser, tierische Nahrungsmittel oder die Aufnahme von Cadmium mit dem Tabakrauch, zu berücksichtigen (vgl. auch Tz. 207). Für Blei und Cadmium sind diese Berechnungen ausführlich im Umweltgutachten 1987 des Rates dargestellt worden (SRU, 1987a, Tz. 1307 ff. und 1319 ff.).

Tabelle 2.19

### Lebensmittelrichtwerte des Bundesgesundheitsamtes für anorganische Schadstoffe

Richtwerte '86 für Blei, Cadmium und Quecksilber in und auf Lebensmitteln  
(Auszug; Angaben in mg/kg bzw. mg/l)

Lebensmittel	Blei	Cadmium	Quecksilber
Milch .....	0,03	0,0025	0,01
Hühnereier .....	0,25	0,05	0,03
Rind-, Kalb-, Schweine-, Hühnerfleisch .....	0,25	0,1	0,03
Fisch .....	0,5	0,1	1,0
Weizenkörner .....	0,3	0,1	0,03
Roggenkörner .....	0,4	0,1	0,03
Kartoffeln .....	0,25	0,1	0,02
Grünkohl .....	2,0	0,1	0,05
Küchenkräuter .....	2,0	0,1	0,05
Spinat .....	0,8	0,5	0,05
weiteres Blattgemüse ....	0,8	0,1	0,05
Sproßgemüse .....	0,5	0,1	0,05
Fruchtgemüse .....	0,25	0,1	0,05
Sellerie .....	0,25	0,2	0,05
anderes Wurzelgemüse ..	0,25	0,1	0,05
Beeren-, Kern-, Steinobst .	0,5	0,05	0,03
Schalenfrüchte .....	0,5	0,05	0,03

Richtwerte '86 für Nitrat in Gemüse  
(Angaben in mg  $\text{NO}_3/\text{kg}$  Frischsubstanz)

Lebensmittel	Nitrat
Kopfsalat .....	3 000
Spinat .....	2 000
Rote Rüben .....	3 000

Quelle: Bundesgesundheitsblatt 29, 1986, S. 22–23 und S. 167

**241.** Sollten Schwermetallbelastungen im Fleisch von Tieren, das für den Verzehr vorgesehen ist, befürchtet werden, können Untersuchungsergebnisse mit den Grenzwerten für Blei und Cadmium in der Fleischhygieneverordnung vom 30. 10. 1986 verglichen werden. Zur Beurteilung einer Quecksilberbelastung in Fischen steht die Schadstoff-Höchst-mengenverordnung vom 23. 3. 1988 zur Verfügung.

Im Zusammenhang mit landwirtschaftlichen Nutztieren sei an dieser Stelle auch auf das Verbot der Anwesenheit nachweisbarer bzw. technisch vermeidbarer Mengen bestimmter Stoffe in Milch und Milcherzeugnissen als indirekte Orientierungshilfe hingewiesen (Milchgesetz), wenn Weideland auf Altlasten entsprechend genutzt wird.

**242.** Bei landwirtschaftlicher Nutzung von belasteten Böden, etwa als Weideland, ist zusätzlich zu berücksichtigen, daß z. B. Kühe täglich bis zu 1 kg Erde (0,75 kg, nach LAGA, 1989) aufnehmen. Damit ist die Möglichkeit des indirekten und direkten Übergangs von anorganischen und organischen Schadstoffen aus dem Boden in Nahrungsmittel tierischen Ursprungs



wie Fleisch und Milch gegeben und muß bei der Beurteilung von Altlasten, die landwirtschaftlich genutzt werden, in Betracht gezogen werden (vgl. Tz. 248).

#### Organische Verbindungen

**243.** Neben der Aufnahme flüchtiger organischer Verbindungen aus der Umgebungsluft und einem direkten Übergang von persistenten organischen Schadstoffen aus kontaminiertem Boden in Nahrungs- und Futterpflanzen ist als wesentliche Kontaminationsquelle der Kontakt der oberirdischen Pflanzenteile mit belastetem Staub oder Niederschlägen anzusehen, wobei lipophile Stoffe in die wachsüberzogene Cuticula eindringen können. Die Aufnahme aus dem Boden in das Wurzelwerk ist bei Wurzelgemüse wie Karotten zu berücksichtigen.

**244.** Für wichtige Schadstoffgruppen sind Angaben über die Aufnahme in Pflanzen in der Literatur verfügbar, z. B. für polychlorierte Biphenyle (BUSH et al., 1986; SAWHNEY und HANKIN, 1984), Pestizide (BEALL und NASH, 1972; LICHTENSTEIN, 1980), aliphatische Halogenkohlenwasserstoffe (SCHEUNERT et al., 1985; WOROBEY, 1984), aromatische Kohlenwasserstoffe (OVERCASH et al., 1982) und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (MÜLLER, 1976; SIMS und OVERCASH, 1983). Das Ausmaß der Anreicherung in den Pflanzen, der sogenannte Konzentrationsfaktor, hängt von verschiedenen Faktoren ab (vgl. Tz. 234). Systematische Prüfungen der Pflanzenreaktionen auf organische Chemikalien im Boden liegen jedoch nicht vor (BELL et al., 1988).

**245.** Der Verband der Chemischen Industrie (VCI, 1989) schlägt für die Produktion von Wurzelgemüse einen Richtwert von 1 mg, für die Produktion von anderen pflanzlichen Nahrungsmitteln einen Richtwert von 10 mg Benzo[a]pyren pro kg Boden vor. Für die Produktion tierischer Nahrungsmittel wird wegen der raschen Metabolisierung von Benzo[a]pyren kein Richtwert für notwendig erachtet. Die Richtwert-Definition des VCI ist jedoch mit der vom Rat für den Prüfwert verwendeten Definition nicht identisch.

**246.** Persistente PCB-Kongenere gelangen aus Altlasten in Luft, Boden und Wasser. Durch Verfütterung von belasteten Pflanzen an Nutztiere kommt es zu einer Anreicherung der persistenten Kongenere im Organismus und damit in Nahrungsmitteln tierischen Ursprungs (DFG, 1988b). In der Schadstoff-Höchstmengenverordnung sind Grenzwerte für den PCB-Gehalt verschiedener Lebensmittel festgelegt.

**247.** Für Tetrachlorethen (Perchloroethylen) und verwandte Lösemittel liegt die Lösungsmittel-Höchstmengenverordnung vor (vgl. Tab. 2.13).

**248.** Fundierte wissenschaftliche Aussagen über tolerierbare Bodenverunreinigungen mit polychlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen im Hinblick auf eine landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung sind derzeit noch nicht möglich.

Aus Vorsorgegründen wird vom Bundesgesundheitsamt die Empfehlung ausgesprochen, bei Bodenbelastungen zwischen 5 und 40 ng an TCDD-Äquivalenten pro kg nur noch eine eingeschränkte landwirt-

schaftliche Nutzung vorzunehmen, d. h. die Verwendung von unterirdischen Pflanzenteilen und von Pflanzen, deren oberirdische Teile dicht am Boden liegen, für die Nahrungsmittelproduktion und als Tierfutter zu unterlassen. Bei höheren Bodenverunreinigungen sollte eine landwirtschaftliche bzw. gärtnerische Nutzung ganz unterbleiben.

Die Aufnahme von belasteten Pflanzen durch Weidetiere führt zu einer Akkumulation der Dioxine im Fettgewebe und in der Milch. In Fütterungsversuchen konnte gezeigt werden, daß bei Rindern eine Bioakkumulation in Milch- und Körperfett von TCDD um den Faktor 3 bis 4 stattfindet. Bei den höher halogenierten PCDD/F liegt die Anreicherung z. T. unter 1 (FRIES, 1987). Aus den Ergebnissen wurde für den Gleichgewichtszustand, d. h. bei andauernder, kontinuierlicher Fütterung, auf eine maximale Anreicherung von TCDD im Fettgewebe um das ca. 25-fache und im Milchfett um das ca. 12-fache gegenüber der Konzentration im Futter geschlossen (GEYER et al., 1987). Unter den realen Bedingungen der Viehhaltung bei Verwendung von Futter unterschiedlicher Herkunft ist demzufolge mit einer Bioakkumulation der PCDD/F maximal um den Faktor 5 in Fettgewebe und Milchfett zu rechnen (FRIES, 1987). Weiter ist dabei zu berücksichtigen, daß der Anteil von mitgerissenen Bodenpartikeln an der Futteraufnahme je nach Intensität der Weidenutzung bis über 10 % des Futtergewichts ausmachen kann, so daß der direkte Übergang von Dioxinen aus dem Boden in das Tier den Anteil aus kontaminierten Pflanzen übersteigen kann. Unter ungünstigen Bedingungen können z. B. mit dem Boden zehnmal mehr PCDD/F aufgenommen werden als mit dem Gras. Schweine und Hühner haben intensiveren Kontakt mit dem Boden und können entsprechend mehr PCDD/F aufnehmen als andere landwirtschaftliche Nutztiere (LILIENBLUM, 1988).

Legt man für eine grobe Abschätzung einen Transferfaktor von 0,01 bis 0,1 (COCUCCI et al., 1979; GEYER et al., 1987; LILIENBLUM, 1988) für den durchschnittlichen Übergang von PCDD/F in Lebensmittel aus landwirtschaftlich bzw. gärtnerisch genutzten Böden zugrunde, so wäre bei einer Belastung durch 5 ng TCDD-Äquivalenten pro kg Boden mit Gehalten von 50–500 pg TCDD-Äquivalenten pro kg in dort erzeugten Lebensmitteln zu rechnen. Bei einem angenommenen Verzehr von 2 kg Lebensmitteln pro Tag wäre damit bei vollständiger Selbstversorgung eine tägliche Aufnahme von ca. 100–1 000 pg TCDD-Äquivalenten pro Person bzw. 1,3–13 pg/kg Körpergewicht denkbar. Diese Werte übersteigen die vorläufig duldbare tägliche Aufnahmemenge von 1 pg/kg Körpergewicht. Zumindest der untere Wert liegt allerdings noch in der Größenordnung, die als derzeitige durchschnittliche tägliche Aufnahmemenge anzusehen ist (vgl. SCHLATTER und POIGER, 1989). Von BECK et al. (1989) wird die tägliche Dioxin-Aufnahme aufgrund von Lebensmittelanalysen und durchschnittlichen Verzehrgehnheiten auf 25 pg TCDD bzw. 90 pg TCDD-Äquivalente für einen Erwachsenen, das heißt 0,35 pg TCDD bzw. 1,3 pg TCDD-Äquivalente pro kg Körpergewicht, geschätzt. Dabei stammt etwa ein Viertel bis ein Drittel (6 pg TCDD bzw. 28 pg TCDD-Äquivalente) aus Milchprodukten (BECK et al., 1989). Insofern ist der vom Bundesge-

sundheitsamt empfohlene Wert von 5 ng TCDD-Äquivalenten pro kg Boden keinesfalls zu hoch angesetzt.

**249.** Zur Beurteilung der Verwendbarkeit von Futtermitteln, die auf Altlasten gezogen worden sind (Ackerfutterbau und Grünlandnutzung), liegen als Höchstwerte entsprechende Zahlenwerte in der Futtermittelverordnung vor.

### 2.6.3.3 Belastung über das Trink- und Brauchwasser

**250.** Es ist davon auszugehen, daß wasserlösliche bzw. mit Wasser mischbare Stoffe, die im Sickerwasser von Altlasten auftreten, am ehesten in das Grundwasser übergehen können. Aber auch schwer wasserlösliche, mit Wasser begrenzt mischbare, ölige oder teerartige Bestandteile tragen unter Umständen zur Verunreinigung des Grundwassers bei und beeinträchtigen eine Nutzung als Trink- oder Brauchwasser.

**251.** Durch umfangreiche Untersuchungen, die in der Bundesrepublik Deutschland und den USA durchgeführt wurden, ist bekannt, welche Stoffe besonders häufig im Grundwasser gefunden werden. Beispielhaft sind in Tabelle 2.20 die Konzentrationsbereiche von Grundwasserkontaminanten aufgeführt, die im Einflußbereich von 250 verschiedenen Abfallablage-

rungsplätzen gemessen wurden (KERNDORFF et al., in Vorbereitung). Auffällig ist die beträchtliche Streubreite der gefundenen Konzentrationen, die auch von anderen Autoren beschrieben wurde (PLUMB, 1985). Obgleich die Häufigkeit eines positiven Nachweises bei vielen Substanzen gering ist, läßt sich grundsätzlich keine Vorhersage darüber machen, welcher Stoff im Einzelfall in relevanten Konzentrationen im Grundwasser vorliegt.

Auch im Bereich verschiedener Altstandorte, wie zum Beispiel ehemaliger Gaswerke, Kokereien, Lack-, Farben- und Lösungsmittelhersteller und zellstoffverarbeitender Betriebe, wurden zahlreiche Stoffe mit unterschiedlicher Häufigkeit im Grundwasser nachgewiesen.

**252.** Wird solchermaßen verunreinigtes Grundwasser über Hausbrunnen in privaten und gewerblichen Nutzgartenanlagen verwendet, so kann ein Eintrag von Schadstoffen durch Gießwasser in die oberen Bodenschichten und eine Kontamination von Nutzpflanzen erfolgen. Auch ist die direkte Trinkwassernutzung aus Hausbrunnen als möglicher Belastungspfad zu berücksichtigen.

**253.** Bei einer Nutzung von Grundwasser für die Trinkwasserversorgung müssen die Höchstwerte der Trinkwasserverordnung eingehalten werden. Auch wenn durch Aufbereitungsmaßnahmen die Bereitstel-

Tabelle 2.20

### Konzentrationen anorganischer und organischer Schadstoffe im Grundwasser im Bereich von Abfallablagerungsplätzen

#### a) anorganische Stoffe

Substanz	Anzahl Ver- suche	davon über NG*	min [µg/l]	Median [µg/l]	max [µg/l]	Grenz-/Richtwerte [µg/l]			tägliche Aufnahme bei 2 l Wasser/d		DTA-Werte der WHO für Erwachsene (mg/70 kg pro Tag)
						TrinkwV	EG-Rl.	WHO-Gl.	min	max (mg/d)	
Arsen	253	172	<NG*	1,3	4 000	40	50	50	0	8,00	0,14
Blei	334	129	<NG	<NG	450	40	50	50	0	0,90	0,5
									Kinder (1 l/d):		Kinder (mg/10 kg)
									0	0,45	0,04
Cad- mium	335	126	<NG	<NG	13 000	5	5	5	0	26,00	0,07
Chrom	279	179	<NG	3,0	5 123	50	50	50	0	10,25	
Cobalt	166	30	<NG	<NG	290				0	0,58	
Kupfer	275	189	<NG	7,0	577		100(R)	1 000	0	1,15	
Nickel	249	187	<NG	13,0	23 168	50	50		0	46,34	
Queck- silber	232	39	<NG	<NG	3	1	1	1	0	0,007	0,050
Selen	112	20	<NG	<NG	14		10	10	0	0,028	
Zink	328	276	<NG	64,5	168 120			5 000	0	336,2	
Fluorid	97	57	<NG	200,0	1 700	1 500	700	1 500	0	3,4	
Nitrat	347	244	<NG	2,5	11 500 000	50 000	50 000	44 300	0	23 000	255
Nitrit	285	107	<NG	<NG	79 000	100	100		0	158	9

\*NG = Nachweisgrenze

TrinkwV = Trinkwasserverordnung

EG-Rl. = EG-Richtlinie 80/778 EWG über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch  
(R): Richtwert-Empfehlung

WHO-Gl. = Guidelines for Drinking-Water Quality der WHO (WHO, 1984)

noch Tabelle 2.20

## b) organische Stoffe

Substanz	Anzahl Ver- suche	davon über BTG*	in v. H.	min [µg/l]	max [µg/l]	Grenz-/Richtwerte [µg/l]			tägliche Aufnahme bei 2 l Wasser/d min-max (mg/d)	kanzero- gene Wir- kung¶
						TrinkwV	EG-RI.	WHO-Gl.		
Tetrachlorethen . . . . .	409	181	44,3	<0,5***	6 504	25+	1(R)	10	0 – 13,008	B
Trichlorethen . . . . .	408	177	43,4	<0,5***	128 000	25+	1(R)	30	0 – 256,000	B
cis-1,2-Dichlorethen . . . . .	220	49	22,3	<4,0*	411 000				0 – 822,000	
trans-1,2-Dichlorethen . . . . .	186	10	5,4	<5,0*	135				0 – 0,270	
Vinylchlorid . . . . .	147	24	16,3	<1,0*	12 000				0 – 24,000	A1
1,1,2,2-Tetrachlorethan . . . . .	132	3	2,3	<1,0*	7				0 – 0,014	B
1,1,1-Trichlorethan . . . . .	324	71	21,9	<0,1*	270	25+	1(R)		0 – 0,540	
1,1,2-Trichlorethan . . . . .	181	11	6,1	<0,5*	190				0 – 0,380	B
1,1-Dichlorethan . . . . .	167	8	4,8	<10*	160				0 – 0,320	
1,2-Dichlorethan . . . . .	52	3	5,8	<5*	210			10	0 – 0,420	B
Tetrachlormethan . . . . .	308	38	12,3	<0,1*	23	3	1(R)	3	0 – 0,046	B
Trichlormethan . . . . .	352	66	18,8	<0,1*	2 800		1(R)	30	0 – 5,600	B
Dichlormethan . . . . .	210	17	8,1	<10*	499 000	25+	1(R)		0 – 998,000	B
Tribrommethan . . . . .	194	5	2,6	<1,0*	6,8				0 – 0,014	
Dibromchlormethan . . . . .	187	1	0,5	<1,0*	1				0 – 0,002	
Benzol . . . . .	166	41	24,7	<1,0*	1 795			10	0 – 3,590	A1
Toluol . . . . .	167	23	13,8	<0,1*	911				0 – 1,822	
m/p-Xylol . . . . .	99	20	20,2	<0,1*	447				0 – 0,894	
o-Xylol . . . . .	167	12	7,2	<0,1*	69				0 – 0,138	
Ethylbenzol . . . . .	164	14	8,5	<0,1*	160				0 – 0,320	
2-Ethyltoluol . . . . .	96	4	4,2	<0,1*	0,97				0 – 0,002	
3-/4-Ethyltoluol . . . . .	95	2	2,1	<0,1*	2,1				0 – 0,004	
Mesitylen . . . . .	96	3	3,1	<0,1*	4				0 – 0,008	
Cumol . . . . .	126	5	4,0	<0,1*	4,7				0 – 0,009	
p-Cymol . . . . .	96	4	4,2	<0,1*	3,5				0 – 0,007	
Chlorbenzol . . . . .	129	12	9,3	<0,1*	388				0 – 0,776	
1,2-Dichlorbenzol . . . . .	126	11	8,7	<0,1**	6,6				0 – 0,0132	
1,4-Dichlorbenzol . . . . .	126	11	8,7	<0,1**	265				0 – 0,5300	
1,3-Dichlorbenzol . . . . .	96	7	7,3	<0,1**	74				0 – 0,1480	
1,2,4-Trichlorbenzol . . . . .	96	2	2,1	<0,1**	0,36				0 – 0,0007	
1,3,5-Trichlorbenzol . . . . .	96	2	2,1	<0,1**	0,14				0 – 0,0003	
1,2,3-Trichlorbenzol . . . . .	96	1	1,0	<0,1**	0,12				0 – 0,0002	
Acenaphthen . . . . .	132	6	4,5	<0,1**	32		0,2	0,01	0 – 0,0640	
Acenaphthylen . . . . .	131	1	0,8	<0,1**	32		0,2	0,01	0 – 0,0640	
Benzo[b]fluoranthen . . . . .	159	5	3,1	<0,1**	0,4		0,2	0,01	0 – 0,0008	A2
Benzo[k]fluoranthen . . . . .	159	5	3,1	<0,1**	0,4		0,2	0,01	0 – 0,0008	
Benzo[a]pyren . . . . .	159	4	2,5	<0,1**	0,29		0,2	0,01	0 – 0,0006	A2
Benzo[ghi]perylen . . . . .	159	4	2,5	<0,1**	0,2		0,2	0,01	0 – 0,0004	
Fluoren . . . . .	132	1	0,8	<0,1**	1,6		0,2	0,01	0 – 0,0032	
Fluoranthen . . . . .	158	9	5,7	<0,1**	59		0,2	0,01	0 – 0,1180	
2-Methylnaphthalin . . . . .	96	2	2,1	<0,1*	0,67		0,2	0,01	0 – 0,0013	
1-Methylnaphthalin . . . . .	96	1	1,0	<0,1*	0,73		0,2	0,01	0 – 0,0015	
Naphthalin . . . . .	132	15	11,4	<0,1*	12,6		0,2	0,01	0 – 0,0252	
Phenanthren . . . . .	132	4	3,0	<0,1**	4,4		0,2	0,01	0 – 0,0088	
Pyren . . . . .	132	1	0,8	<0,1**	0,11		0,2	0,01	0 – 0,0002	
Summe PAH . . . . .						0,2+				

\* BTG = Betrachtungsgrenze

\* Wert kleiner Nachweisgrenze (Nachweisgrenze = Betrachtungsgrenze)

\*\* Wert kleiner Betrachtungsgrenze (bei unterschiedlichen Nachweisgrenzen verschiedener Analyseverfahren)

\*\*\* Wert kleiner Betrachtungsgrenze (Betrachtungsgrenze entspricht der Hintergrundbelastung)

TrinkwV = Trinkwasserverordnung

+ Summenwert

EG-RI. = EG-Richtlinie 80/778 EWG über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch

(R) Richtwert-Empfehlung

WHO-Gl. = Guidelines for Drinking-Water Quality der WHO (WHO, 1984)

¶ Einstufung kanzerogener Stoffe gemäß MAK-Kommission (DFG, 1989):

A1: beim Menschen erfahrungsgemäß krebserzeugend

A2: im Tierversuch eindeutig krebserzeugend

B: begründeter Verdacht auf krebserzeugendes Potential

Quelle: SRU, nach Kerndorff et al., in Vorbereitung

lung von einwandfreiem Trinkwasser aus verunreinigtem Grundwasser möglich ist, hat der Rat im Umweltgutachten 1987 auf die Bedeutung des Grundwasserschutzes hingewiesen und dabei dargelegt, daß dem Schutz der Gewässer, aus denen Rohwasser für die Trinkwassergewinnung entnommen wird, höchste Priorität beizumessen ist (SRU, 1987 a, Tz. 1037). Grundwasser soll daher so wenig belastet sein, daß es für eine Nutzung als Trinkwasser nicht speziell aufbereitet werden muß (SRU, 1987a, Tz. 1040 ff.).

**254.** Bei der Abschätzung der Schadstoffexposition über Trinkwasser kann analog zu dem für kontaminierte Nahrungsmittel (Tz. 240) beschriebenen Vorgehen aus dem durchschnittlichen täglichen Verbrauch von 2 l Trinkwasser für Erwachsene und ca. 1 l pro 10 kg Körpergewicht für Kinder (EPA, 1986; LAGA, 1989) und der Schadstoffkonzentration im Wasser die aufgenommene Menge bzw. Dosis berechnet werden (s. Tab. 2.20).

Sofern DTA-Werte bzw. bei krebserzeugenden Stoffen durchschnittliche Aufnahmemengen durch die Hintergrundbelastung (Referenzwerte) bekannt sind, können die ermittelten Werte damit verglichen werden.

**255.** Kriterien für die Beurteilung von Analysedaten sind in Abschnitt 2.5.2 aufgeführt. Die Höchstwerte von Schadstoffen, die in der Trinkwasserverordnung und der EG-Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (80/778 EWG) enthalten sind, erlauben es, eine Belastung über diesen Pfad sowohl qualitativ als auch quantitativ zumeist gut zu beschreiben. In diesem Zusammenhang ist allerdings darauf hinzuweisen, daß für zahlreiche in Altlasten vorkommende Stoffe Höchstwerte fehlen. Dies gilt beispielsweise auch für aromatische Amine und Nitroverbindungen, die u. a. im Bereich der Rüstungsproduktion vorkommen.

Die von der WHO empfohlenen Orientierungswerte für Trinkwasser (WHO, 1984) sollen ein ästhetisch und hygienisch einwandfreies Trinkwasser gewährleisten, bei dessen Verwendung ein Gesundheitsrisiko ausgeschlossen sein soll. Sofern sie sich an DTA-Werten orientieren, sind die Trinkwasserwerte so festgesetzt, daß bei ihrer Einhaltung durch die Trinkwasserzufuhr nur ein Teil des jeweiligen DTA-Wertes ausgeschöpft wird. Kurzfristige Überschreitungen dieser Werte sind nicht automatisch mit einem Gesundheitsrisiko verbunden, da sie unter der Annahme einer lebenslangen Aufnahme erstellt wurden.

Als Orientierungswerte stehen außerdem Werte zur Verfügung (vgl. Abschn. 2.5.2), die in der Regel nicht toxikologisch begründet sind. Sie sind aus Gründen der Vorsorge oder allgemeinen Hygiene so niedrig angesetzt worden, daß eine Überschreitung im Einzelfall nicht mit einer Gesundheitsgefährdung gleichgesetzt werden kann.

#### Anorganische Stoffe

**256.** Die in der Trinkwasserverordnung genannten Höchstwerte für anorganische Stoffe unterscheiden

sich nicht wesentlich von den Werten der WHO-Richtlinie für Trinkwasser. Bei ihrer Einhaltung ist eine deutliche Unterschreitung der DTA-Werte für Blei, Cadmium, Quecksilber, Arsen und Selen sowie für Nitrat und Nitrit gewährleistet. Damit ist berücksichtigt, daß ein größerer Teil der Gesamtbelastung durch diese Stoffe im allgemeinen über Nahrungsmittel erfolgt.

Wie aus Tabelle 2.20 hervorgeht, können im Grundwasser von Altablagerungen die Trinkwasserhöchstwerte von anorganischen Stoffen teilweise erheblich überschritten sein. Selbst wenn eine Schadstoffaufnahme nur über das Wasser erfolgen würde, wäre in einigen Fällen eine deutliche Überschreitung der DTA-Werte möglich. Bei den genannten Maximalwerten läge die Aufnahme von Nitrat und Nitrit um mehr als den Faktor 100 bzw. 17 höher. Die Aufnahme von Cadmium läge ca. 350-fach, die von Arsen mehr als 50-fach höher. Bei der Aufnahme von Blei wäre im ungünstigsten Fall bei Erwachsenen eine zweifache, bei einem zweijährigen Kind (10 kg Körpergewicht) eine ca. zehnfache Überschreitung der von der WHO empfohlenen Aufnahmemenge denkbar. Lediglich für Quecksilber ergäbe sich in keinem Fall eine Ausschöpfung des entsprechenden DTA-Wertes. Unter Umständen könnte solchermaßen verunreinigtes Grundwasser bei der direkten Verwendung als Trinkwasser akute Vergiftungen auslösen.

#### Organische Stoffe

**257.** Häufig ist das Grundwasser im Einflußbereich von Altlasten durch kurzkettenige aliphatische Halogenkohlenwasserstoffe, durch die aromatischen Verbindungen Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole, ihre chlorierten Derivate sowie durch polycyclische aromatische Verbindungen (PAH) verunreinigt (Tab. 2.20). In der Trinkwasserverordnung sind für einige dieser Stoffe Summengrenzwerte festgelegt, die sich weniger an der Toxizität von Einzelverbindungen orientieren, sondern eher aus allgemein hygienischen Gesichtspunkten abgeleitet wurden.

**258.** Für einzelne Verbindungen liegen toxikologisch begründete Orientierungswerte der WHO vor. Häufig stehen für diese Substanzen aber keine abgesicherten DTA-Werte als Vergleichsmaßstab zur Verfügung; teilweise ist die Extrapolation aus Tierversuchsdaten wissenschaftlich unbefriedigend. Bei vielen dieser Stoffe kann ein kanzerogenes Potential nicht ausgeschlossen werden; Grenzwerte für diese Substanzen wurden von der WHO über die Annahme eines akzeptablen Risikos abgeleitet. Für eine große Anzahl von Einzelverbindungen stehen toxikologisch begründete Grenzwerte allerdings noch aus.

**259.** Die bisherigen Grundwasseranalysen in der Umgebung von Altlasten machen deutlich, daß auch bei den organischen Verbindungen im Einzelfall sehr hohe Überschreitungen der Trinkwassergrenzwerte und der WHO-Empfehlungen vorliegen können. Beispielsweise überschreitet der höchste gemessene Wert von Trichlorethen den Höchstwert der Trinkwasserverordnung von 25 µg/l um den Faktor 5 000. Auch der WHO-Wert von 30 µg/l, der durch lineare Extra-

polation aus Tierversuchsdaten zur kanzerogenen Wirkung abgeleitet und wegen der ungeklärten Frage einer kanzerogenen Eigenschaft beim Menschen als vorläufiger Wert anzusehen ist, wird um die gleiche Größenordnung überschritten.

**260.** Zahlreiche chlororganische Verbindungen stehen im Verdacht, kanzerogene Eigenschaften zu besitzen, was bei einer gesundheitlichen Bewertung im Hinblick auf die Gesamtbevölkerung großes Gewicht hat. Weiter ist grundsätzlich davon auszugehen, daß diese Verbindungen im Boden bzw. im Grundwasser metabolisiert werden können, wobei giftigere Verbindungen wie beispielsweise das kanzerogene Chlorthen (Vinylchlorid) gebildet werden können. Hohe Gehalte an organischen Kohlenwasserstoffen können zudem einen Anstieg pathogener Keime im Grundwasser bewirken. Insofern hält der Rat den in der Trinkwasserverordnung festgelegten Summenhöchstwert für Organohalogenverbindungen auch zur Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen aus Altlasten für anwendbar.

## 2.6.4 Inhalative Aufnahme von Schadstoffen

### 2.6.4.1 Belastung durch staubgebundene Schadstoffe

**261.** Mit der Aufnahme von partikelgebundenen, nicht flüchtigen Schadstoffen ist zu rechnen, wenn größere Flächen einer Altlast nicht mit Vegetation oder einem anderen Belag wie Asphalt bedeckt sind. Häufig fehlt dichter Pflanzenbewuchs auf Halden ehemaliger Hütten, wenn hohe Konzentrationen phytotoxischer Metalle auftreten. Hier kann es zu Verwehungen und damit zur Inhalation von Stäuben durch den Menschen kommen.

**262.** Eine wichtige Rolle für die aufgenommene Menge spielen die Konzentrationen der Schadstoffe im Boden und insbesondere die Größe der Partikel. Biologisch relevant ist vor allem der Feinstaub oder Alveolarstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser der Partikel bis etwa 5 µm. Dieser Staubanteil, der teilweise auch wieder ausgeatmet wird, kann bis in die Lungenbläschen (Alveolen) gelangen. In diesen Partikeln enthaltene Schwermetalle oder auch lipidlösliche organische Stoffe, wie Benzo[a]pyren, werden gut resorbiert. Größere Staubteilchen werden in den oberen Atemwegen (Nase, Rachen und Kehlkopf) abgelagert und können durch Selbstreinigungstätigkeit des Flimmerepithels aus den oberen Luftwegen heraustransportiert werden und in den Magen-Darm-Trakt gelangen.

**263.** Die Resorptionsrate von Metallen aus der lungengängigen Staubfraktion in den Alveolen ist sehr viel größer als die aus verschluckten Partikeln im Magen-Darm-Trakt. Daher sind Messungen des Metallgehalts im lungengängigen Feinstaub und der Staubkonzentration selbst für die toxikologische Risikoabschätzung von besonderer Bedeutung. Der Anteil der auf diesem Weg aufgenommenen Schadstoffe dürfte jedoch gegenüber dem anderer Pfade gering sein, falls die fraglichen Staubarten überwiegend aus größeren Partikeln bestehen (SCHLIPKÖTER und BROCKHAUS, 1988).

**264.** Um eine Abschätzung der Situation zu ermöglichen, können die Immissionswerte der TA Luft zum zulässigen Schwebstaubgehalt und zum Schutz vor Gesundheitsgefahren durch Blei und Cadmium (vgl. Abschn. 2.5.4) sowie hilfsweise die maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte) für Feinstaub und staubgebundene Metalle (DFG, 1989) herangezogen werden.

Unter Ausschöpfung der Immissionswerte der TA Luft für Schwebstaub (IW 1 = 0,15 mg/m<sup>3</sup>) und für Blei (2 µg/m<sup>3</sup>) läßt sich errechnen, daß kontaminierter Staub von Altlasten maximal 13 g Blei pro kg enthalten darf. Geht man vom MAK-Wert für Feinstaub (6 mg/m<sup>3</sup>) und dem MAK-Wert für Blei (0,1 mg/m<sup>3</sup>) aus, läßt sich ein Wert von maximal 17 g Blei pro kg Staub berechnen. Entsprechende Berechnungen ergeben Werte von 0,27 g Cadmium sowie jeweils 17 g Quecksilber und Arsen pro kg Staub.

Nimmt man vereinfachend an, daß die Schwermetallkonzentration im Staub der im Boden gleichzusetzen ist, so wären die Grenzwerte der TA Luft bzw. für den Arbeitsplatz bei Einhaltung der vorgeschlagenen Metallkonzentration im Boden nach Tab. 2.18 für Quecksilber um den Faktor 2 500, für Blei um den Faktor 500, für Cadmium und Arsen ungefähr um den Faktor 30 unterschritten. Sogar bei dieser Berechnung dürfte jedoch die tatsächliche Exposition noch überschätzt werden, da die Schwermetallkonzentrationen im atembaren Staub durch Vermischung mit nicht belastetem Staub vermutlich niedriger ist als im Boden und die Staubgrenzwerte in der Regel nicht erreicht werden.

**265.** Da Staubentwicklung und Staubaufnahme offensichtlich stark von der Nutzung abhängig und nicht zuletzt deshalb schwer abschätzbar sind, lassen sich verallgemeinerbare Aussagen zur Staubbelastung kaum machen. Aus den Beispielen in der Literatur läßt sich entnehmen, daß es im allgemeinen durch Abwehungen von toxischen Stäuben allein nicht zu einer Belastung der Anwohner gekommen ist (EINBRODT et al., 1985).

In Tabelle 2.21 ist die Aufnahme der Schwermetalle Blei, Cadmium, Quecksilber und von Arsen mit dem Schwebstaub bei Ausschöpfung der Metallkonzentrationen im Boden nach Tabelle 2.18 und des Staub-Immissionswertes der TA Luft für spielende Kleinkinder abgeschätzt. Die rechnerisch ermittelten Mengen liegen ca. 1000-fach niedriger als die durch Bodenaufnahme über Hand-zu-Mund-Kontakt von Kleinkindern abgeschätzte Metallzufuhr (vgl. Tab. 2.18). Auch die Berücksichtigung einer höheren Resorptionsrate bei den inhalativ aufgenommenen Metallen ändert an diesen Verhältnissen wenig.

Offenbar reichen Begehen oder normale Freizeitaktivitäten nicht aus, so viel Bodenstaub aufzuwirbeln, daß es zu einer erhöhten inhalativen Aufnahme partikelgebundener Schadstoffe kommt.

**266.** Dagegen sind bei intensiver Nutzung der Fläche, z. B. durch Sport, höhere Belastungen zu erwarten. Schwebstaubmessungen über Sportplätzen mit Belägen aus ehemaligem Haldenmaterial mit Bleikonzentrationen zwischen 1 und 3,7 Gew. % ergaben, daß bei trockenem Wetter nach verschiedenen Spiel-

Tabelle 2.21

**Aufnahme von Schwermetallen mit dem Schwebstaub und mit dem Boden durch Hand-zu-Mund-Kontakt bei Ausschöpfen der Metallkonzentrationen gemäß Tab. 2.18 und des Immissionswertes (IW 1) der TA Luft für Schwebstaub (berechnet für ein 10 kg schweres Kind und unter Annahme vollständiger Verfügbarkeit im Magen-Darm-Trakt bzw. in der Lunge)**

Metall	Metallkonzentration im Boden nach Tab. 2.18 (mg/kg Boden)	A	B	tägliche Aufnahme A + B (ng/Tag)	duldbare tägliche Aufnahme nach WHO für 10 kg schweres Kind (ng/Tag)
		Aufnahme mit dem Schwebstaub TA Luft 0,15 mg/m <sup>3</sup>	Aufnahme mit dem Boden		
		tägliche Aufnahme durch 10 kg schweres Kind: Atemvolumen 5 m <sup>3</sup> /Tag	tägliche Aufnahme durch 10 kg schweres Kind: 1 g Boden/Tag durch Hand-zu-Mund-Kontakt		
		(ng/Tag)	(ng/Tag)		
Blei .....	35	26	35 000	35 026	35 000 *)
Cadmium .....	10	7,5	10 000	10 008	10 000
Quecksilber .....	7	5,3	7 000	7 005	7 000
Arsen .....	20	15	20 000	20 015	20 000

\*) DTA-Wert für Kinder

Quelle: SRU, eigene Berechnungen

und Freizeitaktivitäten toxikologisch bedenkliche Bleigehalte in der Luft auftreten können. Daraus ließ sich eine Belastung berechnen, die auf eine Gefährdung von Fußballspielern hinwies (DRESCH et al., 1976), zumal die verstärkte Atemtätigkeit der Spieler mit einer erhöhten Schadstoffaufnahme verbunden ist.

**267.** Auch bei Sanierungsarbeiten und beim Transport von kontaminiertem Bodenmaterial kann es zu Staubentwicklung und dadurch zu verstärkter Schadstoffaufnahme kommen. Die von den Berufsgenossenschaften erarbeiteten Sicherheitsregeln für Bauarbeiten in kontaminierten Bereichen (BG, 1989) sind zu beachten. Betroffen sind vor allem die mit diesen Arbeiten beschäftigten Personen, unter Umständen aber auch in der Umgebung spielende Kinder, die dann über die Staubbelastung des Bodens exponiert sein können.

#### 2.6.4.2 Belastung durch flüchtige Schadstoffe

**268.** Die Aufnahme flüchtiger Schadstoffe durch Ausgasungen aus dem Boden scheint gegenüber der Inhalation partikelgebundener Schadstoffe eine größere Bedeutung zu besitzen. Sie betrifft vor allem leichtflüchtige organische Stoffe. Eine Anreicherung ist in Innenräumen im Bereich überbauter Altlasten möglich. Insbesondere bei Altablagerungen, wo Methan als Trägergas in größeren Mengen vorhanden sein kann, erscheint eine Belastung von Bewohnern durch flüchtige Verbindungen möglich.

**269.** Vor allem ist die erhöhte Luftbelastung durch flüchtige kanzerogene Stoffe, z. B. Benzol, Epichlor-

hydrin oder Vinylchlorid, von Bedeutung. Für diese Stoffe kann grundsätzlich ein gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung nicht ausgeschlossen werden, da sich keine wissenschaftlich begründbaren unwirksamen Mengen bzw. Konzentrationen festlegen lassen.

**270.** Schwefelhaltige Verbindungen wie Schwefelwasserstoff, Kohlenoxidsulfid, Mercaptane usw. werden schon in niedrigen, toxikologisch bedeutungslosen Konzentrationen leicht wahrgenommen und verursachen dadurch Geruchsbelästigungen. Unter bestimmten Bedingungen, beispielsweise bei gemeinsamer Ablagerung von Rauchgasreinigungsgips und Hausmüll, können Schwefelwasserstoffkonzentrationen im toxischen Wirkungsbereich auftreten (JANSON, 1989).

**271.** Flüchtige Stoffe mit hoher Toxizität stellen unter Umständen bei kriegs- und rüstungsbedingten Altlasten eine besondere Gefahr dar. Eine akute Gefährdung kann beispielsweise entstehen, wenn Behälter von Kampfstoffen oder Reizgasen durchrostet oder anderweitig zerstört werden.

**272.** Bei der Abschätzung der mit der Atemluft aufgenommenen Menge geht man für einen Erwachsenen von einem Atemvolumen von ca. 10 bis 20 m<sup>3</sup>/Tag aus, bei anstrengender körperlicher Arbeit bis zu 30 m<sup>3</sup>/Tag und mehr. Kinder inhalieren aufgrund höherer Bewegungsintensität mehr Schadstoffe mit der Atemluft pro kg Körpergewicht und können daher im Vergleich zu Erwachsenen stärker belastet sein. Die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall empfiehlt, für Berechnungen ein Atemvolumen von 20 m<sup>3</sup>/Tag für Erwachsene und 5 m<sup>3</sup>/Tag für Kleinkinder zugrunde zu legen (LAGA, 1989).

**273.** In jedem Fall ist eine eingehende toxikologische Beurteilung der analytisch erfaßten Immissionen als Grundlage der Beurteilung einer möglichen Gefährdung unerlässlich, wobei auch mögliche Kombinationswirkungen mehrerer Schadstoffe zu berücksichtigen sind. Eine Abschätzung der Immissionskonzentrationen aus Messungen der Bodenluftkonzentrationen mit Hilfe von Verdünnungsfaktoren (BRUCKMANN und MÜLDER, 1982) ist kritisch zu bewerten.

**274.** Für die Bewertung von Schadstoffen in der Atemluft können neben dem Vergleich mit Immissionskonzentrationen in Reinluft- und Stadtluftgebieten vor allem die maximalen Immissionskonzentrationen der VDI-Kommission „Reinhaltung der Luft“ (MIK-Werte, vgl. Abschn. 2.5.4) und hilfswise zur Orientierung der hundertste Teil der maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte, DFG, 1989) herangezogen werden.

Bei den MAK-Werten ist zu berücksichtigen, daß bei ihrer Ableitung eine begrenzte Expositionsdauer von fünfmal 8 Stunden pro Woche für gesunde Erwachsene am Arbeitsplatz zugrunde gelegt wird. Im Gegensatz dazu ist z. B. in Wohngebieten im ungünstigsten Fall mit einer langfristigen Dauerexposition zu rechnen, wobei auch Personengruppen mit möglicherweise höherer Empfindlichkeit, wie Kinder, Alte, Schwangere und Kranke, betroffen sind. Um diesen Faktoren Rechnung zu tragen, schlägt der Rat hilfswise, sofern keine anderen Anhaltspunkte vorliegen, eine Reduktion der MAK-Werte um den Faktor 100 als Bewertungsgrundlage vor. Dieses Vorgehen ist allerdings nur mit erheblichen Vorbehalten anzuwenden, da es die spezifischen Wirkungscharakteristika der einzelnen Stoffe nicht berücksichtigt. Bei Unterschreiten dieser Werte ist jedoch keine Gesundheitsgefährdung zu erwarten.

Für eine Reihe von Stoffen sind vom Europäischen Regionalbüro der WHO „Air Quality Guidelines“ ausgearbeitet worden, die ebenfalls als Orientierungswerte für Luftschadstoffe verwendet werden können (WHO, 1987b).

**275.** Die Abschätzung der individuellen Belastung anhand von Immissionswerten ist wegen der zahlreichen Variablen, wie Aufenthaltsdauer in Innenräumen oder im Freien unter unterschiedlichen Witterungsbedingungen, noch mit erheblichen Unsicherheitsfaktoren behaftet. Im Einzelfall ist daher, wenn konkrete Anhaltspunkte für eine mögliche Gesundheitsgefährdung durch erhöhte Schadstoffkonzentrationen im Boden oder der Atmosphäre vorliegen, eine Messung der Schadstoffbelastung im Organismus bzw. die Bestimmung physiologischer Parameter, die als Indikatoren für eine mögliche Wirkung geeignet sind, geboten (vgl. Tz. 208 ff.).

**276.** Die Abschätzung der Gesundheitsgefährdung anhand von Biomonitoring-Verfahren erfolgt auch hier durch Vergleich mit Meßwerten von Personen, die in nicht spezifisch belasteten Gebieten leben (z. B. EWERS und BROCKHAUS, 1987; SCHLIPKÖTER, 1985); weitere Anhaltspunkte liefern die Grenzwerte aus dem Bereich der Arbeitsmedizin (vgl. Tz. 211).

## 2.6.5 Dermale Aufnahme von Schadstoffen

**277.** Die dermale Aufnahme von Schadstoffen ist bei Altlasten als gering einzuschätzen. Die theoretisch mögliche Aufnahme fettlöslicher Stoffe durch die Haut erfordert sehr hohe Schadstoffkonzentrationen, die bei Altlasten üblicherweise nicht beobachtet werden. Man kann deshalb davon ausgehen, daß dieser Belastungspfad gegenüber der inhalativen und der oralen Aufnahme eine untergeordnete Rolle spielt.

**278.** Denkbar wäre dagegen eine mögliche allergene Wirkung bei Hautkontakt mit entsprechend belasteten Böden (vgl. SCHLIPKÖTER und BROCKHAUS, 1988). Konkrete Anhaltspunkte liegen allerdings nicht vor.

Zu beachten ist, daß bei Sanierungsarbeiten unter Umständen ein intensiver Hautkontakt stattfinden kann. Dieser muß durch geeignete Schutzmaßnahmen verhindert werden (siehe Sicherheitsregeln der Berufsgenossenschaften für Bauarbeiten in kontaminierten Bereichen, BG, 1989).

## 2.6.6 Kombinationswirkungen

**279.** Bei der Vielzahl der im Bereich von Altlasten vorliegenden Stoffe besteht grundsätzlich die Möglichkeit, daß sich die einzelnen Substanzen in ihrer Wirkung gegenseitig beeinflussen (vgl. dazu auch SRU, 1985, Tz. 1159 ff. und SRU, 1987a, Tz. 1672 ff.).

**280.** Dies kann insbesondere dann der Fall sein, wenn gleichzeitig vorhandene Chemikalien gleichgerichtete Wirkungsmechanismen besitzen und damit auf dieselben Organe oder biochemischen Funktionen des Organismus einwirken.

Beispiele hierfür sind die unter anderem als Insektizide eingesetzten Phosphorsäureester, die zu einer Hemmung des Enzyms Acetylcholinesterase führen. Um Vergiftungserscheinungen auszulösen, muß ein bestimmtes Maß der Cholinesterase-Hemmung erreicht sein. Dazu sind bestimmte, für die jeweilige Einzelsubstanz spezifische Mengen erforderlich. Daraus läßt sich ableiten, daß beim gleichzeitigen Auftreten mehrerer Hemmstoffe nur dann eine Vergiftungswirkung zu erwarten ist, wenn die Summe der einzelnen Hemmeffekte die Wirkungsschwelle übersteigt (zur Definition von Wirkungsschwellen siehe SRU, 1987a, Tz. 1622 ff.).

Liegen beispielsweise mehrere Stoffe in Mengen von je 1/1000 des Schwellenwertes vor, wird sich das Wirkpotential entsprechend verstärken. Die Wirkungsschwelle würde jedoch erst dann erreicht, wenn tausend entsprechend wirkende Stoffe in dieser Konzentration vorliegen. Ebenso ist abzuleiten, daß beim Vorliegen eines Stoffes, dessen Menge doppelt so hoch sein müßte, um eine Wirkung hervorzurufen, die Anwesenheit eines weiteren Stoffes in einer Menge, die hundertfach unter dem Schwellenwert liegt, nicht zu einer Wirkung führen kann.

Diese grundsätzlichen Erkenntnisse haben in verschiedenen Regelungen zur Begrenzung von Chemikalien Eingang gefunden. So schreibt der Ausschuß

für Gefahrstoffe vor, daß beim Vorliegen von Stoffgemischen in der Luft am Arbeitsplatz die MAK-Werte der einzelnen Stoffe nur zu solchen Bruchteilen ausgeschöpft werden dürfen, daß die Summe der Ausschöpfquoten den Wert 1 insgesamt nicht übersteigt (TRGS 403, 1989).

**281.** Einige Beispiele zeigen jedoch, daß gelegentlich die Wirkung von Stoffkombinationen stärker zunimmt, als es die Summe der Wirkungen der Einzelsubstanzen erwarten läßt. Tetrachlorkohlenstoff und Alkohol verursachen beide in bestimmten Mengen Leberschäden. Sind diese Stoffe zusammen vorhanden, erhöht sich die leberschädigende Wirkung überadditiv (KLAASSEN, 1986).

Isopropanol in einer Konzentration, in der es allein noch nicht toxisch wirkt, erhöht die Lebertoxizität von Tetrachlorkohlenstoff stark. In solchen Fällen beruht die Wirkungsverstärkung auf einer Hemmung der Entgiftung eines oder mehrerer Stoffe.

Ein weiteres gut untersuchtes Beispiel ist die Verstärkung der Toxizität des insektiziden Wirkstoffes Malathion bei Verunreinigung mit Isomalathion. Die akute Toxizität ( $LD_{50}$ ) von Malathion wird um das sechsfache erhöht (von 12,5 g/kg auf 2 g/kg), wenn Malathion 0,5% Isomalathion enthält (UMETSU et al., 1977). Auch diese Wirkungsverstärkung beruht darauf, daß Isomalathion die Entgiftung des Malathions hemmt (MALIK und SUMMER, 1982). Berichte über Wirkungsverstärkungen liegen auch für n-Hexan und 1-Butanon vor (ALTENKIRCH et al., 1982), während die Toxizität von n-Hexan durch Toluol abgeschwächt wird (TAKEUCHI et al., 1981).

**282.** Beim Auftreten von Stoffgemischen läßt sich die Art einer möglichen Kombinationswirkung schwer vorhersagen, auch wenn bei ähnlichen Chemikalien häufig additive Effekte beobachtet werden. Die aufgeführten experimentell sehr intensiv untersuchten und gut belegten Beispiele zeigen jedoch, daß das Zusammenwirken mehrerer Substanzen nur dann zu Problemen führt, wenn die Einzelstoffe in Konzentrationen vorliegen, die selbst physiologische Veränderungen hervorrufen können. Nach dem vorliegenden Stand sollte es daher nicht zu erkennbaren toxischen Wirkungen kommen, wenn verschiedene Substanzen in Konzentrationen vorhanden sind, die deutlich unterhalb von physiologischen Wirkungsschwellen liegen. Die Situation muß daher im Einzelfall überprüft werden.

### 2.6.7 Zusammenfassung

**283.** Zur Beurteilung der Auswirkungen von Altlasten auf die Gesundheit betroffener Personen ist es notwendig, alle in Betracht kommenden Expositionspfade zu berücksichtigen. Dies sind die orale Aufnahme von kontaminiertem Boden durch Hand-zu-Mund-Kontakt, von belasteten Nahrungsmitteln oder verunreinigtem Trinkwasser, die Inhalation kontaminierter Luft und schließlich der dermale Kontakt mit belastetem Boden oder Wasser.

**284.** Für die toxikologische Abschätzung der Gesundheitsgefährlichkeit einer Exposition ist die aufge-

nommene Schadstoffmenge entscheidend, die sich aus der Konzentration in den kontaminierten Umweltmedien und der Aufnahmemenge dieser Medien, zum Beispiel aus dem Atemvolumen oder bei Nahrungsmitteln aus der durchschnittlichen täglichen Verzehrmenge, ergibt. Die so ermittelte täglich aufgenommene Menge eines Schadstoffs kann mit Orientierungswerten für die gesundheitlich unbedenkliche Tagesdosis, etwa den duldbaren täglichen Aufnahmemengen der Weltgesundheitsorganisation, mit der Grundbelastung der Bevölkerung in unbelasteten Gebieten oder mit der Belastung aus anderen Quellen verglichen werden.

Um eine Beurteilung der möglichen Gesundheitsgefährdung durch die aus Altlasten aufgenommenen Schadstoffe zu erleichtern, hält der Rat es für notwendig, für eine möglichst große Zahl von anorganischen und organischen Stoffen duldbare tägliche Aufnahmemengen zu ermitteln. Fehlende toxikologische Daten müssen erarbeitet werden.

**285.** Die Vielzahl der möglichen anorganischen und organischen Schadstoffe in Altlasten läßt es nicht zu, eine quantitative Beurteilung der toxikologischen Wirkung vorzunehmen. Dem Problem von Kombinationswirkungen kommt dabei eine geringe Bedeutung zu, solange die Mengen der einzelnen Stoffe deutlich unterhalb von Wirkungsschwellen liegen. Das Vorgehen, organische Verbindungen, zum Beispiel polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, in Gruppen zusammenzufassen, ist für eine toxikologische Bewertung nicht geeignet, weil damit Unterschiede im Wirkungsspektrum, in der Verweildauer im Organismus und in der Metabolisierung der einzelnen Stoffe unberücksichtigt bleiben. Weiterhin ist zu beachten, daß es sich bei vielen Stoffen um mutagene und kanzerogene Substanzen handelt, für die sich im Gegensatz zu nicht genotoxischen Substanzen keine unwirksamen Konzentrationen angeben lassen.

**286.** Wenn konkrete Anhaltspunkte für eine längerfristig erhöhte Belastung gegeben sind, ist es erforderlich, durch gezielte Untersuchungen der betroffenen Personen die tatsächliche Belastung zu ermitteln. In solchen Fällen ist die Möglichkeit der direkten Quantifizierung der individuellen Exposition aus der Konzentration repräsentativer Stoffe in Körperflüssigkeiten oder -geweben in Betracht zu ziehen. Besonders hier ist ein Vergleich mit unbelasteten Personen, aber auch die Berücksichtigung anderer Einflußfaktoren, besonders anderer Expositionsquellen als der Altlast, erforderlich. Dabei ist darauf zu achten, daß Parameter wie Aufenthaltsdauer, Spiel- und Freizeitverhalten, Umwelteinflüsse u. ä., welche die Exposition beeinflussen, erfaßt werden. Das Problem der datenschutzrechtlichen Hemmnisse für derartige Untersuchungen spielt auch hier eine Rolle und sollte allgemein im Zusammenhang mit dem Datenschutz bei der epidemiologischen Forschung gelöst werden.

**287.** Bei Kleinkindern ist die direkte Aufnahme von Schadstoffen durch intensiven Hand-zu-Mund-Kontakt vorrangig zu beachten. Angesichts der großen Unsicherheiten bei der Abschätzung der von Kindern aufgenommenen Mengen ist hierbei eher von konservativen Annahmen auszugehen. Der Rat empfiehlt, für die Expositionsabschätzung bis zur Erarbeitung



gesicherter Daten eine Aufnahme von durchschnittlich 1 g Boden pro Tag für Kinder im Vorschulalter zugrundelegen.

**288.** Aus der landwirtschaftlichen und gewerblichen oder privaten gärtnerischen Nutzung von Böden, die mit Schadstoffen aus Altlasten verunreinigt sind, resultiert die Möglichkeit eines Übergangs dieser Stoffe in pflanzliche Nahrungsmittel und Futterpflanzen und damit in tierische Nahrungsmittel. Zur Quantifizierung des Übergangs, insbesondere von organischen Stoffen, aus Böden in Pflanzen, Tiere und Mensch besteht großer Forschungsbedarf.

Bei der Nutzung des Geländes einer Altlast als Weideland ist bei der Festlegung von Werten für die Beurteilung der Bodenkontamination die zusätzliche Belastung der Tiere durch direkte Bodenaufnahme zu berücksichtigen. Gegebenenfalls ist durch Nutzungsbeschränkungen, Anbau- und Düngeempfehlungen dafür zu sorgen, daß keine Gefährdung durch Kontamination von pflanzlichen oder tierischen Nahrungsmitteln auftritt. Hier ist auch an Obst und Gemüse zu denken, das im eigenen Garten gezogen und nicht durch die Lebensmittel-Überwachung kontrolliert wird.

**289.** Der Rat hält es für dringend erforderlich, ein Konzept zur Festlegung von Werten für die Beurteilung der Bodenbelastung für unterschiedliche Nutzungen zu entwickeln, das vor allem auf toxikologischen Erkenntnissen, wie duldbaren täglichen Aufnahmemengen, beruht. Für Wohngebiete sollte der Hand-zu-Mund-Kontakt spielender Kinder als Kriterium im Vordergrund stehen, in landwirtschaftlich ge-

nutzten Gebieten die Aufnahme und Akkumulation in Pflanzen und Nutztieren.

**290.** Ein besonderes Problem stellt die häufig beobachtete Belastung des Grundwassers durch Altlasten dar. Hier besteht die Möglichkeit der Schadstoffaufnahme bei der Verwendung als Trinkwasser aus privaten Brunnen. Für die öffentliche Trinkwasserversorgung ist zu beachten, daß nicht alle altlastspezifischen Stoffe durch die Routineanalysen erfaßt werden. Deshalb muß gezielt nach den für die jeweilige Altlast spezifischen Stoffen gesucht werden.

Auch die Nutzung von verunreinigtem Grund- und Oberflächenwasser als Brauchwasser im Gartenbau und in der Landwirtschaft kann zur Kontamination von Nahrungsmitteln führen und ist daher in die Expositionsabschätzung mit einzubeziehen.

**291.** Eine erhöhte Aufnahme flüchtiger Verbindungen ist bei überbauten Altlasten dann von Bedeutung, wenn sich gasförmige Schadstoffe in geschlossenen Räumen anreichern können. Die inhalative Aufnahme von partikelgebundenen Schadstoffen aus der lungengängigen Staubfraktion ist besonders bei Tätigkeiten mit hoher Staubbefreiung zu beachten, wie sie mit sportlichen Aktivitäten oder Sanierungsmaßnahmen verbunden sein können.

Die dermale Aufnahme von Schadstoffen aus Altlasten spielt gegenüber der oralen und inhalativen Aufnahme eine untergeordnete Rolle. Denkbar wäre dagegen eine mögliche allergene Wirkung bei Hautkontakt mit entsprechend belasteten Böden oder Wässern.

### 3 Erfassung und Gefährdungsabschätzung von altlastverdächtigen Flächen

#### 3.1 Zum Vorgehen beim Umgang mit altlastverdächtigen Flächen und Altlasten

**292.** In der Bundesrepublik gibt es kein einheitliches Vorgehen im Umgang mit einer altlastverdächtigen Fläche. Die verschiedenen vorhandenen Konzepte umfassen im allgemeinen mehrere aufeinanderfolgende Bearbeitungsphasen. Diese lassen sich in der Regel in drei Hauptphasen gliedern (Abb. 3.1):

- Erfassung
- Gefährdungsabschätzung
- Sanierung und Überwachung.

Die erste Phase, die Erfassung (Kap. 3.2), beinhaltet die Lokalisierung einer altlastverdächtigen Fläche. Darüber hinaus werden alle über sie verfügbaren oder durch ergänzende Ermittlungen erhaltenen Informationen gesammelt.

In der zweiten Phase wird die Verdachtsfläche einer Gefährdungsabschätzung (Kap. 3.3) unterzogen. Im Rahmen der Erstbewertung werden die bei der Erfassung erhobenen Informationen bewertet. Unter günstigen Umständen ist es schon in dieser Phase möglich zu erkennen, ob eine Gefährdung für den Menschen und die belebte und unbelebte Umwelt gegenwärtig und für die Zukunft mit hinreichender Sicherheit auszuschließen ist. Ein solcher Fall kann von der weiteren Bearbeitung ausgenommen werden. Desgleichen kann bereits in diesem Bearbeitungsstadium eine Gefährdung erkannt und eine Verdachtsfläche als Altlast eingestuft werden. In sehr vielen Fällen reichen die vorhandenen Unterlagen und Erkenntnisse aber für eine eindeutige Aussage nicht aus, so daß Untersuchungen vorgenommen werden müssen, um die fehlenden erforderlichen Daten zu beschaffen. Durch diese orientierenden Untersuchungen soll ein Kenntnisstand erreicht werden, der eine gesicherte Bewertung erlaubt und es gestattet festzustellen, ob eine Altlast vorliegt oder der Altlastverdacht ausgeräumt werden kann. Gelingt dies nicht und besteht der Altlastverdacht auch weiterhin fort, muß die altlastverdächtige Fläche beobachtet oder überwacht werden. Bei einer erkannten Altlast werden detaillierte Untersuchungen zur abschließenden Feststellung von Art und Ausmaß der Gefährdung durchgeführt. In der nachfolgenden Bewertung muß die Entscheidung über Überwachungs- oder Sanierungsmaßnahmen getroffen werden.

In jeder Bewertungsphase ist ferner die Notwendigkeit von Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen zu prüfen. Da die beschriebene Vorgehensweise parallel bei einer großen Zahl altlastverdächtiger Flächen angewendet wird, muß ebenfalls in jeder Bewertungsphase über die Prioritätensetzung für die weitere Bearbeitung entschieden werden.

Die dritte Phase umfaßt die Schritte der Planung, Durchführung und Erfolgskontrolle der Sanierung so-

wie gegebenenfalls die Überwachung des sanierten Objekts (Kap. 4). Zu dieser Phase gehören auch die Beobachtung und Überwachung einer weiterhin als altlastverdächtig anzusehenden Fläche.

Die genannten Bearbeitungsphasen sind in Abbildung 3.1 in Form eines Struktogramms dargestellt. Ähnliche Struktogramme sind unter anderem von FEHLAU (1986), FRANZIUS (1986), der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA, 1989) und ZESCHMANN (1987) aufgestellt worden.

**293.** Die Vielzahl der erforderlichen und voneinander abhängigen Schritte verlangt ein systematisches Vorgehen. BECKER (1986) empfiehlt, die Schritte, die bis zu einer Altlastensanierung führen können, als Elemente eines Entscheidungs- und Handlungsprozesses zu beschreiben. Der Programmablauf der einzelnen Phasen wird hierbei durch die Schachtelung von Programmkonstrukten gebildet, die wiederum aus einem Steuerungsteil und einem oder mehreren Verarbeitungsteilen bestehen, wie sie in DIN 66 262 beschrieben sind.

Der Vorschlag von BECKER (1986) ist von der Hessischen Landesanstalt für Umwelt (HLfU) in einem Ablaufschema für die Bearbeitung von Altablagerungen umgesetzt worden (HLfU, 1987 a und b). Abbildung 3.2 zeigt einen Auszug. Aber auch andere Bundesländer und Autoren, wie zum Beispiel KINNER et al. (1986), LWA (1989) und PLASSMANN (1987) wenden Programmkonstrukte zur Bildung von Programmabläufen an.

**294.** Während Struktogramme sich anbieten, die funktionalen Abhängigkeiten komplexer Abläufe zusammenfassend zu veranschaulichen, erscheint dem Rat für die unmittelbare Bearbeitung der Aufgaben im Bereich Erfassen, Untersuchen, Bewerten und Sanieren von Altablagerungen und Altstandorten die mit Programmkonstrukten aufgebaute Darstellung als logische Folge von Arbeits- und Bewertungsschritten besonders nützlich, da sie jeder speziellen Anwendung und individuellen Situation angepaßt werden kann. Der Rat empfiehlt den zuständigen Arbeitskreisen zu prüfen, ob dieses arbeitstechnische Hilfsmittel auch bei dem derzeitigen Stand der Bearbeitung von Altablagerungen und Altstandorten für einen bundes-einheitlichen Vorschlag geeignet ist.

Der Rat verkennt in diesem Zusammenhang nicht, daß der Entscheidungs- und Handlungsprozeß unter anderem noch durch die Faktoren

- Individualität der Altablagerungen und Altstandorte,
- Praktikabilität der einzelnen Maßnahmen,
- Effizienz der Maßnahmen,
- Finanzierbarkeit der Maßnahmen

Abbildung 3.1

Vereinfachtes Ablaufschema des Umgangs mit altlastverdächtigen Flächen und Altlasten

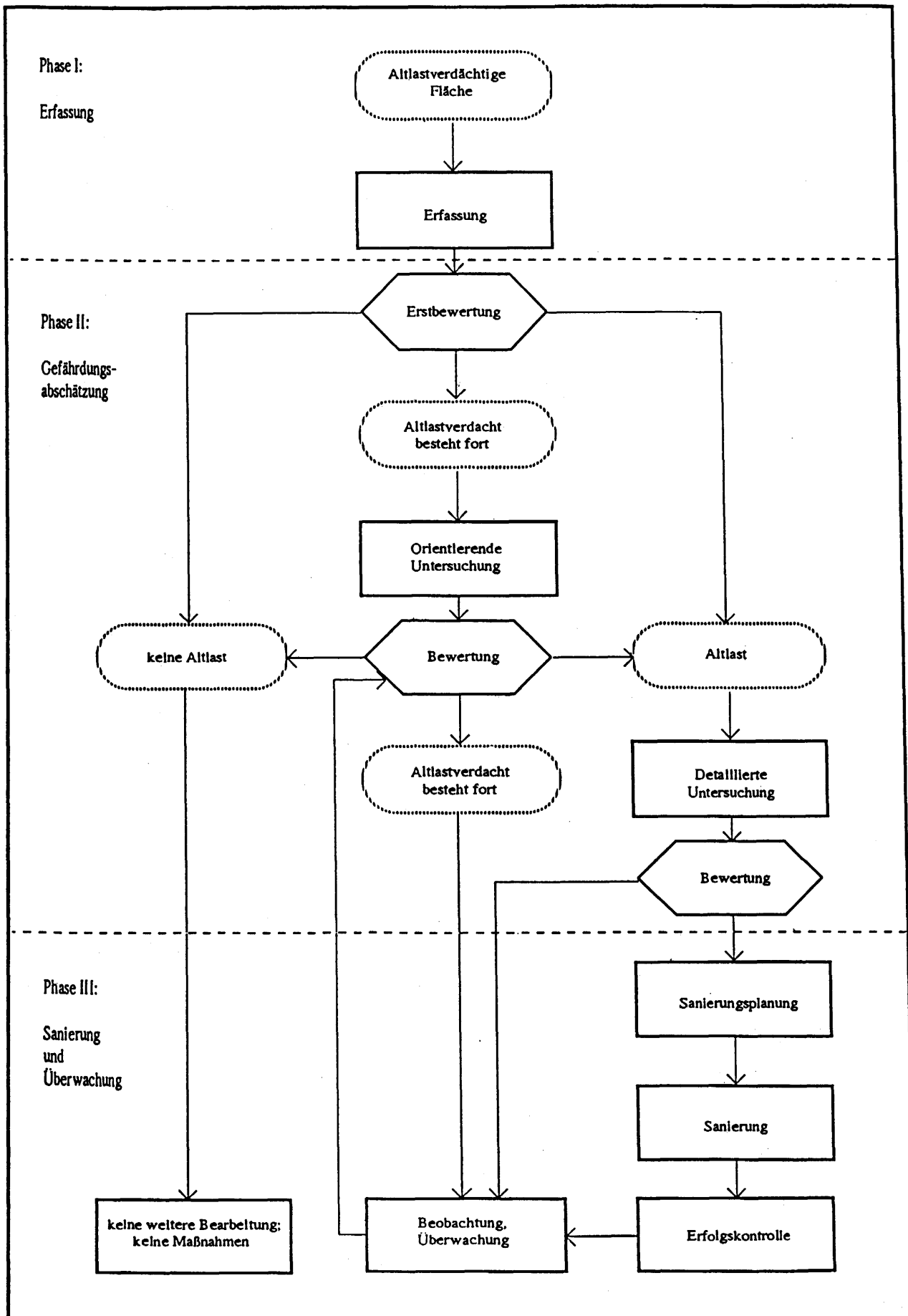
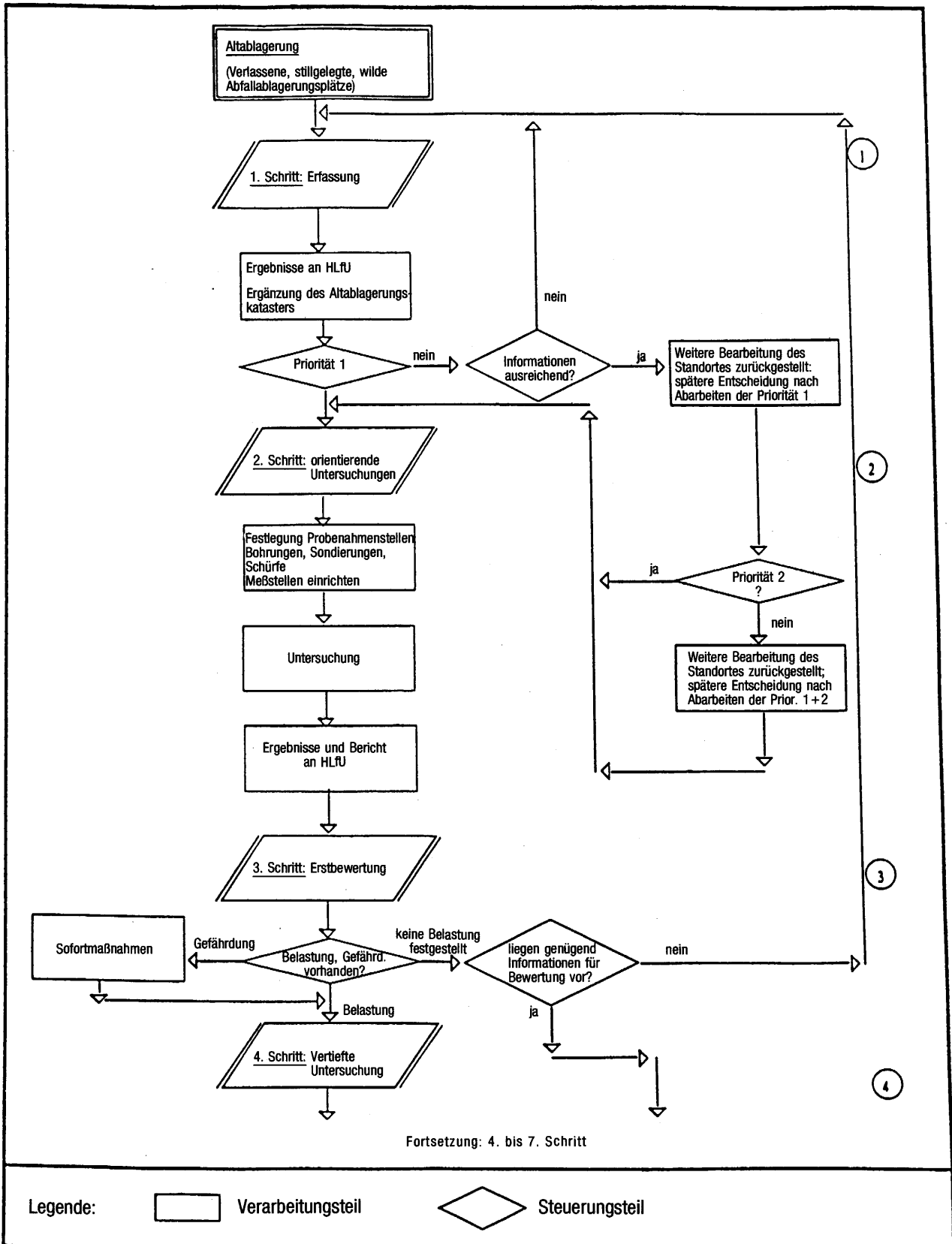


Abbildung 3.2

**Ablaufschema für die Bearbeitung von Altablagerungen  
(Auszug)**



Quelle: HLFU, 1987 a und b, verändert

beeinflußt wird. Es kann sich deshalb bei einer solchen strukturierten Programmierung nur um generalisierte Merkpostenstrukturen handeln.

**295.** Eine Auswertung der in der Literatur beschriebenen Bearbeitungsschritte bei dem vorzunehmenden Entscheidungs- und Handlungsprozeß ergibt eine weitgehende Übereinstimmung der Ansätze beim stufenweisen Vorgehen im Umgang mit Altablagerungen, Altstandorten und Altlasten in der Bundesrepublik, wie die Zusammenstellung in Tabelle 3.1 erkennen läßt. Die teilweise unterschiedlichen Benennungen oder Detaillierungen indizieren nicht zugleich auch unterschiedliche sachliche Inhalte, wenngleich

diese, vor allem bei den Untersuchungs- und Bewertungsschritten, durchaus bestehen (vgl. Abschn. 3.3.3.2).

**3.2 Erfassung**

**3.2.1 Einführung**

**296.** Die Existenz von Altablagerungen und in geringerem Maße auch von Altstandorten wurde in der Vergangenheit häufig erst durch Zufall entdeckt. Eine besondere Bedeutung hatten dabei Erdbewegungen im Rahmen von Bauvorhaben, bei denen die abgelag-

Tabelle 3.1

**Beispiele der Arbeitsschritte zur Erfassung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Altablagerungen und Altstandorten**

SCHULD	Min. f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten Schleswig-Holstein (MELF SH)	Min. f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten Nordrhein-Westfalen (MELF NW)	Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU)	Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft (NLW)	FEHLAU	ZESCHMANN	Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg (UM BW)	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)
1983	1984	1985	1987 a, b	1987	1987	1987	1988 a	1989
Suchen und Finden	Ermittlung	Erfassung	Erfassung (mit Prioritätensetzung)	Ermittlung	Erfassung	Erfassen	Historische Erkundung	Erfassung
Voruntersuchung Detailuntersuchung	Gefährdungsabschätzung Bewertung/ Prioritätensetzung Untersuchung mit Bewertung und Entscheidung über Maßnahmen	Gefährdungsabschätzung Erstbewertung Untersuchung • Voruntersuchung • Hauptuntersuchung Beurteilung	orientierende Untersuchung Erstbewertung/ Beurteilung Überwachung/ vertiefte Untersuchung Bewertung/ Gefährdungsabschätzung	Erstbewertung/ Prioritätenbildung Untersuchung/ Gefährdungsabschätzung Entscheidung	Gefährdungsabschätzung Erfassungsbewertung Orientierungsphase Detailphase	Beurteilen Erstabschätzung Untersuchen Relative Bewertung Risiko-einschätzung	Bewertung orientierende Erkundung Bewertung nähere Erkundung Bewertung ein-gehende Erkundung Bewertung	Erfassungsbeurteilung Orientierungsuntersuchung und Gefahrenbeurteilung weitere Untersuchung und/oder Gefahrenbeurteilung
Vorbereitung der Sanierung Sanierung Überwachung	Beherrschen bzw. Sanieren der Altlast Beobachten	Überwachung oder Sanierung Überwachung	Sanierung Überwachen bzw. Erfolgskontrolle	Gefahrenabwehr oder Überwachung Erfolgskontrolle	Sanierungsuntersuchung Sicherung, Sanierung Überwachung	Beseitigen Überwachen, Beobachten od. Sichern, Sanieren Überwachen, Beobachten	Durchprüfung von Möglichkeiten zur Gefahrenminderung	Sanierungsuntersuchung Sicherung, Sanierung Erfolgskontrolle, Überwachung

Quelle: SRU, eigene Zusammenstellung

gerten Stoffe selbst oder die von ihnen ausgehenden Bodenverunreinigungen freigelegt wurden. Auch bei plötzlichem Auftreten von Umweltbelastungen oder -schäden, zum Beispiel bei Verunreinigungen des Grund- und Oberflächenwassers, wurden nicht selten Altlasten als Ursachen nachträglich festgestellt.

Inzwischen sind in den einzelnen Bundesländern umfassende Programme entwickelt worden, um den Gefahren durch Altlasten zu begegnen und gezielte Maßnahmen gegen die von ihnen ausgehenden Umweltbeeinträchtigungen zu treffen. Als erster und grundlegender Arbeitsschritt wird dabei allgemein die systematische, flächendeckende Erfassung aller altlastverdächtigen Flächen vorausgesetzt. Diese Erfassung kann wesentlich dazu beitragen, potentielle Ursachen für Belastungen und Schädigungen der Umwelt zu erkennen, Umweltbeeinträchtigungen vorzubeugen und dort, wo sie bereits eingetreten sind, frühzeitig zu begrenzen und zu beseitigen.

Schon die Kenntnis des Standortes einer Altablagerung oder eines ehemaligen Industriebetriebes stellt eine wichtige Entscheidungshilfe hinsichtlich einer späteren Planung und Nutzung dieser Flächen dar. Sie kann dazu dienen, kostspielige Planungsfehler zu vermeiden, die zum Beispiel ein Projekt erheblich verzögern oder einen hohen, unvorhergesehenen Zusatzaufwand für nachträgliche Sanierungsmaßnahmen bedingen würden.

**297.** In Übereinstimmung mit FEHLAU (1989 a) sieht der Rat die Ziele der Erfassung darin,

- die altlastverdächtigen Altablagerungen und Altstandorte nach Lage und räumlicher Ausdehnung zu ermitteln und exakt in Karten und Beschreibungen darzustellen (Lokalisierung),
- für jeden einzelnen Fall die bei Verwaltungsstellen, Betreibern oder anderswo vorhandenen Kenntnisse und Aufzeichnungen zusammenzuführen, aufzubereiten und zu dokumentieren (Materialsammlung),
- die Materialsammlung im Fortgang der Gefährdungsabschätzung und gegebenenfalls der Überwachung oder Sanierung sowie bei Nacherhebungen regelmäßig zu ergänzen (Fortschreibung) und
- die Erfassungsunterlagen auf Dauer für alle Planungen und Vorhaben, die von Altablagerungen oder Altstandorten berührt sein können, zu sichern und bereitzuhalten (Führung eines Katasters).

**298.** Die so bereitgestellten Informationen über die Gesamtheit der erfaßten altlastverdächtigen Flächen sowie die einzelnen Altablagerungen und Altstandorte bilden eine unverzichtbare Entscheidungshilfe für ein rationelles und wirksames Vorgehen bei der Bewältigung des Altlastenproblems. Von ihnen hängt zum einen ab, wie – angesichts der begrenzten finanziellen und personellen Möglichkeiten sowie der Dringlichkeit eines Einschreitens – unter Gefährdungsaspekten eine Auswahl der zunächst anzugehenden Verdachtsflächen getroffen und die Reihenfolge ihrer Bearbeitung bestimmt wird. Zum anderen sind diese Informationen für die Entscheidung maß-

geblich, welche Maßnahmen und Verfahren auf Dauer und gegebenenfalls vorübergehend geeignet sind, Gefährdungen auszuschließen.

Insbesondere können die gesammelten Informationen dazu dienen,

- Grundlagen für die Planung weiterer Maßnahmen zu schaffen,
- die Bereitstellung und Aufteilung von Haushaltsmitteln zu planen,
- die Eigentumsverhältnisse und die Verantwortlichkeit zu klären,
- Anforderungen an den Arbeitsschutz oder sonstige Sicherungen zu ermitteln,
- Staat und Kommunen, betroffene Bürger und die Allgemeinheit zu unterrichten, soweit es aus datenschutzrechtlichen Gründen zulässig ist.

#### Vorgehensweise

**299.** Die erste Stufe der Erfassung, die auch als Informationssammlung, Erhebung oder als sogenannte historische Erhebung (UM BW, 1988 a) bezeichnet wird, soll zunächst der Feststellung dienen, ob und wo überhaupt Altablagerungen oder Altstandorte existieren, also zur Entdeckung bislang unbekannter altlastverdächtiger Flächen führen. Für diese sowie bereits ermittelte Altablagerungen und stillgelegte Betriebsstätten sind dann auf der Grundlage der verfügbaren Informationsquellen Einzelheiten zum Standort, zum Zeitpunkt der Ablagerung und der kritischen Nutzung, zum Stoffinventar, zu den Umgebungsbedingungen und zum Auftreten von besonderen Vorkommnissen zu ermitteln

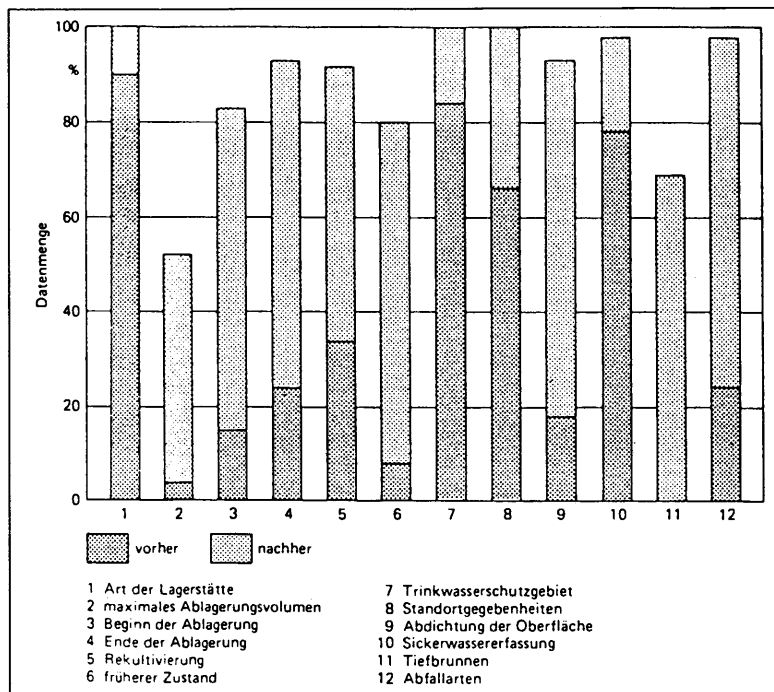
Im Auftrag des Hessischen Umweltministers führten ELLENDT und SABROWSKI (1987) Datenerhebungen für 250 ausgewählte Altablagerungen und Altstandorte durch. Dabei konnten sie die in Abbildung 3.3 dargestellte Verbesserung des Datenbestandes erzielen.

Die Kosten dieser Erhebungen betragen pro Verdachtsfläche etwa 3 bis 5 % der Gesamtkosten einer Standortuntersuchung, die Bohrungen, Sondierungen, Gas- und Bodenprobenahmen und chemische Analysen einschließen.

**300.** Sofern die im Rahmen der Erhebungen verfügbaren Informationen nicht ausreichen, um den Gefahrenverdacht einer Altablagerung oder eines Altstandortes dahin gehend zu beurteilen, ob und welche Untersuchungen weiterhin notwendig sind und welche Fälle gegebenenfalls von weiteren Untersuchungen ausgenommen werden können, sind ergänzende Ermittlungen anzustellen. In der Regel handelt es sich dabei um Beobachtungen und Wahrnehmungen vor Ort, die ohne Verwendung nennenswerter technischer Hilfsmittel zusätzliche, meist qualitative Aussagen zur Charakterisierung der Verdachtsflächen ermöglichen. Diesbezüglich unterscheiden sie sich von den in Abschnitt 3.3.1 behandelten Untersuchungsverfahren, die einen entsprechenden apparativen, personellen und zeitlichen Aufwand erfordern.

Abbildung 3.3

## Datenbestand vor und nach Erhebungen



Quelle: ELLENDT und SABROWSKI, 1987

**301.** Die Ermittlungsergebnisse müssen für jede altlastverdächtige Fläche in Katastern, am besten in einheitlicher, EDV-gerechter Form zusammengestellt werden. Diese Form muß einerseits die Fortschreibung der Materialsammlung ermöglichen, andererseits zunächst die Flächenbeschreibungen und darüber hinaus als Ziel sämtliche Informationen aufnehmen können, die zur Beurteilung einer potentiellen Gefährdung von Schutzgütern benötigt werden.

### 3.2.2 Informationssammlung

**302.** Um eine weitgehend vollständige Erfassung aller altlastverdächtigen Flächen zu gewährleisten, sind systematische, flächendeckende Vorgehensweisen notwendig, mit denen sich gezielt auch bislang unbekannte Altablagerungen und Altstandorte aufspüren lassen. Grundsätzlich werden dabei zwei Verfahren eingesetzt, die sich gegenseitig ergänzen, nämlich ein deduktives und ein heuristisches Verfahren.

**303.** Das deduktive Verfahren basiert auf den bisher gesammelten Erfahrungen und Erkenntnissen auf dem Altlastsektor und den allgemein bekannten Zusammenhängen zwischen Produktionsverfahren und Ablagerungspraktiken einerseits und den darauf zurückzuführenden Altstandorten und Altablagerungen mit den dort auftretenden Schadstoffen andererseits.

**304.** Als altlastverdächtig sind neben ehemaligen Betriebsstätten, Leitungs- und Kanalsystemen, auf und in denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist, sowie ehemaligen Deponiestand-

orten selbst vor allem solche Plätze einzuordnen, an denen bevorzugt Abfälle unkontrolliert abgelagert worden sind, wie Ton-, Kies-, Sand- und Lehmgruben, Steinbrüche, Senken, Mulden, Niederungen, Brachflächen, Hohlwege und Bombentrichter.

**305.** Auf solche Ablagerungsplätze („Müllkippen“) sind auch Industrie- und Gewerbeabfälle aus Betrieben der Umgebung gebracht worden, soweit sie nicht auf dem Betriebsgelände selbst gelagert oder vergraben worden sind. Aus der Art der Betriebe und der dort eingesetzten Arbeits- und Herstellungsverfahren kann man darauf schließen, ob und gegebenenfalls welche Schadstoffe in den Altablagerungen und am Standort dieser Betriebe zu erwarten sind. Wertvolle Hinweise ergeben sich dabei aus Zuordnungen von mengenmäßig bedeutenden und verbreitet gehandhabten umweltrelevanten Stoffen zu Wirtschaftszweigen (KINNER et al., 1986; LAGA, 1989) und Dienstleistungsbereichen (NICLAUSS et al., 1989) (vgl. zu beiden Kap. 2.2). Neben diesen Zusammenstellungen sind auch eine Matrix Wirtschaftszweige – Abfallstoffe, die eine Übersicht über die in verschiedenen Industriebranchen produktionsbedingt anfallenden Abfallarten bietet (UM BW, 1988 a), sowie Verzeichnisse von Abfallgruppen bzw. Abfallarten und für sie charakteristische Inhaltsstoffe (IWS und TGU, 1988; MELF NW, 1985) erstellt worden. Solche Auflistungen geben Hinweise auf branchentypische Abfälle und Schadstoffe und dienen als Handlungsanleitungen (LAGA, 1989; Landesarbeitsgruppe Altablagerungen NLW/NLFB, 1988; MELF NW, 1985; UM BW, 1988 a). BACHMANN (1987) berichtet in diesem Zusammenhang über die Anwendung der von KINNER et al.

(1986) entwickelten Methodik und der Matrix Wirtschaftszweige — Stoffe an 10 Altstandorten in Berlin und an 22 in Nordrhein-Westfalen, die die Akzeptanz und Notwendigkeit einer solchen Handlungsanleitung aufzeigen. Der Rat empfiehlt, auch für den Bereich der ehemaligen Rüstungsproduktion eine entsprechende Stoffmatrix zu erstellen.

**306.** Die sich aus den zuvor genannten Handlungsanleitungen ergebenden Hinweise auf das stoffspezifische Gefährdungspotential gestatten in Verbindung mit gegebenenfalls vorliegenden Angaben über die geologischen und hydrologischen Standortverhältnisse bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt der Erfassung erste Schlüsse hinsichtlich der Art und des Umfangs möglicher Beeinträchtigungen. Weiterhin ermöglichen die gewonnenen Hinweise, die Notwendigkeit weitergehender Untersuchungen oder unmittelbar einzuleitender Schutzmaßnahmen zu erkennen und auf die Zulässigkeit bestehender oder geplanter Nutzungen der altlastverdächtigen Flächen und ihrer Umgebung zu schließen. Wie wichtig solche Erkenntnisse im Stadium der ersten Stufe der Erfassung sein können, wird an einigen Fällen deutlich, in denen ohne ausreichende Prüfungen Wohngebäude auf dem Betriebsgelände einer stillgelegten Kokerei (Benzolrückstände) und einer ehemaligen Metallhütte (Schwermetallkontaminationen) errichtet worden sind. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse einer sorgfältigen Erfassung kann bei einer derartigen Konstellation sichergestellt werden, daß altlastverdächtige Flächen nicht in einer Weise genutzt werden, in der eine Beeinträchtigung der Schutzgüter und insbesondere der menschlichen Gesundheit zu befürchten ist. In beiden hier angeführten Beispielen handelte es sich um Schadstoffe, die mit hoher Wahrscheinlichkeit an diesen Standorten zu erwarten waren.

**307.** Wenn ein deduktives Verfahren nicht möglich ist, weil entsprechende Anhaltspunkte für potentielle Altlasten nicht vorliegen, muß nach einem heuristischen Verfahren vorgegangen werden. Das bedeutet, daß das jeweils betrachtete Gebiet, zum Beispiel Gemeinde, Kreis oder Land, flächendeckend zu untersuchen ist. Anzeichen für Altablagerungen oder Altstandorte ergeben sich anhand von Karten und Luftbildern und durch Geländebegehungen. Solche Anzeichen können beispielsweise untypische Bodenformen, wie Erhebungen, Mulden, Abbrüche, aber auch Vegetationsschäden, Geruchswahrnehmungen, Wasserverunreinigungen sowie Reste von Bauwerken sein.

Zur Ermittlung von altlastverdächtigen Flächen können verschiedene Informationsquellen herangezogen werden. Im wesentlichen sind hier zu nennen (vgl. MELF NW, 1985; UM BW, 1988 a):

- Karten und Pläne
- Luftaufnahmen
- behördliche Akten
- betriebliche Unterlagen
- alte Adreßbücher und Branchenverzeichnisse
- öffentliche und private Archive der Kammern, Kommunen, Verbände, Firmen und Zeitungen

— Befragungen aktiver und ehemaliger Mitarbeiter von Behörden, Firmen und sonstigen Institutionen, der Anwohner oder der Öffentlichkeit.

**308.** Die Vielzahl der hier genannten Informationsquellen dient nicht nur der Entdeckung von Altablagerungen und anderen altlastverdächtigen Flächen, sie kann auch herangezogen werden, um die darin möglicherweise vorkommenden Schadstoffe hinsichtlich Art und ungefährer Lage und Menge näher zu identifizieren. Von besonderer Bedeutung ist dabei die zeitliche und räumliche Zuordnung von Ausbaustufen und Betriebsphasen in der Vergangenheit. Läßt sich beispielsweise für eine Altablagerung rekonstruieren, wann in den verschiedenen Bereichen der Deponie Abfälle eingebracht worden sind, kann auf deren Lage innerhalb des Deponiekörpers geschlossen werden. Die Art dieser Abfälle und die darin enthaltenen Schadstoffe sind häufig anzugeben, wenn gleichzeitig Informationen über die damaligen Anlieferer und Verursacher verfügbar sind oder zumindest berechnete Vermutungen darüber bestehen. Aus der Nutzungsdauer bestimmter Deponieabschnitte können sich Anhaltspunkte über die in einzelnen Zeiträumen abgelagerten Mengen ergeben.

**309.** Neben direkten Angaben in Akten und Dokumenten bieten auch gezielte Auswertungen vorhandener Luftbilder zusätzliche Möglichkeiten, die zeitliche und räumliche Entwicklung von Altablagerungen und Altstandorten und ihre Einbindung in die Umgebung zu erfassen und zu beurteilen (vgl. MELF NW, 1985; MURL NW, 1987). Bei entsprechend großen Maßstäben kann teilweise aus im Luftbild sichtbaren Indizien, zum Beispiel Fässern, Fahrzeugwracks oder Bauschuttbrocken, bei Altablagerungen auf die Art des Inhalts geschlossen werden. Die stereoskopische Auswertung von entsprechend geeigneten Luftbildern erlaubt es zudem, relative Höhenunterschiede zu messen und, wenn mehrere Befliegungen in früheren Jahren durchgeführt worden sind, auch die verfüllten Volumina abzuschätzen. Rückschlüsse auf mögliche Abfallarten sind für erfahrene Luftbildinterpreten auch aus objektspezifischen Parametern, wie Reflexionsverhalten, Böschungsmorphologie, Struktur und Textur der Altablagerung, zu ziehen (HUBER und VOLK, 1986). Über neuere praktische Erfahrungen berichtet DODT (1989).

**310.** Die Auswertung von Kartenmaterial, insbesondere von topographischen Karten, historischen Stadtplänen und Katasterblättern bietet zum Teil ähnliche Möglichkeiten zur Auffindung von altlastverdächtigen Flächen wie die Luftbildanalyse. Vor allem für Altablagerungen und Altstandorte, deren Entstehung weiter zurückliegt, bilden sie oft die einzige Unterlage für eine geographische Zuordnung oder zumindest eine Ergänzung vorliegender Luftbilder. Bei eingehender Interpretation der topographischen Signaturen bieten sie eine Fülle von Hinweisen auf Altablagerungen und insbesondere Altstandorte. Neben der Identifikation der Lage potentieller Altlasten lassen sich auch Zeitreihenvergleiche zur Entwicklung von Altablagerungen und Altstandorten durchführen. In manchen Fällen erlauben sie auch Rückschlüsse auf die Art und die Lage von Abfällen in der Altablagerung oder von Schadstoffen im Bodenkörper von ehemaligen Industriestandorten.



**311.** Die Befragung von Einzelpersonen und Personengruppen kann wertvolle Zusatzinformationen liefern und auch solche Details zur Art und Menge von Schadstoffen aufdecken, für die Unterlagen – möglicherweise durch bewußten Eingriff – nicht oder nicht mehr verfügbar sind. Solche Befragungen sind im allgemeinen nur sinnvoll, wenn bereits Anhaltspunkte für das Bestehen von Altablagerungen und Altstandorten vorliegen. Als Nachteil ist im Hinblick auf die Zuverlässigkeit der Informationen die Möglichkeit der subjektiven Beeinflussung der Informationen zu sehen. Dies kann aus verschiedenen Gründen bis zu gezielten Falschinformationen reichen, die häufig nur dann erkannt werden, wenn sie im Widerspruch zu objektiv feststellbaren Tatbeständen stehen. Schriftliche Aufzeichnungen, Karten und Luftbilder sind jedenfalls dem menschlichen Erinnerungsvermögen überlegen und liefern zuverlässigere Angaben als Berichte von befragten Personen (HUBER und VOLK, 1986).

**312.** Der Rat schließt sich der Meinung der Länder an, daß die rasche Durchführung der flächendeckenden Informationssammlung besonders vordringlich ist, da mit fortschreitender Zeit immer weniger Zeugen und Unterlagen zur Verfügung stehen werden.

### 3.2.3 Ergänzende Ermittlungen

**313.** Sofern die verfügbaren Informationen nicht genügen, um eine Feststellung über das Vorhandensein altlastverdächtiger Flächen treffen und eine für die Erstbewertung befriedigende Charakterisierung erreichen zu können, sind zusätzliche Ermittlungen durchzuführen, die mit relativ geringem Zeit- und Kostenaufwand dieses Defizit so weit ausgleichen, daß eine besser abgesicherte Erstbewertung vorgenommen werden kann. Die Zuordnung dieser Ermittlungen im Entscheidungs- und Handlungsprozeß beim Umgang mit Altablagerungen und Altstandorten zu einer Bearbeitungsstufe wird in den einzelnen Bundesländern nicht einheitlich gehandhabt.

In Nordrhein-Westfalen wird die Sammlung der Informationen nach Abschnitt 3.2.2 in der ersten Bearbeitungsstufe nur durch visuelle Feststellungen vor Ort ergänzt (MELF NW, 1985), d. h. durch Auswertungen sinnlich wahrnehmbarer Hinweise und durch Beobachtungen von Flora und Fauna.

Die Landesarbeitsgruppe Altablagerungen NLW/NLFB (1988) in Niedersachsen führt unter den Methoden der „gezielten Nachermittlung“ neben der Auswertung vorhandener Unterlagen, Ortsbegehungen, Fotodokumentationen und Befragungen auch einfache vor-Ort-Untersuchungen auf, wie Schürfe, Sondierungen, Sondierbohrungen, aber auch Bohrungen und geophysikalische Messungen, jedoch keine chemischen und physikalischen Untersuchungen.

Die vorstehend genannten technischen und geophysikalischen Methoden gehen nach Auffassung des Rates bereits über den Aufwand hinaus, der im allgemeinen als ergänzende Ermittlung notwendig ist. Da solche Verfahren in erster Linie bei der orientierenden Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen als Grundlage der Gefahrenbeurteilung angewendet

werden, sind sie in Abschnitt 3.3.1 näher beschrieben.

**314.** Zu den ergänzenden Ermittlungen gehört auch die Auswertung von Infrarot- und Falschfarbenluftaufnahmen, die im Rahmen besonderer Befliegungen zusätzlich erstellt werden. Derartige Aufnahmen gestatten beispielsweise die Ermittlung von Altablagerungen, selbst wenn diese inzwischen rekultiviert wurden und meist begrünt oder landwirtschaftlich genutzt sind. Da diese Flächen aufgrund ihrer Entstehung unter Umständen ungünstige und vor allem unterschiedliche Entwicklungsbedingungen für Pflanzen aufweisen können, lassen sich Vitalitätsanomalien des Bewuchses als Indikatoren für Bodenstörungen, Schadgase in der Bodenluft und Schadstoffe heranziehen. Diese Veränderungen an Pflanzen sind jedoch nicht spezifisch für die Einwirkung von Schadstoffen aus Altlasten, so daß auf die Verifizierung durch weitere gezielte Untersuchungen vor Ort nicht verzichtet werden kann (HUBER und VOLK, 1986).

### 3.2.4 Kataster für altlastverdächtige Flächen und Altlasten

**315.** Die gewonnenen Informationen fließen in das Kataster für altlastverdächtige Flächen und Altlasten ein. Die damit vorliegenden Angaben zur Lokalisierung von Altablagerungen und Altstandorten sowie die diesbezügliche Materialsammlung bilden jedoch nur einen Teil der im Kataster zu erfassenden Angaben. Als Basisinformation sind sie im Laufe der weiteren Bearbeitung der einzelnen Verdachtsflächen entsprechend dem Ablaufschema des Umgangs mit altlastverdächtigen Flächen (s. auch Abb. 3.1) zu vervollständigen und fortzuschreiben.

Für jede Verdachtsfläche sollte eine möglichst genaue Lokalisierung und intensive Materialsammlung vorgenommen werden, um die Erstbewertung besser absichern und den Aufwand notwendiger Untersuchungen verringern zu können (FEHLAU, 1989a). Zur Erreichung dieses Ziels bedarf es von Fall zu Fall ergänzender Ermittlungen (vgl. Abschn. 3.2.3).

**316.** Auf der Grundlage der Informationssammlung und gegebenenfalls der ergänzenden Ermittlungen lassen sich im allgemeinen folgende Informationen für das Kataster zusammenstellen (DOETSCH und TILLMANN, 1987):

- räumliche Lage und Abgrenzung der Altablagerung und des Altstandortes
- Art der altlastverdächtigen Fläche
- Spezifizierung der abgelagerten und eingedrun-genen Stoffe
- Betreiber
- Zeitraum des Betriebes
- Merkmale zur Beschaffenheit der altlastverdächtigen Fläche
- wasserwirtschaftliche und geologisch-hydrologische Merkmale
- gegenwärtige Nutzung der Verdachtsfläche und des Einzugs- und Einwirkungsbereiches

- bisher aufgetretene Vorkommnisse
- Beeinträchtigungen der Schutzgüter.

In Abbildung 3.4 ist das Beispiel eines Stammblasses zur Verwendung bei der Erfassung und weiteren Bearbeitung von Altablagerungen und Altstandorten wiedergegeben (MELF NW, 1985), das die entsprechenden Informationen in übersichtlicher und einheitlicher Form sowie EDV-gerecht für jede einzelne Verdachtsfläche aufnehmen kann. Über diese Informationen hinaus, die eine erste Abschätzung der Gefahrenlage im Einzelfall (Einzelfallbewertung) sowie eine vergleichende Gefahrenbeurteilung (Prioritätenreihe) ermöglichen sollen, kann das Stammbblatt Angaben über die Untersuchung, Bewertung, Sanierung und Überwachung aufnehmen oder den Zugang zu weiteren dementsprechenden Unterlagen oder EDV-gestützten Dateien herstellen.

**317.** Wie andere umweltbezogene Kataster, zum Beispiel Emissionskataster, Abwasserkataster, Abwärmekataster, muß auch das Kataster für altlastverdächtige Flächen und Altlasten für das erfaßte Gebiet, beispielsweise eine Region oder ein Bundesland, durch seinen systematischen Aufbau sowie geeignete Eingabe-, Auswerte- und Verarbeitungsprogramme gewährleisten, daß

- die notwendigen und verfügbaren Informationen für alle altlastverdächtigen Flächen aufgenommen,
- die gespeicherten Informationen bei Bedarf jederzeit geändert oder ergänzt und
- die für den jeweiligen Verwendungszweck benötigten Angaben schnell verfügbar gemacht

werden können. Das gilt für die Nutzung des Datenmaterials unter standortbezogenen wie übergeordneten Fragestellungen.

**318.** Neben der Führung des Katasters ist eine kartographische Dokumentation der altlastverdächtigen Flächen sinnvoll, wie sie unter anderem in Baden-Württemberg (Wasser- und abfallwirtschaftlicher Atlas), Berlin (Umweltatlas) und Nordrhein-Westfalen (Altlasten-Grundlagenkarten) erarbeitet worden sind und laufend aktualisiert werden. Form und Inhalt dieser Karten ermöglichen parallel zum Kataster eine Charakterisierung von Altablagerungen und Altstandorten unter anderem nach Lage, Ausdehnung, Abfallarten und Schadstoffen.

**319.** Die Datenerhebung und die Dokumentation weisen in den einzelnen Bundesländern einen unterschiedlichen Stand auf und weichen auch in der Vorgehensweise voneinander ab, wie die nachfolgenden Beispiele erkennen lassen. In Nordrhein-Westfalen wurde im Jahre 1988 ein Datenbankkonzept zur Einrichtung eines Informationssystems veröffentlicht (LWA, 1988). In Baden-Württemberg wird eine EDV-gestützte landesweit einheitliche „Arbeitsdatei für wasser- und abfallwirtschaftliche Objekte mit Überwachungssystem“ geführt, in die unter anderem die Informationen des Katasters für altlastverdächtige Flächen und Altlasten einfließen (UM BW, 1988 a). In Berlin ist als Teil des im Aufbau befindlichen Umweltinformationssystems ein flächendeckendes, EDV-ge-

stütztes „Altlastenverdachtsflächenkataster“ aufgebaut worden, das etwa 1 300 Einzelflächen umfaßt (GOEDECKE und WELSCH, 1989). Aus der Erfassung in Niedersachsen lagen bis Februar 1986 die anhand eines EDV-gerechten Erhebungsbogens gespeicherten Teilinformationen von über 4 000 Altablagerungen auf Datenträgern vor (BAUMGARTEN et al., 1986).

**320.** Während die in die genannten Kataster aufzunehmenden Informationen nach Art und Umfang weitgehend übereinstimmen und dem Vorschlag von DOETSCH und TILLMANN (1987) entsprechen, weichen sie in inhaltlichen Details und in der Struktur erheblich voneinander ab. Dadurch wird der Vergleich untereinander erschwert und eine einheitliche Bewertung für alle Bundesländer in Frage gestellt. Die weiterhin unvollständige Erfassung der Altablagerungen und Altstandorte in der Bundesrepublik Deutschland kommt auch darin zum Ausdruck, daß die in unregelmäßigen Abständen neu veröffentlichten Bestandszahlen immer noch weiter ansteigen (Abschn. 1.4.1).

**321.** Im Interesse einer einheitlichen Bewertung und Gefährdungsbeurteilung sowie zur Erleichterung des Erfahrungsaustauschs, insbesondere über durchgeführte Sanierungsmaßnahmen, empfiehlt der Rat daher die Aufstellung bundeseinheitlicher Kriterien für die Datenerhebung und Dokumentation. Darüber hinaus sollte geprüft werden, inwieweit es sinnvoll und möglich ist, für alle Bundesländer ein einheitliches, EDV-gestütztes Erhebungs- und Dokumentationssystem einzuführen.

### 3.2.5 Schlußfolgerungen zur Erfassung

**322.** Die gezielte und umfassende Erfassung von Altablagerungen und Altstandorten dient sowohl der Vorsorge als auch der Gefahrenabwehr; sie bildet eine entsprechende Voraussetzung für die Gefahrenforschung und gegebenenfalls für eine wirksame Beherrschung der von Altlasten ausgehenden Gefahren.

Der Rat schließt sich der Meinung der Bundesländer an, daß durch Auswertung aller zuvor erörterten Informationsquellen bei sorgfältiger Bearbeitung ein wesentlicher Beitrag zur rationellen und effektiven Lösung des Altlastenproblems geleistet werden kann. Hierbei können eingeschaltete sachkundige Dritte, zum Beispiel Ingenieurbüros, die Arbeit der Behörden unterstützen. Insgesamt ist der Informationssammlung im Rahmen des Entscheidungs- und Handlungsprozesses beim Umgang mit Altablagerungen und Altstandorten ein hoher Stellenwert beizumessen. Da die Kosten mit jeder Bearbeitungsstufe überproportional ansteigen, ist es wichtig, daß schon in einem möglichst frühen Bearbeitungsstadium eine altlastverdächtige Fläche als ungefährlich identifiziert werden kann. Somit lassen sich erhebliche Kosten einsparen, wenn durch eine eingehende und sorgfältige Erfassung unnötige Maßnahmen vermieden werden.

**323.** Da trotz der seit Jahren laufenden Bemühungen der zuständigen Behörden um die Entdeckung von Altablagerungen und Altstandorten auch weiterhin

Stamtblatt zur Erfassung und Bearbeitung von Altablagerungen und Altstandorten

Lfd. Nr.
Datum:

I Standort

1	Stadt/Gemeinde:		
2	Kreis:		
3	Flur:	Flurstück:	
4	Fläche:	m <sup>2</sup>	Tiefe/Höhe:
5	Volumen:		
6	Top. Karte 1 : 25000, Name: Nr.:		
7	Koordinaten R:	H:	

8	Alt. Kat. d. STAWA Nr.	
9	Grubenverfüllung	Aufhäldung
10	Kokerei	Sonstiges
11	Bezeichnung:	
12	Eigentümer:	Besitzer:

II Art der Altablagerung oder des Altstandortes

Abgelagerte/Eingedrungene Stoffe			
1	Bauschutt	7	Halog. KW
2	Siedlungsbef.	8	Kokereirückstände
3	Gewerbl. Abfälle	9	Schwermetalle
4	Schlämme	10	Sonderabfall
5	Prod. Rückst.	11	
6	Mineralöl	12	

13	Standort einer stillgelegten Anlage, in der mit umwelt-gefährdenden Stoffen umgegangen wurde	
14	Sonstige verunreinigte Flächen	
15	Bezeichnung:	
16	Ehemal. Betreiber/Verursacher:	
17	Zeitraum:	Stilleg.:
18	Rekultiv. durchgeführt:	

III Beschaffenheit der Altablagerung oder des Altstandortes

1	Basisabdichtung
2	Flankenabdichtung
3	Oberflächenabdichtung

4	Sickerwassersammlung
5	Gasfassung u. -ableitung
6	

IV Wasserwirtschaftliche Merkmale

1	Untergrund:	Ton	Schluff	Sand	Kies	Kluftgestein	Sonst. Ang. z. B. Kf-Wert
2	Lage des höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes						
	oberhalb der Deoniesohle, oberhalb oder innerhalb der Bodenverunreinigung						
	unterhalb der Deoniesohle oder der Bodenverunreinigung						
3	Grundwasser-Flurabstand:	m	Grundwasserfließrichtung:	-			
4	Lage zu vorhandenen oder geplanten Trinkwasserversorgungsanlagen und Heilquellen						
	Wasserschutzgebiet Zone:						
	Heilquellenschutzgebiet: LEP/GEP:						
5	Entfernung zur Altablagerung						
	Überschwemmungsgebiet						
6	Entfernung zum nächsten Oberflächengewässer						
	Landschaftsschutzgebiet						

V Nutzung der Flächen

1	Wohnbebauung	5	Kleingartengelände	9	Gefährdete Nutzungen im Einfließbereich
2	Gewerbe u. Industrie	6	Freizeit- u. Erholungsanlagen	10	Erl. zu 9:
3	Sonst. Bebauung	7	Landwirtschaft		
4	Erl. zu 1:	8	Forstwirtschaft		

VI Festgestellte Gefahren oder Beeinträchtigungen

1	Leben und Gesundheit	3	Bodennutzungen	5	Nutzpflanzen
2	Wasserwirtsch. Nutzungen	4	Schutz d. Gewässer	6	Sonstiges:

VII Vorkommisse

1	Gewässerverunreinigung	5	Geländeabsenkung	9	Wärmebildung	14	Sachschaden
2	Gasaustritt (Geruch)	6	Vegetationsschäden	10	Brand	15	Korrosion v. Bauwerken
3	Sickerwasseraustritt	7	Verwehungen	11	Verpuffung	16	Personenschäden
4	Rutschungen/Setzungen	8	Erosion	12	Explosion	17	Sonstiges

VIII Gefährdungsabschätzung und Kosten

1	Erstbewertungsergebnis:
2	Untersuchungsergebnis:
3	Beurteilungsergebnis:
4	Überwachung:
5	Sanierung:
6	Kosten:
	Erl.:

IX Kontrolluntersuchungen/Überprüfungen

1 Grundwasser-Beobacht.-Brunnen	
1	Anzahl: Analysen
2 Hausbrunnen	
2	Anzahl: Analysen
3 Oberflächengewässer	
3	Beob. Pkte.: Analysen
4	Sickerwasser: Analysen
5	Gas: CH <sub>4</sub> -Messungen
6	Boden: Analysen
7	Standsicherheit, Unters.
8	Letzte Überprüfung am:
9	Überwachung: wird fortgesetzt / wird nicht fortgesetzt
10	Aus d. wasserw. Beob. entl. am:

X Vorhandene Unterlagen

1. Genehmigung n. WHG		n. AbfG		Stellungnahmen/Gutachten	
1.	Datum:	Behörde:		2.	Datum:
					Verfasser:

Unterlagen und Bemerkungen zu den einzelnen Punkten s. Anlagen und/oder gesonderten Vorgang

Quelle: MELF NW, 1985

neue altlastverdächtige Flächen aufgefunden werden, sieht es der Rat als eine vordringliche Aufgabe an, die dadurch bestehende Unsicherheit über die Gesamtzahl der Verdachtsflächen durch systematische Ermittlungen sobald und soweit wie möglich zu beseitigen. Dabei sollten zum einen alle bestehenden Hinweise verfolgt und die bekannten Zusammenhänge zwischen Produktionsverfahren und Ablagerungspraktiken einerseits und den darauf zurückzuführenden Altstandorten und Altablagerungen mit den dort auftretenden Schadstoffen andererseits genutzt werden (Tz. 303 ff.). Weiterhin muß aber auch der Versuch unternommen werden, flächendeckend bisher unbekannte Altablagerungen und Altstandorte aufzuspüren (Tz. 307 ff.). Zur schnelleren Bestandsaufnahme werden nach Ansicht des Rates mehr finanzielle Mittel und personelle Kapazitäten auf der Ebene der Länder und der kommunalen Gebietskörperschaften aber auch des Bundes benötigt.

**324.** Obwohl in den einzelnen Bundesländern am Aufbau von Katastern für altlastverdächtige Flächen und Altlasten seit einigen Jahren gearbeitet wird, liegen bisher keine Informationen über den praktischen Einsatz und die Handhabungsmöglichkeiten solcher Datensammlungen vor. Allerdings ist erkennbar, daß die Konzepte für die Erfassung des jeweiligen Datenmaterials sich in der Struktur und in inhaltlichen Details unterscheiden.

Da wegen der großen Zahl der zu erfassenden Altablagerungen und Altstandorte und der Fülle des jeweils anfallenden Datenmaterials dessen schnelle und sichere Handhabung nur mit Hilfe eines leistungsfähigen EDV-Systems möglich ist, hält es der Rat für dringend geboten, die Anwendung geeigneter Erfassungs- und Verarbeitungsprogramme für die Kataster in den einzelnen Ländern zu beschleunigen. Trotz unterschiedlich fortgeschrittener Bearbeitung sollten möglichst bald bundeseinheitliche Kriterien für die Datenerhebung und die Dokumentation von altlastverdächtigen Flächen aufgestellt werden.

Ein wichtiges Hilfsmittel zur länderübergreifenden Einheitlichkeit der Erfassung von altlastverdächtigen Flächen stellt der von der Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“ der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) vorgelegte Mindestkatalog der zu erfassenden Merkmale dar (LAGA, 1989). Es ist beabsichtigt, die dadurch erfaßten Informationen in den einzelnen Bundesländern jeweils zentral für Zwecke der Gefahrenabwehr, der Bauleitplanung sowie der Raumordnung und Landesplanung, der Erteilung öffentlich-rechtlicher Zulassungen und des Grundstückverkehrs abrufbar zu gestalten (SCHULDT, 1988).

**325.** Dabei ist zu prüfen, in welcher Form sichergestellt werden kann, daß auch für die derzeit noch in Betrieb befindlichen Deponien alle umweltrelevanten Daten in die Kataster einfließen. Dies soll gewährleisten, daß auch nach der künftigen Stilllegung alle für eine effektive Überwachung und Planung benötigten Informationen, insbesondere über Art, Menge und Verteilung der abgelagerten Stoffe im Deponiekörper, verfügbar sind (vgl. auch Abschn. 8.2.2.1).

**326.** Weiterhin ist der Rat der Auffassung, daß für die Erhebungen über Altablagerungen und Altstandorte

sowie für die Pflichten von Eigentümern und Nutzungsberechtigten von Grundstücken stillgelegter Ablagerungsflächen oder sonstiger stillgelegter Anlagen gleichartige rechtliche Regelungen in der Bundesrepublik vorhanden sein sollten, die sich am Beispiel von Hessen und Nordrhein-Westfalen orientieren könnten (§ 19 AbfG HE sowie § 29 Abs. 3 und 4 LAbfG NW). Im Rahmen dieser rechtlichen Regelungen sollte auch festgelegt werden, inwieweit Bürgern, die ein berechtigtes Interesse an den Eintragungen des Katasters haben, Einsicht gewährt wird.

### 3.3 Gefährdungsabschätzung

#### 3.3.1 Untersuchungsmaßnahmen

##### 3.3.1.1 Aspekte der Durchführung von Untersuchungsmaßnahmen

**327.** Untersuchungen altlastverdächtiger Flächen und ihres Umfeldes müssen erfolgen, wenn die vorhandenen und im Rahmen der Erfassung ausgewerteten Informationen und Erkenntnisse für eine abschließende Bewertung des Gefährdungspotentials nicht ausreichen. Das Ziel von Untersuchungen ist demnach die Beschaffung der benötigten Informationen.

Untersuchungen dienen immer der Ermittlung lokalspezifischer Gegebenheiten des Einzelfalls. Sie müssen sich auf alle, von Fall zu Fall unterschiedlichen, potentiellen Ausbreitungspfade und möglicherweise betroffenen Schutzgüter erstrecken. Da die Bewertung des Gefährdungspotentials altlastverdächtiger Flächen nicht nur im Hinblick auf bereits vorhandene, sondern auch auf zukünftig zu erwartende Beeinträchtigungen von Schutzgütern erfolgen muß, dienen Untersuchungsmaßnahmen auch der Beschaffung von Informationen, die für Prognosen erforderlich sind. Untersuchungen haben daher im wesentlichen folgende Aufgaben:

- Erfassung der relevanten Ausbreitungspfade von Stoffen aus einer altlastverdächtigen Fläche und in ihrer Umgebung
- Erkennung und Charakterisierung der Verunreinigungen von Ausbreitungsmedien nach Art, Menge und räumlicher Verteilung
- Erkennung und Charakterisierung akuter Belastungen von weiteren Schutzgütern sowie
- Erarbeitung von Informationen zur Abschätzung langfristig möglicher Auswirkungen auf die Schutzgüter bei bestehender Nutzung oder einer geplanten Nutzungsänderung.

**328.** Der Umfang der Untersuchungen und die Anwendung konkreter Verfahren richten sich nach dem Umfang der Vorkenntnisse, den örtlichen Gegebenheiten sowie dem Ziel der nachfolgenden Bewertung und den dafür erforderlichen Informationen. Es stehen zahlreiche Verfahren zur Untersuchung von Altablagerungen und Altstandorten zur Verfügung. Bei der Auswahl ist zu bedenken, daß sich die Untersuchungsverfahren sowohl hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und Aussagegenauigkeit als auch des personellen, technischen und zeitlichen Aufwandes und

demzufolge auch der Kosten stark unterscheiden. Angesichts der großen Zahl von altlastverdächtigen Flächen wird es als notwendig erachtet, die Untersuchungen in der Weise durchzuführen, daß möglichst viele der benötigten Informationen mit möglichst geringem Aufwand hinreichend genau erhalten werden (z. B. FEHLAU, 1986; FRIEGE und SIEVERS, 1986; IRMER, 1987; KERNDORFF et al., 1985; KÖNIG, 1987). Die Untersuchungen dürfen nicht zu einer dauernden Erhöhung der vom Untersuchungsobjekt ausgehenden Umweltgefährdung führen.

Die wesentlichen Fragen bei der Planung von Untersuchungen lauten daher:

- Welche Informationen sind für die Bewertung mit welcher Genauigkeit in welchem Bearbeitungsstadium erforderlich?
- Welche Untersuchungsverfahren und Vorgehensweisen sind am besten geeignet, um die Informationen mit der erforderlichen Genauigkeit ohne zusätzliche Gefährdung der Umwelt zu ermitteln?

Zur Verkleinerung des Aufwand-Nutzen-Verhältnisses bedarf es gezielter Untersuchungsstrategien (vgl. ALBERTI und FRIEGE, 1987; FRIEGE, 1988; IRMER, 1987; KERNDORFF et al., 1985; LÖLF, 1988). Es sind methodische Konzepte mit stufenweiser Ausweitung der Untersuchungsmaßnahmen entwickelt worden, die sich in der Regel in eine orientierende und eine detaillierte Untersuchungsphase gliedern (vgl. Kap. 3.1 und Abschn. 3.3.3.2).

**329.** Es kann nicht Ziel des Sondergutachtens sein, ausführliche Anleitungen zur Durchführung von Untersuchungen unter Nennung aller verwendbaren Methoden zu geben; Vollständigkeit ist schon deshalb unmöglich, weil laufend neue Verfahren entwickelt und bestehende weiterentwickelt werden. Die nachfolgenden Abschnitte sollen daher lediglich einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten und Probleme breit anwendbarer Untersuchungsverfahren in bezug auf die Beschaffung der für die Bewertung notwendigen Informationen geben.

Um eine bessere Übersicht über die Untersuchungsverfahren zu erhalten, ist es zweckmäßig, diese den unterschiedlichen Fachdisziplinen entsprechend in Gruppen zusammenzufassen. So werden im folgenden geophysikalische, geologisch-hydrogeologische, chemische und physikalische sowie biologische Untersuchungen unterschieden. Geophysikalische und geologisch-hydrogeologische Untersuchungen dienen der Ermittlung verdachtsflächenspezifischer Risikofaktoren und der Erfassung der Verhältnisse am Standort und in der Umgebung bezüglich der Emissions- und Ausbreitungsmöglichkeiten für Schadstoffe. Mit chemischen und physikalischen Untersuchungen werden vor allem Verunreinigungen der Umweltmedien, aber auch Schadstoffe in abgelagerten Abfällen festgestellt. Durch biologische Untersuchungen können Belastungen von Pflanze, Tier und Mensch erfaßt und die Wirkungen von Schadstoffen auf diese Organismen abgeschätzt werden. Sofern keine einschränkenden Hinweise gegeben werden, sind die aufgeführten Untersuchungsverfahren so-

wohl bei Altablagerungen als auch bei Altstandorten anzuwenden.

Die Reihenfolge, in der die Untersuchungsgruppen behandelt werden, entspricht der Abfolge, in der sie in der Phase der orientierenden Untersuchungen vielfach durchgeführt werden. Diese Reihenfolge gilt nicht für Detailuntersuchungen, da bei diesen stärker als bei den orientierenden Untersuchungen gezielt auf von Fall zu Fall unterschiedliche offene Fragen abgestellt werden muß. Innerhalb der Untersuchungsgruppen herrschen in der Orientierungsphase vergleichsweise einfache, wenig aufwendige Untersuchungsmethoden vor, während genauere und aufwendigere Untersuchungen häufiger in der Detailphase vorgenommen werden. Bei komplizierten Standortverhältnissen kann ein hoher Aufwand aber auch schon zu Beginn der Untersuchungen notwendig sein.

**330.** Da die Untersuchungen altlastverdächtiger Flächen und ihrer Umgebung auf mögliche Umweltbeeinträchtigungen medienübergreifend durchgeführt werden müssen, ist die Zusammenarbeit von Fachleuten aus unterschiedlichen Disziplinen zwingend erforderlich.

**331.** Von verschiedenen Autoren sind Handlungsanleitungen in Form von Handbüchern, Leitfäden und Informationsschriften für die Durchführung von Untersuchungen an altlastverdächtigen Flächen erarbeitet worden, auf die im weiteren Text an entsprechender Stelle verwiesen wird. Hier soll jedoch auf die von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall erstellte Informationsschrift „Erfassung, Gefahrenbeurteilung und Sanierung von Altlasten“ (LAGA, 1989) hingewiesen werden, der besondere Bedeutung zukommt, da sie zu einem gemeinsamen Vorgehen in den Ländern beitragen soll.

**332.** Mit der Untersuchung von Altablagerungen und Altstandorten ist oft der Umgang mit potentiell gesundheitsschädigenden oder explosiven Stoffen verbunden. Um eine Gefährdung des Untersuchungspersonals zu vermeiden, müssen allgemeine Arbeitsschutzvorschriften, aber auch zusätzliche Anforderungen der Berufsgenossenschaften erfüllt und entsprechende Schutzvorkehrungen getroffen werden. So erarbeiten die Berufsgenossenschaften gegenwärtig Sicherheitsregeln für Bauarbeiten in kontaminierten Bereichen (BG, 1989).

**333.** Auf die Notwendigkeit der sorgfältigen Planung, Durchführung und Dokumentation von Untersuchungen nach allgemein anerkannten Vorschriften zur Sicherstellung einwandfreier, repräsentativer Ergebnisse weist der Rat hier ausdrücklich hin. Die Fragen der Qualitätssicherung haben im Zusammenhang mit analytischen Untersuchungen besonderes Gewicht (Abschn. 3.3.1.4).

**334.** Die durch Untersuchungen erhaltenen großen Datenmengen müssen übersichtlich geordnet und bearbeitungsfreundlich verwaltet werden. Hierfür eignen sich elektronische Datenbanken. Bei Untersuchungen von Altablagerungen hat sich eine auf einem hierarchischen Datenbanksystem aufgebaute Datenbank bewährt, die eine schnelle Gewinnung von gezielten Einzelangaben, in Kombination mit entspre-

chender Software aber auch von sehr komplexen Informationen, wie beispielsweise die Erkennung übergeordneter Zusammenhänge bei Betrachtung einer Vielzahl von altlastverdächtigen Flächen, ermöglicht (KERNDORFF et al., 1985). Es sollte auch das Ziel sein, durch Untersuchungen gewonnene Daten im Rahmen des Katasters für altlastverdächtige Flächen und Altlasten (Abschn. 3.2.4) abrufen zu können.

### 3.3.1.2 Geophysikalische Untersuchungen

**335.** Geophysikalische Untersuchungen werden vorwiegend bei Altablagerungen vorgenommen, sind aber auch bei Altstandorten anwendbar. Sie stellen orientierende Hilfsmittel dar und sollten deshalb im Zusammenwirken mit anderen Untersuchungsverfahren eingesetzt werden. So bieten sie lediglich Interpretationshilfen bei der Deutung der geologischen Verhältnisse oder der Situation innerhalb eines Abfallkörpers und können geologisch-hydrogeologische und analytische Untersuchungen nicht ersetzen. Im Rahmen der Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen können geophysikalische Verfahren Beiträge zur räumlichen Begrenzung von Altablagerungen und zur Erkennung verschiedenartiger Bereiche im Abfallkörper und im natürlichen Untergrund leisten. Die Meßergebnisse ermöglichen Rückschlüsse auf unterschiedliche Gesteinsschichten, aber auch auf hydrogeologische Gegebenheiten, wie wasserführende Bereiche oder die Lage des Grundwasserspiegels. Unter günstigen Umständen können auch Verunreinigungen im Untergrund und Grundwasser festgestellt werden. Geophysikalische Untersuchungen dienen vielfach der Vorbereitung weiterer Untersuchungsmaß-

nahmen und als Hilfe bei der Festlegung von Erkundungs- und Probenahmeorten.

**336.** Bei der Untersuchung altlastverdächtiger Flächen werden gegenwärtig vorwiegend Radarmessungen, Messungen mit der elektromagnetischen Induktionssonde (EMI-Sonde), geoelektrische Widerstandsmessungen, seismische Messungen und Messungen mit Metalldetektoren und dem Magnetometer durchgeführt. Über die Anwendungsmöglichkeiten dieser Verfahren gibt Tabelle 3.2 Auskunft. Die Funktionsweisen der Verfahren werden von FELD et al. (1984) beschrieben.

**337.** Bei einem Einsatz dieser geophysikalischen Verfahren ist zu berücksichtigen, daß die Messungen durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst und gestört werden können (FELD et al., 1984 und 1987; UM BW, 1988 b). Als Vorteil der genannten Verfahren ist anzusehen, daß sie von der Geländeoberfläche aus eingesetzt werden und überwiegend zerstörungsfrei arbeiten. Im Gegensatz zu Untergrundaufschlüssen, die nur punktuelle Daten liefern, aus denen dann durch Interpolation flächenhafte Informationen gewonnen werden, sind durch geophysikalische Verfahren direkt flächenhafte Aussagen zu erhalten. Nachteilig ist, daß ein Verfahren alleine angewendet vielfach keine befriedigenden Ergebnisse liefert, sondern erst eine Kombination mehrerer geophysikalischer Verfahren (FELD et al., 1984). Während die Erfahrungen zeigen, daß geophysikalische Verfahren durchaus geeignet sind, die Begrenzung von Altablagerungen zu ermitteln, weisen die Verfahren bei der Ortung von Verunreinigungen im Untergrund und Grundwasser noch Mängel auf. Nach Auffassung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall sind die Untersuchungsergebnisse

Tabelle 3.2

### Geophysikalische Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungsbereiche

Anwendungsbereiche	Methoden					
	Radar	Elektro-Magnetik EMI	Widerstand	Seismik	Metall-detektoren	Magneto-meter
Kartierung der geologischen Schichten im Nahbereich .....	1	1	1	1	0	1
Kartierung von leitfähigen Sickerwässern und Kontaminationsfahnen .....	2	1	1	0	0	0
Ortung und Begrenzung von vergrabenen Abfällen (Nichtmetalle) .....	1	1	2	2	0	0
Ortung und Begrenzung von vergrabenen Abfällen mit Metall .....	1	1	2	2	1	2
Ortung vergrabener Metallobjekte (Fässer, Munition) .....	1	2	0	0	1	1

1 = geeignete Methode

2 = ergänzende Methode

0 = ungeeignet

Quelle: FELD et al., 1984, verändert

deshalb noch mit Vorsicht zu bewerten (LAGA, 1989).

**338.** Ein weiterer Einsatzbereich geophysikalischer Verfahren umfaßt die „Bohrlochmessungen“, bei denen Daten über den Untergrund durch Messungen in Bohrlöchern ermittelt werden (DVGW-Merkblätter W 115 und W 110; HÖLTING, 1989; RICHTER und LILLICH, 1975). Diese Verfahren kommen fast ausschließlich im Zusammenhang mit Spülbohrungen zum Einsatz (vgl. Tz. 341f.).

**339.** Um genauere Erkenntnisse über die tatsächliche Leistungsfähigkeit und die Rahmenbedingungen für einen sinnvollen Einsatz geophysikalischer Verfahren zu erhalten, empfiehlt der Rat, die Aussagen dieser Verfahren verstärkt durch andere Untersuchungen zu überprüfen.

Der Rat begrüßt, daß im Auftrag des BMFT ein Forschungsvorhaben (FKZ 14 606 05) durchgeführt werden soll, mit dem Ziel, alle zur Verfügung stehenden geophysikalischen Untergrunderkundungsverfahren auf ihre Anwendungsmöglichkeit im Altlastenbereich zu prüfen und zu bewerten.

### 3.3.1.3 Geologisch-hydrogeologische Untersuchungen

**340.** Häufig sind die Vorkenntnisse über die spezifischen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse einer altlastverdächtigen Fläche und ihres Umfeldes unzureichend für die Bewertung des Gefährdungspotentials. Im Hinblick auf die Erfassung der Emissionen und möglichen Ausbreitungspfade von Schadstoffen sind vor allem Kenntnisse erforderlich über

- den Untergrundaufbau, d. h. die Gesteinszusammensetzung, die räumliche Abfolge unterschiedlicher Gesteinsschichten, deren Mächtigkeit und Lagerung,
- die Höhenlage und Schwankung des Grundwasserspiegels, des Wasserspiegels von Oberflächengewässern und gegebenenfalls eines Stauwasserspiegels im Abfallkörper,
- die Lage von Abfallkörper oder verunreinigtem Bodenbereich zum Grundwasser oder Oberflächengewässer,
- die Durchlässigkeitsverhältnisse des Untergrundes und die Strömungsverhältnisse des Grundwassers, d. h. die Fließrichtung des Grundwassers und deren Schwankungsbereich und die Grundwasserfließgeschwindigkeit, sowie
- den Wasserhaushalt, insbesondere Niederschlag, Grundwasserneubildung bzw. Sickerwasseranfall.

**341.** Die Erkundung des Untergrundaufbaus erfolgt über Aufschlußverfahren (Tab. 3.3). Als geeignete Verfahren sind vor allem Sondierbohrverfahren für eine erste Übersichtserkundung, Schürfe für den obersten Untergrundbereich und Trockenbohrungen in Lockergesteinen für Tiefen bis etwa 60 m anzusehen. Spülbohrungen sind in Lockergesteinsgebieten von untergeordneter Bedeutung, da sie gegenüber

Trockenbohrungen viel weniger genaue Aussagen zum Untergrundaufbau erbringen. Sie sind nur sinnvoll, wenn in einem mächtigen Grundwasserleiter Grundwassermeßstellen eingerichtet werden sollen (SPILLMANN und MESECK, 1986). Kernbohrverfahren einschließlich Schlauchkernbohrungen werden eingesetzt, um „ungestörte“ Proben zu erhalten, an denen der Untergrundaufbau detailliert bestimmt, geologische Kenngrößen ermittelt – zum Beispiel die Klüftigkeit von Festgesteinen –, aber auch Schadstoffe im Porenraum untersucht werden können. Die Anwendung von Sondierverfahren sollte nur in Ergänzung der anderen Aufschlußverfahren in Betracht gezogen werden.

**342.** Die in Tabelle 3.3 genannten Verfahren sind bewährte Methoden zur Erkundung der geologischen Verhältnisse. Sie lassen sich aber auch einsetzen, um Einblick in den Abfallkörper einer Altablagerung zu erhalten und Proben daraus zu gewinnen (vgl. Tz. 371).

**343.** Zu den technischen Ausführungen und Anwendungsbereichen der verschiedenen Verfahren sowie zur Gesteinsansprache bei Bohrungen, zur Entnahme von Bodenproben und Darstellung von Bohrprofilen liegen zahlreiche Normen, Vorschriften und Empfehlungen vor (z. B. BIESKE und BIESKE, 1973; DIN 4021, 4022, 4023, 4094; DVGW-Merkblätter W 114, W 115 und W 116; HÖLTING, 1989; LANGGUTH und VOIGT, 1980; RICHTER und LILLICH, 1975).

**344.** Eine genauere Gesteinsansprache als durch einfache Inaugenscheinnahme von Probenmaterial ist bei Lockergesteinen durch Ermittlung der Korngrößenverteilung repräsentativer Proben möglich. Hierbei werden durch Siebung oder Schlämmlung oder auch durch Kombination beider Verfahren die prozentualen Anteile der Kornfraktionen erfaßt (DIN 18 123; DVGW-Merkblatt W 113; SCHLICHTING und BLUME, 1976).

**345.** Die Erfassung der Schadstoffausbreitung über den Wasserpfad erfordert die Kenntnis der hydrogeologischen Verhältnisse in der näheren und gegebenenfalls auch weiteren Umgebung einer altlastverdächtigen Fläche. Gewisse Mindestkenntnisse sind sowohl für die Planung einzelner weiterer Untersuchungsmaßnahmen, zum Beispiel die gezielte Entnahme von Grundwasserproben im Abstrom einer Verdachtsfläche, als auch für die Interpretation hydrochemischer Daten unerlässlich.

**346.** Voraussetzung für die Untersuchung der Grundwasserströmungsverhältnisse und der Grundwasserbeschaffenheit sind geeignete Meßstellen. Diese müssen sich an der jeweiligen spezifischen Problemstellung orientieren, denn Anzahl und Anordnung, Tiefe und Ausbau der Meßstellen sind von entscheidender Bedeutung für die Aussagekraft der an ihnen gewonnenen Untersuchungsergebnisse. Ideal ist die Einrichtung solcher Meßstellen, die sowohl die Erfassung der für die Gefahrenbeurteilung wichtigen hydrogeologischen als auch hydrochemischen Informationen ermöglichen. Dies setzt aber gewisse Grundkenntnisse der hydrogeologischen Situation voraus, zum Beispiel ungefähre Kenntnisse der Grundwasserfließrichtung, die vielfach erst mit Hilfe

Tabelle 3.3

## Verfahren zur Erkundung des Untergrundaufbaus

Verfahren	Einsatzbereich
Schürfe	<ul style="list-style-type: none"> <li>– geeignet für Tiefen bis 5–7 m in Lockergesteinen</li> <li>– sehr guter Einblick in Untergrundaufbau</li> <li>– sehr gute Probenqualität</li> <li>– Entnahme „ungestörter“ Proben möglich</li> </ul>
Sondierbohrungen (Kleinbohrungen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– geeignet für Tiefen bis etwa 20 m (u. U. auch tiefer) in Lockergesteinen</li> <li>– guter bis sehr guter Einblick in Untergrundaufbau</li> <li>– gute bis sehr gute Probenqualität</li> <li>– aufgrund kleiner Durchmesser nur relativ geringe Probenmengen und deshalb i. d. R. nur qualitative Gesteinsansprache möglich</li> <li>– Ausbau zu Gas- und (bedingt) zu Grundwassermeßstellen möglich</li> </ul>
Bohrungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– in Abhängigkeit vom Verfahren bis in große Tiefen einzusetzen</li> <li>– geeignet für Locker- und Festgesteine</li> <li>– Ausbau zu Gas- und Grundwassermeßstellen möglich</li> </ul>
– Trockenbohrungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– guter Einblick in Untergrundaufbau</li> <li>– gute Probenqualität</li> <li>– begrenzte Einsatztiefe (ab etwa 60 m unwirtschaftlich)</li> </ul>
– Spülbohrungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– weniger guter Einblick in Untergrundaufbau</li> <li>– deshalb i. d. R. Ergänzung durch geophysikalische Bohrlochmessungen</li> <li>– schlechtere Probenqualität</li> </ul>
– Kernbohrungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– sehr guter Einblick in Untergrundaufbau</li> <li>– sehr gute Probenqualität</li> <li>– Entnahme „ungestörter“ Proben (Bohrkerne)</li> </ul>
Sondierungen (Drucksondierung, leichte Rammsondierung, schwere Rammsondierung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– geeignet für Tiefen bis etwa 20 m (u. U. auch tiefer) in Lockergesteinen</li> <li>– nur indirekter Einblick in Untergrundaufbau durch Unterscheidung von Schichten unterschiedlichen Eindringwiderstandes</li> <li>– keine Gesteinsansprache möglich</li> <li>– keine Probenahme möglich</li> </ul>

Quelle: SRU, nach DIN 4021; LANGGUTH und VOIGT, 1980; MELF NW, 1985; UM BW, 1988b

von eingerichteten Meßstellen gewonnen werden können. Je nach Vorkenntnis und Kompliziertheit der hydrogeologischen Gegebenheiten, nach Größe der altlastverdächtigen Fläche und ihrer Lage zur Grundwasserfließrichtung sowie orientiert an der Art der gewünschten Informationen werden daher unterschiedlich viele, verschieden angeordnete und ausgebaut Meßstellen benötigt. Spezifische Empfehlungen für die Errichtung von Grundwassermeßstellen im Zusammenhang mit der Untersuchung von Altablagerungen und Altstandorten gibt die Literatur (z. B. HLFU, 1987b; IWS und TGU, 1988; KERNDORFF et al., 1985; LAGA, 1989; LWA, 1989; MELF NW, 1985). Regeln, die bei der Bohrung für eine Grundwassermeßstelle und bei deren Ausbau zu beachten sind, finden sich in DIN 4021 Teil 3, den DVGW-Merkblättern W 116 und W 121 sowie in einschlägigen Lehrbüchern, wie BIESKE und BIESKE (1973) und LANGGUTH und VOIGT (1980).

**347.** Anhand der Wasserstände von Grundwässern und Oberflächengewässern, die an Grundwassermeßstellen und den Pegeln von Gewässern gemessen werden, läßt sich erkennen, ob eine Altablagerung oder verunreinigtes Erdreich im oder oberhalb des

grundwassererfüllten Bereichs liegt und wie die Lage zu Oberflächengewässern ist. Schwankungen der Wasserstände, die durch wiederholte Messungen zu verschiedenen Jahreszeiten erfaßt werden, sind bei der Beurteilung der Situation zu berücksichtigen, insbesondere auch in der Vergangenheit aufgetretene Höchststände. Durch Wasserstandsmessungen in Meßstellen, die in einer Altablagerung errichtet werden, kann festgestellt werden, ob und bis zu welcher Höhe Stauwasser auftritt.

**348.** Die wesentlichsten hydrogeologischen Parameter, die in jedem Fall zumindest annähernd bekannt sein müssen, um eine Grundwasserbeeinflussung überhaupt erkennen und die derzeitige und zukünftig mögliche Verteilung von Schadstoffen im Grundwasser erfassen zu können, sind die Durchlässigkeit des Untergrundes, die Grundwasserfließrichtung und die Grundwasserfließgeschwindigkeit (Abstandsgeschwindigkeit). Gebräuchliche Verfahren zur Ermittlung dieser Größen sind in Tabelle 3.4 zusammengestellt. Die aufwendigen Methoden wie Pumpversuche (DVGW-Merkblatt W 111; KRUSEMAN und DE RIDDER, 1973) oder Markierungsversuche werden vor allem bei detaillierten Untersuchungen eingesetzt.



Tabelle 3.4

## Gebräuchliche Verfahren zur Ermittlung wichtiger hydrogeologischer Kenngrößen

Methoden	Durchlässigkeit (Durchlässigkeitsbeiwert)	Grundwasserfließrichtung	Grundwasserfließgeschwindigkeit (Abstandsgeschwindigkeit)
Feldmethoden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pumpversuche (Messungen am Brunnen und an Meßstellen)</li> <li>– Kurzpumpversuche (Messungen am Brunnen)</li> <li>– Auffüllversuche <ul style="list-style-type: none"> <li>– Open-End-Tests</li> <li>– Packer-Tests</li> </ul> </li> <li>– Wasserdruckversuche (WD-Tests)</li> <li>– Markierungsversuche</li> <li>– Einbohrlochverfahren mit radioaktiven Isotopen</li> <li>– Einschwingverfahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Einbohrlochverfahren mit radioaktiven Isotopen</li> <li>– Markierungsversuche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Einbohrlochverfahren mit radioaktiven Isotopen</li> <li>– Markierungsversuche</li> </ul>
Laboratoriumsmethoden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Berechnung nach Korngrößenverteilung</li> <li>– Durchströmungsmessungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– graphische Ermittlung aus Grundwassergleichenplänen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Berechnung aus Durchlässigkeitsbeiwert, hydraulischem Gradienten und effektivem Poren- oder Kluftvolumen</li> </ul>

Quelle: SRU, nach HÖLTING, 1989; MATTHESS und UBELL, 1983

Einfachere Verfahren, die nur Näherungscharakter haben wie Kurzpump- und Auffüllversuche werden im allgemeinen bei orientierenden Untersuchungen bevorzugt.

**349.** Klimatische Faktoren haben neben anderen einen großen Einfluß auf die aus Altablagerungen und verunreinigten Böden ausgelaugten und mit dem Sickerwasser in tiefere Bereiche der wasserungesättigten Zone und ins Grundwasser gelangenden Schadstofffrachten. Methoden zur Ermittlung der Grundwasserneubildung und anderer Parameter des Wasserhaushaltes können entsprechender Literatur entnommen werden (z. B. HÖLTING, 1989; MATTHESS und UBELL, 1983).

**350.** Neben den klassischen Methoden setzen sich zur genaueren Erfassung komplizierter Grundwasserströmungsverhältnisse und zur Beschreibung des sich räumlich und zeitlich verändernden Strömungsverhaltens zunehmend numerische Strömungsmodelle durch. Wert und Genauigkeit ihrer Aussagen hängen davon ab, inwieweit die in das Modell eingehenden Daten die lokalspezifischen Verhältnisse realitätsnah abbilden. Ein anspruchsvolles Modell erfordert deshalb eine Vielzahl teilweise recht aufwendiger Untersuchungen, um qualitativ und quantitativ ausreichendes Datenmaterial zu erhalten.

Um die Ausbreitung von Schadstoffen im Grundwasser zu ermitteln und zu prognostizieren, werden in jüngerer Zeit numerische Stofftransportmodelle eingesetzt. Basierend auf einem Grundwasserströmungsmodell benötigt das Transportmodell noch weitere Angaben über die den Stofftransport beeinflussenden Faktoren, wie Dispersion, Diffusion und die im Grund-

wasserleiter stattfindenden Reaktionen, zum Beispiel Sorptions-, Austausch- und Abbauvorgänge (KINZELBACH, 1987; ROUVÉ und DORGARTEN, 1988). Die Vielfalt und Komplexität real im Grundwasserleiter ablaufender Vorgänge ist noch weitgehend unbekannt und nicht im Detail zu erfassen. Sie können daher immer nur mehr oder minder stark vereinfacht wiedergegeben werden. Am besten gelingt deshalb die Modellierung bei Stoffen, die keinen Reaktionen beim Transport unterliegen. Gut untersucht ist auch der Transport von leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen, dessen Modellierung mit Erfolg in der Praxis durchgeführt wurde (KINZELBACH, 1987).

Der Einsatz von Strömungs- oder Stofftransportmodellen ist im Rahmen der Gefährdungsabschätzung vor allem zur Prognose künftiger Verhältnisse sinnvoll. Sie ermöglicht die Voraussage von Art und Ausmaß der zukünftig auf dem Grundwasserpfad zu erwartenden Gefährdungen und des Zeitpunktes ihres Eintrittes. Solche Modelle können aber auch im Planungsstadium von Sanierungen zur Abschätzung der Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen (Abschn. 4.3.1.3 und 4.3.2.1.2) und bei der Überwachung des Sanierungsprozesses (Abschn. 4.3.3.2) wertvolle Hilfsmittel sein.

**351.** Die hier angesprochenen und noch weitere, für die Bearbeitung altlastverdächtiger Flächen relevante hydrogeologische Fragestellungen sowie die zu ihrer Klärung geeigneten Untersuchungsmethoden lassen sich speziell auf die Untersuchung von Verdachtsflächen ausgerichteten Arbeitsanleitungen entnehmen (HLfU, 1987 b; KERNDORFF et al., 1985; LAGA, 1989; MELF NW, 1985; UM BW, 1988 b).

**352.** Im Hinblick auf ein effizientes und kostengünstiges Vorgehen bei der Untersuchung von Altablagerungen und Altstandorten ist beim Einsatz geologisch-hydrogeologischer Verfahren stets das Verhältnis Aufwand zu Nutzen im Auge zu behalten und die Wahl der Verfahren auf die Situation des Einzelfalles und auf das Ziel der Untersuchung bzw. des Untersuchungsschrittes und damit auf das Ziel der Bewertung abzustimmen. Aufwendige Untersuchungen sind sinnvoll, wenn eine genaue Aussage erforderlich ist, wie beispielsweise bei der Prognose möglicher künftiger Beeinträchtigungen von Schutzgütern. Sie haben aber auch bei orientierenden Untersuchungen ihre Berechtigung, zum Beispiel bei sehr uneinheitlichen Untergrundverhältnissen oder wenn mit einem aufwendigen Verfahren mehrere benötigte Parameter gleichzeitig ermittelt werden können, so daß auf den Einsatz weiterer Verfahren verzichtet werden kann.

#### 3.3.1.4 Chemische und physikalische Untersuchungen

**353.** Analytisch stoffliche Untersuchungen mit chemischen und physikalischen Verfahren dienen vor allem der Feststellung von Verunreinigungen der Umweltmedien, ihrer Identifizierung und Quantifizierung. Daneben können bei Altablagerungen auch abgelagerte Abfälle auf ihre Zusammensetzung untersucht werden. Obwohl bei einigen Altablagerungen Kenntnisse über einzelne abgelagerte Abfallarten vorliegen, ist davon auszugehen, daß umfassende und detaillierte Angaben zum Inhalt von Altablagerungen nicht möglich und auch durch die Untersuchung von Abfallkörpern nicht zu erhalten sind. Es ist deshalb nicht vorherzusagen, mit welchen Schadstoffen bei der einzelnen Altablagerung zu rechnen ist. In den Umweltmedien und auch in den Abfallkörpern müßte nach einer Vielzahl von Stoffen gesucht werden, was aber aufgrund der großen Zahl von Altablagerungen und der praktisch nicht durchführbaren Anzahl von Analysen nicht möglich ist. Deshalb bedarf es einer durchdachten, systematischen Vorgehensweise, um vorhandene Schadstoffe zu erfassen. Allerdings ist bei Informationen über abgelagerte Abfälle oder bei entsprechenden Verdachtsmomenten eine gezielte Analyse auf spezifische Schadstoffe leichter möglich. Im Unterschied zu Altablagerungen ist bei Altstandorten eher zu vermuten, welche Schadstoffe auftreten können, da die früher dort ansässige Branche aus dem Wirtschafts- oder Dienstleistungsbereich meistens bekannt ist.

Aus diesem Sachverhalt ergeben sich zwei unterschiedliche Strategien bei analytischen Untersuchungen:

- Bei Vorinformationen und Verdachtsmomenten ist eine gezielte Untersuchung auf bestimmte Stoffe möglich;
- zur Feststellung und Identifizierung unbekannter Substanzen ist eine systematische Untersuchung erforderlich.

Bei Altablagerungen kann aus den genannten Gründen in der Regel auf die systematische Untersuchung nicht verzichtet werden. Es ist sinnvoll, beide Untersuchungsstrategien miteinander zu kombinieren, wo-

bei die systematische Untersuchung im Vordergrund steht. Bei Altstandorten liegen dagegen bessere Informationen über branchentypische Schadstoffe vor (vgl. Tz. 118), so daß der überwiegende Teil der Analytik auf diese Stoffe abgestellt werden kann. Dadurch verringert sich der Untersuchungsumfang unter Umständen beträchtlich.

**354.** Die durch die Heterogenität der abgelagerten Abfälle bedingte stoffliche Vielfalt von Emissionen aus Altablagerungen erlaubt bei der systematischen Untersuchung keine umfassende Analyse auf alle möglichen Einzelstoffe. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, den Untersuchungsumfang sinnvoll zu begrenzen und eine analytische Strategie zu entwickeln. Eine solche Strategie wird in der Entwicklung abgestufter Analyseprogramme mit der vorrangigen Messung von geeigneten Summen- und Leitparametern und von ausgesuchten Leitsubstanzen gesehen (FRIEGE und SIEVERS, 1986; KERNDORFF et al., 1985; SCHLEYER et al., 1988; SCHULDT, 1988). Der Auswahl dieser Leitsubstanzen kommt größte Bedeutung zu, da von ihnen die Bewertung der altlastverdächtigen Fläche und deren Einstufung als Altlast abhängt. Als geeignete Auswahlkriterien für diese Leitsubstanzen werden die Parameter Toxizität, Vorkommen (Menge/Konzentration), Mobilität, Akkumulierbarkeit und Abbaubarkeit bzw. Persistenz angesehen (LAGA, 1989; SCHLEYER et al., 1988; SCHULDT, 1988).

Als Beispiel für solche, unter den Gesichtspunkten des Gefährdungspotentials ausgewählten Stoffe können die von der Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“ der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall zusammengestellten 76 relevanten Stoffe in Altlasten gelten (Kap. 2.2, Tab. 2.2). Speziell für Grundwasserverunreinigungen werden gegenwärtig unter Einbeziehung amerikanischer Untersuchungen sogenannte Haupt- und Prioritätskontaminanten erarbeitet; letztere sollten nach Ansicht der Bearbeiter in Zukunft vorrangig bei Grundwasseruntersuchungen im Zusammenhang mit Altablagerungen bestimmt werden (SCHLEYER et al., 1988).

**355.** Die analytischen Untersuchungen im Rahmen der Gefährdungsabschätzung können sich meist nicht auf den durch die Altablagerung oder den Altstandort beeinflussten Bereich beschränken. Zur Erkennung einer durch die altlastverdächtige Fläche hervorgerufenen Verunreinigung und um ihre Art und Höhe bewerten zu können, werden mit vergleichbaren Methoden analysierte Referenzwerte aus dem nicht durch das Untersuchungsobjekt beeinflussten Bereich benötigt. Fehlen solche Angaben über die geogene und anthropogene Hintergrundbelastung, muß sich die Untersuchung auch auf ihre Ermittlung erstrecken (vgl. auch Abschn. 2.5.2, Tz. 165).

**356.** Analytische Untersuchungen können vor Ort oder in stationären Laboratorien durchgeführt werden. Gerade in jüngerer Zeit sind Geräte und Techniken für den Geländeeinsatz entwickelt worden. Zu nennen sind beispielsweise entsprechend ausgerüstete Laborwagen (GÖTTNER, 1988), mobile Massenspektrometer zur Boden- und Luftanalyse (MATZ und SCHRÖDER, 1988) oder Schnelltestverfahren für eine erste Übersichtserkundung (BÄTHER und LÖFFEL-

HOLZ, 1988). Der Vorteil, der sich aus dem schnellen Erhalt analytischer Aussagen durch Messung vor Ort ergibt, liegt in der Optimierung des Probenahmeprogramms und in der gezielten Auswahl geeigneter Proben für umfangreichere Untersuchungen in stationären Laboratorien.

**357.** Die Analysen sollen nach den Deutschen Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (DEV), nach DIN-Vorschriften oder mit gleichwertigen Untersuchungsverfahren durchgeführt werden. Multiparameterverfahren zur Bestimmung anorganischer Stoffe wie Ionenchromatographie (IC) oder Plasmaemissionsspektroskopie (ICP) haben aufgrund der Parallelmessung mehrerer Parameter bei umfangreichen Untersuchungen gegenüber Einzelstoffbestimmungen gewisse Zeit- und Kostenvorteile. Nicht für alle Parameter in allen Medien gibt es genormte und abgestimmte Analysevorschriften oder verbindliche Festlegungen für die Probenvorbereitung. Gerade bei der Feststoffuntersuchung besteht noch ein großer Bedarf an verbindlichen Vorgaben (ALBERTI, 1988).

Zur Gewährleistung einer besseren Vergleichbarkeit fordert das Land Nordrhein-Westfalen, daß die chemischen Untersuchungen nach einheitlichen Analyseverfahren durchgeführt werden. Das Land hat deshalb für analytische Untersuchungen im Zusammenhang mit der Altlastenproblematik und der Abfallentsorgung zur Zeit für 107 Parameter einheitliche Analyseverfahren für Feststoffe, wäßrige Lösungen und Lösungen in organischen Lösemitteln festgelegt (MBl. NW 26 vom 3. Mai 1988).

**358.** Der Rat begrüßt die Initiative zur Vereinheitlichung der analytischen Vorgehensweisen, einschließlich der erforderlichen vorbereitenden Schritte, und unterstützt die Bemühungen, sie auszuweiten. Er sieht in der Vergleichbarkeit analytischer Ergebnisse eine notwendige Voraussetzung für die sachgerechte Beurteilung solcher Befunde.

#### Wasseruntersuchungen

**359.** Emissionen aus Altablagerungen und Altstandorten führen in vielen Fällen zu Verunreinigungen des Grundwassers. Für dieses Umweltmedium und Schutzgut liegen zahlreiche Erfahrungen mit analytischen Untersuchungen vor; die meisten der vorhandenen abgestuften Analyseprogramme sind für das Grundwasser entwickelt worden.

**360.** Für die Aussagekraft von Grundwasserproben ist die an der Problemstellung orientierte Lage und Anordnung der Grundwassermeßstellen ausschlaggebend (vgl. Abschn. 3.3.1.3). Welche Art von Proben (Mischproben oder tiefenorientierte Proben) aus welcher Tiefe entnommen werden sollen, muß sich nach den lokalen Gegebenheiten und der Fragestellung richten. Zur Durchführung von Grundwasserprobenahmen sind zahlreiche ausführliche Hinweise und Empfehlungen erarbeitet worden (ARNETH et al., 1986; DIN 38 402 Teil 13; DVWK-Merkblatt 203; HLFU, 1987 b; LAGA-Richtlinien PN 1/75 und WÜ/77; LWA, 1989; OBERMANN, 1985; UM BW, 1988 b;

VAN BERK, 1989). Vom Technischen Komitee TC 147 „Wasserbeschaffenheit“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) wird eine umfassende Anleitung zur Bestimmung der Wasserqualität erstellt, die Hinweise zur Probenahme und Analysevorschriften enthält; einige Normen sind verabschiedet und zahlreiche Entwürfe liegen vor.

**361.** Für die systematische Untersuchung von Altablagerungen gibt es bezüglich der zu untersuchenden Grundwasserinhaltsstoffe keine einheitlichen Empfehlungen. Die notwendige Reduzierung des analytischen Aufwandes führte gerade für den Grundwasserbereich zur Entwicklung abgestufter Analyseprogramme, die jedoch in der Anzahl der Analyseschritte und in Art und Umfang der in den einzelnen Schritten zu untersuchenden Stoffe deutliche Unterschiede erkennen lassen (vgl. Tab. 3.5); sie sind auf die unterschiedlichen Ziele der Analyseschritte zurückzuführen (vgl. Tz. 434 ff.).

Zum Nachweis des Vorliegens oder Fehlens von Grundwasserbeeinflussungen durch eine Altablagerung ist die Analyse von abfalltypischen Parametern geeignet. Hierzu gehören sowohl toxikologisch relevante als auch weniger relevante Stoffe. Vertreter der letztgenannten Gruppe sind in Parameterlisten des 1. Analyseschritts ebenfalls enthalten (Tab. 3.5). Sie eignen sich nur zur Erkennung, nicht aber zur Beurteilung einer Verunreinigung.

In dem Bestreben, den Untersuchungsaufwand bei der Beschaffung ausreichender entscheidungsrelevanter Informationen zu minimieren, reduzierten KERNDORFF et al. (1985) den zur Erkennung von Grundwasserbeeinflussungen durch Abfallablagerungen erforderlichen Untersuchungsaufwand auf nur vier charakteristische Parameter („Screening“, Tab. 3.5). Neben dem Nachweis, daß Emissionen aus Altablagerungen ins Grundwasser gelangen, geben diese Parameter über ihre Höhe auch an, ob weitere Untersuchungen notwendig sind und welche Stoffgruppen im 2. Analyseschritt untersucht werden müssen (BRILL et al., 1986; KERNDORFF et al., 1985).

Die Beurteilung des Gefährdungspotentials von altlastverdächtigen Flächen ist nur über die Identifizierung und Quantifizierung toxikologisch relevanter Einzelstoffe möglich. Je nach Zielsetzung der Analyseschritte erfolgt die Bestimmung solcher Substanzen bereits im ersten oder erst in späteren Analyseschritten. Aufgrund der großen Zahl möglicher Schadstoffe und ihrer Bedeutung für die Bewertung der Verdachtsfläche muß eine fundierte Auswahl der zu analysierenden Substanzen nach geeigneten Kriterien getroffen werden (Tz. 354). Tabelle 3.5 gibt einen Überblick über von verschiedenen Bearbeitergruppen ausgewählte umweltrelevante Stoffe und zeigt, welcher dieser Stoffe in welchem Analyseschritt bestimmt werden soll.

**362.** Bei der gezielten Suche nach branchenspezifischen Stoffen bei Altablagerungen und besonders bei Altstandorten sind Zusammenstellungen der für bestimmte Wirtschaftszweige und Dienstleistungsbereiche typischen Stoffe und Abfälle hilfreich. Neben den bereits bei der Erfassung genannten Übersichten (Tz. 305) sind weitere spezifische Stofflisten aufge-

Tabelle 3.5

**Beispiele für abgestufte chemische Analyseprogramme zur systematischen Untersuchung von Grundwasserkontaminationen durch Altablagerungen**

	1. Analyseschritt	2. Analyseschritt	3. Analyseschritt
Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU, 1987 b)	<p><i>Feldparameter:</i> Temperatur, Färbung, Trübung, Geruch, pH-Wert, Eh-Wert, rH-Wert, Leitfähigkeit, O<sub>2</sub></p> <p><i>anorganische Parameter, Metalle:</i> Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, P ges., NH<sub>4</sub>, Na, K, Mg, Ca, Mn, Fe ges., CN ges., Cr, Zn, Ni, Pb, Hg, Cu, Cd, Se, As, B</p> <p><i>Summenparameter:</i> Abdampfrückstand, Glührückstand, CSB, AOX, Kohlenwasserstoffe (DEV H 18), Phenol-Index, DOC, POX, PAH (6 Einzelkomp. nach TrinkwV)</p>	<p><i>zusätzlich zum 1. Analyseschritt beispielsweise:</i> CKW: Tetrachlormethan, Trichlormethan, Dichlormethan, 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen, cis-1,2-Dichlorethen</p> <p>Organochlorpestizide, Organophosphorpestizide, Triazinherbizide, Phenoxyalkancarbonsäuren, PCB, Benzol, Toluol, Kohlenwasserstoffe, (DEV H 17)</p> <p>radioaktive Isotope: Cs 134, Cs 137, Sr 90, Tritium</p>	
Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg (UM BW, 1988 b)	<p>Färbung (qual. u. Extinktion bei 436 nm), Trübung, Geruch, Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Säurekapazität bis pH 4,3, Gesamthärte, Ca, Mg, Na, K, NH<sub>4</sub>, Fe, Mn, Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, B, O<sub>2</sub>, DOC, UV-Extinktion bei 254 nm, AOX, POX, HKW</p>	<p>Schwermetalle: Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Cr, Kohlenwasserstoffe, Benzol/Toluol/Xylol/halogenfreie Lösemittel (GC-FID oder GC-MS), CN ges.</p>	<p><i>beispielsweise:</i> Phenole, PAH, Pestizide, weitere Schwermetalle, z. B. As, Hg, V, PCB, organisch-chem. Spurenstoffe</p>
KERNDORFF et al. (1985)	<p><i>Feldparameter:</i> Färbung, Trübung, Geruch, Temperatur, pH-Wert, Eh-Wert, Leitfähigkeit</p> <p><i>Screening:</i> B, SO<sub>4</sub>, AOX, GC-fingerprint (GC-ECD/FID)</p>	<p><i>Problemstoffanalytik:</i></p> <p><i>Gruppe 1:</i> 1. Prior.: As, Cd, Cr, Ni, Pb, CN 2. Prior.: Be, Hg, Sb, Se, V... (Targets)</p> <p><i>Gruppe 2:</i> 1. Prior.: Cu, Zn, Fe, Mn, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, TOC 2. Prior.: NO<sub>2</sub>, F, Co, Ba, Ag... (Targets)</p> <p><i>organische Stoffe:</i> <i>halogenhaltig:</i> Gruppe 1: Dichlormethan, Trichlormethan, Tetrachlormethan, 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen Gruppe 2: 1,1-Dichlorethan, 1,2-Dichlorethan, 1,1-Dichlorethen, Tribrommethan, Chlortribrommethan, Chlorbenzole</p> <p><i>halogenfrei:</i> Gruppe 1: Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol, Isopropylbenzol Gruppe 2: Di-n-butylphthalat, Diethylphthalat, Bis(2-ethylhexyl)-Phthalat, 2-Methylphenol, Naphthalin</p>	<p><i>Detailuntersuchungen (individuell):</i> GC-MS: Identifikation gaschrom. Stoffe in 2 Stufen HPLC: fingerprints polarer Verbindungen, PAH Wirktests, radioaktive Isotope, Phenol-Index Sedimentuntersuchungen auf anorg. und org. Stoffe</p>

noch Tabelle 3.5

noch Beispiele für abgestufte chemische Analyseprogramme zur systematischen Untersuchung von Grundwasserkontaminationen durch Altablagerungen

	1. Analyseschritt	2. Analyseschritt	3. Analyseschritt
Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen (LWA, 1989)	<p><i>orientierende Untersuchung im Unterstrom (Stufe A1):</i>  <i>vor-Ort-Untersuchung:</i>            Färbung, Trübung, Geruch, Temperatur, pH-Wert, Eh-Wert, Leitfähigkeit, O<sub>2</sub></p> <p><i>Laboratorium:</i>            Cl, SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, ICP-OES-Screening:            Fe, Cu, Ni, Cr, Zn, B            DOC, AOX, GC-FID-Screening, (POX od. GC-ECD-Screening), (Kohlenwasserstoffe) Toxizitätstests</p>	<p><i>orientierende Untersuchung im Ober- und Unterstrom (Stufe A2):</i>            Parameter wie Stufe A1</p>	<p><i>Detailuntersuchung (Stufe B)</i>            Parameter der Stufen A1/A2 und zusätzlich NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, Mn, Ca, Mg, Na, K, Säure- u. Basekapazität, Carbonathärte, Pb, Cd, As, CN ges., (CN leicht freisetzbar), (Sulfid), Kohlenwasserstoffe, POX, GC-ECD-Screening, Phenol-Index, (PAH)            spezielle Untersuchungen auf für bestimmte Branchen oder Abfälle charakteristische Stoffe</p>
Arbeitsgemeinschaft Wasserwirtschaft im Schleswig-Holsteinischen Landkreistag (1986)	<p><i>Regeluntersuchung:</i>  <i>qualitat. Beobachtung u. phys. Messungen:</i>            Färbung, Trübung, Geruch, Bodensatz, Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit  <i>allgem. chemische Untersuchungen:</i>            O<sub>2</sub>, DOC, N ges., Säure- und Basekapazität  <i>anorganische Hauptinhaltsstoffe:</i>            Na, K, Ca, Mg, NH<sub>4</sub>, Fe ges., Mn, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, B, Sulfid-S  <i>Spurenhaltstoffe:</i>            Zn, Gesamtextrakt, Kohlenwasserstoffe (DEV H 18), AOX, (EOX)</p>	Analyse auf spezifizierte Parameter	

Quelle: SRU, eigene Zusammenstellung

stellt worden. So hat beispielsweise das Landesoberbergamt Nordrhein-Westfalen eine Liste für die Bestimmung kokereispezifischer Stoffe im Grundwasser veröffentlicht (Landesoberbergamt NW, 1985), die von RICHTER et al. (1988) ergänzt worden ist (Tab. 3.6).

**363.** Die für Grundwasseruntersuchungen erstellten Stofflisten können auch auf Oberflächenwasser- und Sickerwasseruntersuchungen angewendet werden, wobei für Sickerwasser auch eigene Stofflisten aufgestellt worden sind (LAGA-Richtlinie WÜ/77; UM BW, 1988 b), die sich jedoch nur geringfügig von denen für Grundwasser unterscheiden.

Sickerwasseruntersuchungen sind bei vielen Altablagerungen nicht möglich, da in der Regel keine Sickerwasserfassungen vorhanden sind. Ersatzweise kann gegebenenfalls Stauwasser untersucht werden.

Hinweise zu speziellen Fragen der Probenahme aus Oberflächengewässern enthalten die LAGA-Richtlinie PN 1/75 sowie DIN 38 402 Teil 12 und Teil 15. Aussagen zu länger zurückliegenden Schadstoffeinträgen in Oberflächengewässer kann aufgrund der Stoffanreicherung an Feststoffpartikeln die Untersuchung von Gewässersedimenten erbringen; hierbei können Verfahren für Bodenuntersuchungen angewendet werden.

#### Feststoffuntersuchungen

**364.** Verunreinigungen von Böden und Untergrund erfolgen durch Direktkontakt mit Abfällen, durch in das Erdreich eingedrungene Stoffe oder über den Wasser- oder Luftpfad. Art und Menge im Boden verbleibender Stoffe sind sowohl substanz- als auch un-

Tabelle 3.6

## Parameter für Wasseruntersuchungen auf kokereispezifische Stoffe

	1. Untersuchungsphase	2. Untersuchungsphase	bei Bedarf zu untersuchen
Gruppe 1	Färbung, Trübung, Geruch, Leitfähigkeit, pH-Wert, Stickstoff ges. (Kjeldal), Schwefel ges., Cyanid ges., Chlorid	Säurekapazität bis pH 4,3, Gesamthärte, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Sulfat, Sulfit, Sulfid, Cyanid frei	Calcium
Gruppe 2	Arsen, Cadmium, Chrom, Blei, Quecksilber	Nickel, Kupfer	Aluminium, Eisen, Mangan, Zink
Gruppe 3	TOC, Kohlenwasserstoffe (IR), CSB, EOX/AOX, PAH-Vortest, Phenol-Index, GC-MS qualitativ, GC-ECD qualitativ	Kohlenwasserstoffe (GC), HKW/CKW, PAH (GC), Aromaten (Benzol, Toluol, Xylole) (GC), Phenole (GC), GC-MS ident. quantitativ, GC-ECD ident. quantitativ	BSB <sub>5</sub> , Toxizitätstest

Quelle: SRU, nach RICHTER et al., 1988

tergrundabhängig und können infolge heterogenen Untergrundaufbaus bereits auf kleinen Entfernungen stark variieren. Die Frage der Repräsentativität der entnommenen Proben ist deshalb immer besonders zu beachten.

**365.** Während für die Beurteilung von Gefährdungsmöglichkeiten über die Wege der oralen Bodenaufnahme, des Stoffüberganges in Pflanzen und der Verwehung oder Abschwemmung die oberen Bodenbereiche relevant sind, ist für die Erfassung der Bodenbelastungssituation insgesamt und für die Einschätzung des Gefährdungspotentials für das Grundwasser und des Gasbildungspotentials auch der tiefere Untergrund zu untersuchen. Bodenproben können entweder in einem standortspezifisch festzulegenden Raster oder verstärkt und gezielt in Verdachtsbereichen entnommen werden. Die Entnahme von Proben aus dem oberen Bodenbereich und dem tieferen Untergrund ist durch Sondierbohrungen oder durch Kern- und Trockenbohrungen, die Probenahme in der Nähe der Erdoberfläche auch durch Schürfe möglich (Tz. 341f.). Es gibt noch keine verbindlichen oder allgemein anerkannten Vorschriften für die Probenahme. Empfehlungen zur Entnahme von Bodenproben finden sich in der Literatur, beispielsweise in FRIESEL et al. (1988), HLFU (1987b), den LAGA-Richtlinien PN 2/78 und PN 2/78 K, LEUCHS (1989) und LÖLF (1988).

**366.** Auch bei Bodenuntersuchungen sind abgestufte Vorgehensweisen und Analysekonzepte sinnvoll, die mit einfach zu ermittelnden aber aussagekräftigen Parametern beginnen. Es gibt erst wenige solcher Konzepte. Auf den Erfahrungen aus zahlreichen Altlastfällen basiert das hierarchische Untersuchungssystem der Hamburger Umweltbehörde, das mit Summenparametern und leicht zu bestimmenden Parametern zunächst die Problematik eingrenzt, so daß die aufwendige Einzelstoffanalytik gezielt eingesetzt werden kann (FRIESEL et al., 1988). Von LEUCHS et al. (1989) wird über Ansätze und Überlegungen zu Bodenuntersuchungen im Hinblick auf mögliche Grundwasserverunreinigungen berichtet.

Diese Ausführungen geben den Stand der Diskussion einer Arbeitsgruppe des Landesamtes für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen wieder, die einen Leitfa-den für Feststoffuntersuchungen bei Altablagerungen und Altstandorten erarbeitet. Die Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen (LÖLF) hat ein „Mindestuntersuchungsprogramm Kulturboden“ für die Gefährdungsabschätzung landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter Böden entwickelt (LÖLF, 1988). Bei der Auswahl zu analysierender Stoffe ist unter dem Aspekt des Überganges von Schadstoffen aus dem Boden in die Pflanze nach Ansicht von KÖNIG (1987) der Schwerpunkt auf solche Stoffe zu legen, die human-, zoo- und/oder phytotoxikologisch relevant und persistent sind und die bevorzugt im Boden angereichert werden. Das stufenweise gegliederte Analyseprogramm für Kulturböden sowie einige weitere Beispiele ausgewählter Stoffe zur Analyse von Bodenproben enthält Tabelle 3.7. Bei Verdacht auf bestimmte, zum Beispiel branchentypische Schadstoffe kann eine gezielte Analyse dieser Stoffe erfolgen. So sind beispielsweise für die Untersuchung von Kokerei- und Gaswerksstandorten spezifische Analyseparameter für Bodenuntersuchungen zusammengestellt worden (FRIMAN und MAROSE, 1987; Landesoberbergamt NW, 1985; RICHTER et al., 1988).

**367.** Zur Erfassung der Schadstoffgehalte insgesamt und der mobilisierbaren Anteile müssen Bodenproben in der Regel aufgeschlossen, eluiert oder extrahiert werden. Einige Schadstoffe sind mit Analyseverfahren wie zum Beispiel Röntgenfluoreszenz und Infrarotspektroskopie auch direkt, ohne vorherigen Aufschluß, zu bestimmen. Nützliche Hinweise zu Extraktions-, Aufschluß- und Analyseverfahren, insbesondere für die Untersuchung organischer Verbindungen, geben unter anderem RUMP und SCHOLZ (1989).

**368.** Gleichgewichtig neben der Schadstoffuntersuchung muß die Ermittlung von Bodeneigenschaften stehen, die Einfluß auf die Rückhaltefähigkeit für che-

mische Stoffe haben, wie die Partikelgröße, der Gehalt an Tonmineralen und organischen Bestandteilen, der pH-Wert und die Austauschkapazität. Verfahren, nach denen die Bestimmung erfolgen kann, finden sich beispielsweise bei SCHLICHTING und BLUME (1976).

**369.** Umfassende Anleitungen zur Entnahme von Bodenproben und zur Untersuchung der Bodenbeschaffenheit und Bodeneigenschaften werden gegenwärtig vom Technischen Komitee TC 190 „Bodenbeschaffenheit“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet.

**370.** Einen wichtigen Beitrag zur Gewährleistung der erforderlichen Vergleichbarkeit bei Bodenanspra-

che und Ermittlung von Bodenbelastungen bieten bodenkundliche Kartieranleitungen. Die bisher für naturnahe und agrarisch genutzte Böden vorhandenen Kartieranleitungen sind um eine Anleitung zur Kartierung von Stadtböden erweitert worden, die vom Arbeitskreis „Stadtböden“ der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft erarbeitet worden ist (BLUME et al., 1989). Damit soll der größeren Differenzierung der Stadtböden aufgrund stärkerer Belastungen Rechnung getragen und eine sachgerechte Bewertung ermöglicht werden.

**371.** Die Schwierigkeiten bei der Untersuchung von Abfallkörpern bestehen einerseits in der Entnahme repräsentativer Proben aus einem inhomogenen Abfallkörper; andererseits ist die mögliche gesundheitli-

Tabelle 3.7

**Beispiele von Parameterlisten zur Untersuchung von Bodenproben**

Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg (UM BW, 1988 b)	<i>Feststoff</i>	Färbung, Geruch, Konsistenz, Homogenität, Brennbarkeit (Flammpunkt), Heizwert, Abdampfrückstand, Glührückstand, org. geb. Kohlenstoff, org. geb. Chlor bzw. Halogen, anorg. Chlor, org. Schwefel, anorg. Schwefel, Kohlenwasserstoffe, leichtfl. Aromaten (Benzol, Toluol, Xylole), Teerkohlenwasserstoffe, PAH, schwerfl. CKW, PCB, HCH, PCP, HCB, Phenole wasserdampf-flüchtig, Hg, As, Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K, CN ges., CN leicht freisetzbar, Cl, F, SO <sub>4</sub> , CO <sub>3</sub>
	<i>Eluat</i>	Färbung (qual.), Trübung (qual.), Geruch (qual.), Färbung (Extinktion bei 436 nm), Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Säurekapazität bis pH 4,3, Gesamthärte, Abdampfrückstand, Glührückstand, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, NH <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , Cl, F, SO <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> , B, CN leicht freisetzbar, CN ges., O <sub>2</sub> , Hg, As, Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, Cr (VI), H <sub>2</sub> S/Sulfide, UV-Extinktion bei 254 nm, TOC/DOC, CSB, AOX, Kohlenwasserstoffe, Phenol-Index, leichtfl. HKW (GC-ECD), Benzol/Toluol/Xylole/Lösemittel halogenfrei (GC-FID), Teerkohlenwasserstoffe, PAH, PCB, Pestizide
Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU, 1987 b)	<i>Feststoff</i>	Feldparameter: Aussehen, Geruch, Konsistenz, Bodenart anorganische Parameter, Metalle: Na, Mg, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb Summenparameter: pH-Wert, Trockenrückstand, Glühverlust, Phenole ges., EOX, Kohlenwasserstoffe
	<i>Eluat</i>	Feldparameter: Aussehen, Geruch anorganische Parameter, Metalle: Cl, SO <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> , Na, Mg, K, Ca, Cr, Cr (VI), Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb Summenparameter: pH-Wert, Leitfähigkeit, Abdampfrückstand, Glührückstand, Säurekapazität bis pH 4,3, DOC, CSB, Phenol-Index
Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen (LÖLF, 1988)	Analytik auf generelle Parameter: – Bodenparameter: pH-Wert, Tongehalt, org. Substanz, Leitfähigkeit – anorg. Leitparameter: Pb, Zn, Cd (Königswasseraufschluß) und Übersichtsanalyse – org. Schadstoffe: org. Halogenverbindungen, stichprobenartige Untersuchung auf PAH	erweiterte Analytik auf zusätzliche Parameter: – anorg. Parameter: Cu, Cr, Ni, Hg, As (Königswasseraufschluß), Tl (Salpetersäureaufschluß), Cd (CaCl <sub>2</sub> -Extrakt) – Bestimmung der PAH in allen Proben – PCB (Einzelkomp. Nr. 28, 58, 101, 138, 153, 180) – weitere Parameter je nach Vorinformation bzw. den Ergebnissen der Übersichtsanalysen – Kleingefäßtest nach NEUBAUER

Quelle: SRU, eigene Zusammenstellung

che Gefährdung der Probenehmer, zum Beispiel durch Deponiegas oder durch den Kontakt mit hochkonzentrierten Schadstoffen, erschwerend. Eine routinemäßige Untersuchung von Abfallkörpern wird deshalb nicht für sinnvoll erachtet, auch weil Beschädigungen der Deponiebegrenzung zu befürchten sind.

Regeln und Hinweise zur Entnahme und Analyse von Bodenproben einschließlich der genannten Parameterlisten (HLfU, 1987 b; UM BW, 1988 b; siehe Tab. 3.7) lassen sich auch für Untersuchungen des Abfallkörpers anwenden. Spezielle Anhaltspunkte für die Entnahme und Untersuchung von Abfallproben finden sich in den LAGA-Richtlinien CN 2/79, EW/77, LM/84, PN 2/78, PN 2/78 K und SM 2/79. Hinweise zum Arbeitsschutz bei der Probenahme enthalten die Sicherheitsregeln der Berufsgenossenschaften (BG, 1989).

#### Gas- und Bodenluftuntersuchungen

**372.** Aus Abfallkörpern, aber auch aus belasteten Bodenbereichen oder Grundwässern können organische Stoffe mit hohem Dampfdruck direkt in die Gasphase übertreten, zum Beispiel leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe. Solche Stoffe können sowohl in Altablagerungen und im Luftraum darüber als auch in der Bodenluft in der Umgebung entsprechender Kontaminationsherde nachgewiesen werden. Gase bilden sich zum anderen durch die in Altablagerungen ablaufenden biologisch-chemischen Prozesse bei der Umwandlung organischer Substanzen („Deponiegase“) und entstehen deshalb vor allem bei Altablagerungen mit hohen Hausmüllanteilen oder auch mit abbaubaren organischen Abfällen aus dem Gewerbe- und Industriebereich. Auch chemische Reaktionen der in Altablagerungen oder an Altstandorten auftretenden Stoffe untereinander oder mit eingedrungene Niederschlagswasser können zur Gasbildung führen. Das Vorhandensein von Gasen ist oft schon durch Schäden an der Vegetation zu erkennen.

**373.** Gase können entweder direkt aus dem Bereich der altlastverdächtigen Fläche austreten oder sich auf gasdurchlässigen Bahnen im Untergrund ausbreiten und erst außerhalb der Verdachtsfläche an Stellen geringen Widerstandes aus dem Boden entweichen. Dies ist bei der Probenahme zu beachten. Da sich Gase in geschlossenen Räumen anreichern, sind Gas- und Bodenluftuntersuchungen vor allem bei Verdachtsflächen, die bebaut sind, vorzunehmen. Die Probenahme kann entweder im statistischen Raster oder gezielt in Verdachtsgebieten erfolgen. Vereinheitlichte, standardisierte Probenahmetechniken liegen bisher nicht vor, so daß die durch verschiedene Methoden erhaltenen Ergebnisse im allgemeinen nicht vergleichbar sind. Mit der VDI-Richtlinie 3865 liegen Anleitungen zur Bodenluftentnahme und -analytik im Entwurf vor bzw. sind in Vorbereitung, von denen zu hoffen ist, daß sie zu einer einheitlichen Vorgehensweise und damit zu vergleichbaren Ergebnissen führten.

Für einen ersten Überblick lassen sich Gasspürröhrchen verwenden, deren Einsatzgrenzen aber unbe-

dingt zu beachten sind (vgl. auch LEICHNITZ, 1988). Die Entnahme von Deponiegasproben erfolgt in der Regel über feste Entnahmestellen (HLfU, 1987 b), da diese mehrmalige Probenahmen am selben Ort oder kontinuierliche Messungen ermöglichen. Durch die Geländeoberfläche austretende Gase können mit einem aufgesetzten nach unten offenen Behälter, der sogenannten Lemberger Box, erfaßt werden (RETTENBERGER, 1988). Für eine einmalige Probenahme, insbesondere zur Untersuchung der Bodenluft, werden unterschiedliche Entnahmetechniken angewendet. Zum Beispiel wird die Bodenluft aus einem Sondierbohrloch über eine eingebrachte Entnahmesonde durch Pumpen angesaugt und zur Anreicherung von Spurenstoffen über eine Adsorbersäule geleitet (KANITZ, 1985). In einem anderen Verfahren wird die Bodenluftprobe ebenfalls aus einem Sondierbohrloch entnommen, jedoch mit einer in die Entnahmesonde eingepaßten Spritze (MELUF BW, 1985; NEUMAYR, 1986). Übersichten über verschiedene Möglichkeiten der Bodenluftentnahme und ihre Vor- und Nachteile finden sich bei NICKEL (1989). Proben des Luft-Gasgemisches in Räumen werden meist in Bodennähe direkt in entsprechende Behältnisse abgefüllt (HLfU, 1987 b).

**374.** Abgestufte analytische Vorgehensweisen sind auch bei Gas- und Bodenluftuntersuchungen zweckmäßig. Es liegen jedoch erst wenige Ansätze für Untersuchungen von Altablagerungen vor (HLfU, 1987 b; IWS und TGU, 1988; Tab. 3.8). Bei konkreten Hinweisen auf spezifische Abfälle oder Schadstoffe ist eine gezielte Analytik möglich. Die Analyse der Proben erfolgt gaschromatographisch und kann heute mittels transportabler Geräte sogar bei massenspektrometrischer Identifizierung vor Ort vorgenommen werden.

**375.** Durch Bodenluftuntersuchungen können mit relativ flüchtigen Stoffen verunreinigte Bodenbereiche erkannt und eingegrenzt werden; unter günstigen Bedingungen sind auch Grundwasserbelastungen durch diese Stoffe festzustellen. Die Methode wurde mit gutem Erfolg in den vergangenen Jahren vor allem bei leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen (HAGENDORF, 1986; MELUF BW, 1985; NEUMAYR, 1986; UM BW, 1988 b), aber auch aromatischen Kohlenwasserstoffen, Benzinen und Lösemitteln mittlerer bis hoher Flüchtigkeit (UM BW, 1988 b) angewandt.

#### Qualitätssicherung

**376.** Die analytischen Untersuchungen dienen der Erkennung von Verunreinigungen, ihrer Identifizierung und Quantifizierung. Auf diese Ergebnisse stützen sich die Gefahrenbeurteilungen und die davon abhängigen weiterreichenden Maßnahmen. Falsche Einschätzungen des Gefährdungspotentials können einerseits enorme Fehlinvestitionen für unnötige Maßnahmen zur Folge haben, andererseits bei unterlassener Gefahrenabwehr zu schwerwiegenden Schädigungen des Menschen und der Umwelt führen. Es ist deshalb verständlich, daß an die Verlässlichkeit, d. h. die Präzision und die Richtigkeit, der Analyseergebnisse hohe Anforderungen gestellt werden. Nicht nur die analytischen Untersuchungen, sondern auch



Tabelle 3.8

## Beispiele von Parameterlisten zur Untersuchung von Deponiegas- und Bodenluftproben

Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU, 1987 b)	<p><i>Normaluntersuchungen:</i></p> <p>Feldparameter: Boden: Aussehen, Geruch, Konsistenz Gase: Methan, Kohlendioxid</p> <p>Laboratorium: Sauerstoff, Stickstoff, Methan, Kohlendioxid, Argon</p>	<p><i>Sonderuntersuchungen:</i></p> <p>beispielsweise Wasserstoff, Mercaptane, Schwefelwasserstoff, Schwefelkohlenstoff, aromatische Kohlenwasserstoffe, chlorierte Kohlenwasserstoffe: Chlormethan, Dichlormethan, Trichlormethan, Dichlordifluormethan, Trichlorfluormethan, 1,1-Dichlorethan, 1,2-Dichlorethan, 1,1,1-Trichlorethan, 1,1,2-Trichlorethan, 1,1-Dichlorethen, Trichlorethen, Tetrachlorethen, Dichlordifluorethen, Trichlorfluorethen, Hexachlorethan, Chlorbenzol, Dichlorbenzol, Trichlorbenzol, Chlortoluol, Monochlorethen</p>
Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg (UM BW, 1988 b)	Stickstoff, Sauerstoff, Methan, Kohlendioxid, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Phosphorwasserstoff, Ethin (Acetylen), Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid Tetrachlorethen, Trichlorethen, 1,1,1-Trichlorethan, cis-1,2-Dichlorethen, Monochlorethen (Vinylchlorid), Dichlormethan, Frigen 11, Frigen 12, Frigen 21, Frigen 22, Frigen 113 Kohlenwasserstoffe (Benzinfraktion), Benzol, Toluol, Xylol	
Institut für wassergefährdende Stoffe und Technologieberatung Grundwasser und Umwelt (IWS und TGU, 1988)	<p><i>Stufe I:</i></p> <p>Methan, Kohlendioxid, Stickstoff, Sauerstoff, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, (Argon)</p>	<p><i>Stufe II:</i></p> <p>Tetrachlorethen, Trichlorethen, 1,1,1-Trichlorethan, cis-1,2-Dichlorethen, Monochlorethen (Vinylchlorid), Dichlormethan, Benzol, Toluol, Xylol, Frigene</p>

Quelle: SRU, eigene Zusammenstellung

alle anderen in Abschnitt 3.3.1 erwähnten Untersuchungen müssen verlässliche Ergebnisse erbringen. Bei diesen Untersuchungen muß sehr sorgfältig nach entsprechenden Verfahrensanleitungen gearbeitet werden; die einzelnen Arbeitsschritte sind nachvollziehbar zu dokumentieren.

**377.** Mit der in den letzten Jahren zunehmend erkannten Notwendigkeit, Altablagerungen und Altstandorte im Hinblick auf ihr Gefährdungspotential zu bewerten, hat der Umfang der analytischen Aufgaben zugenommen. Als Folge hat sich der Kreis der Untersuchungsstellen und Prüflaboratorien vergrößert. Die Erfahrung lehrt, daß Expansion mit Qualitätsverlust verbunden sein kann.

**378.** Neben einheitlichen Analyseverfahren ist die Qualitätssicherung, früher sehr oft auch Qualitätskontrolle genannt, ein wichtiges Hilfsmittel zur Gewähr verlässlicher Analyseergebnisse.

Von FUNK (1985) sind beispielsweise Vorschläge zur Qualitätssicherung der Wasseranalytik entwickelt worden. Im Rahmen des amerikanischen nationalen Vertragslabor-Analysenprogramms (NCLAP = National Contracts Laboratory Analytical Program) der Um-

weltschutzbehörde der Vereinigten Staaten (EPA) werden zwei Teilprogramme zur Qualitätssicherung durchgeführt (GURKA et al., 1982).

**379.** Soweit der Rat die derzeitige Situation in der Bundesrepublik übersieht, sind noch keine einheitlichen Festlegungen zur Qualifikation von Untersuchungsstellen für den Bereich der altlastverdächtigen Flächen vorhanden. Er ist der Auffassung, daß die Sicherstellung der Qualifikation von Untersuchungsstellen und die der Qualität von Untersuchungsergebnissen auch in der Bundesrepublik einheitlich geregelt werden muß. Zumindest sollte sich der entsprechende Länderausschuß mit der Festlegung von Kriterien für die Beurteilung derartiger Untersuchungsstellen bzw. Prüflaboratorien beschäftigen. Beispielhaft sei hier auf die Rahmenempfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für die analytische Qualitätssicherung von Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen (LAWA, 1989), die Richtlinien des Länderausschusses für Immissionsschutz für die Bekanntgabe von Stellen zur Ermittlung von Emissionen und Immissionen nach §§ 26 und 28 BImSchG (MBl. NW 33 vom 12. Mai 1986) und auf die Anforderungen an Meßstellen zur Durchführung der Messun-

gen gefährlicher Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz (TRGA 400, 1985) verwiesen. Auch gibt der Norm-Entwurf DIN 66 066, Teil 1 „Allgemeine Kriterien und Empfehlungen für Prüflaboratorien und Akkreditierungsstellen“ vom Januar 1988 wichtige Hinweise.

**380.** Die Untersuchungsqualität läßt sich durch interne und externe Kontrollmaßnahmen gewährleisten, die Bestandteile eines in sich geschlossenen Qualitätssicherungssystems sein müssen. Bei den internen Qualitätssicherungsmaßnahmen der Analytik sollten vorrangig Qualitätskontrollkarten angelegt werden (FUNK, 1985; LWA, 1989); in der externen Qualitätssicherung ist der Ringversuch eine wichtige Maßnahme. Ringversuche können dazu beitragen, die Inhomogenitäten in der analytischen Leistungsfähigkeit der verschiedenen Untersuchungsstellen zu erkennen und sehr oft zu vermindern. Sie spiegeln durch die externe Vergleichbarkeit die analytische Qualität der teilnehmenden Untersuchungsstellen wider (BUCK, 1981).

**381.** Ringanalysen, die das ganze Spektrum der Möglichkeiten bei den Untersuchungen von Verunreinigungen im Zusammenhang mit Altablagerungen und Altstandorten abdecken und repräsentieren, sind nicht realisierbar. Aus diesem Grunde empfiehlt der Rat, daß im zuständigen Länderausschuß oder in anderen technisch-wissenschaftlichen Gremien Empfehlungen ausgearbeitet werden, für welche Kontaminanten und Matrices es im Hinblick auf die Gefährdungsabschätzung und Sanierungsmaßnahmen nützlich und zweckmäßig ist, Ringanalysen durchzuführen. Hier sollte ein Kompromiß zwischen dem wissenschaftlich Wünschenswerten und dem technisch und wirtschaftlich Machbaren angestrebt werden.

**382.** Es bleibt bei einzelnen schwer nachweisbaren Kontaminanten – besonders im Bereich sehr geringer Konzentrationen – nicht aus, daß für derartige Analysen am Anfang nur einzelne, durch langjährige und einschlägige Erfahrungen hochqualifizierte Untersuchungsstellen geeignet sein werden. Diese Erfahrungen lassen sich durch den Einsatz von automatischen Analysegeräten oder Laborrobotern nur zum Teil ersetzen, weil sie allein keine Fachkompetenz darstellen.

**383.** Bei der Qualitätssicherung analytischer Ergebnisse muß auch bedacht werden, daß es bis heute nur wenige Festlegungen zur Qualitätssicherung der präanalytischen Phase gibt, die durch Probenahme, Konservierung, Transport, Lagerung und Probenvorbereitung gekennzeichnet ist. Hierbei auftretende Fehler werfen große und oft noch gravierendere Probleme bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse auf als analytische Fehler (ALBERTI und FRIEGE, 1987; HLFU, 1987 b). Man kann sich zur Zeit nur auf entsprechende Verfahrensrichtlinien stützen, von denen einige in Abschnitt 3.3.1.4 genannt sind. Hier ist eine konsequente Erziehung zur Selbstkritik der analytisch arbeitenden Wissenschaftler durch Hochschulen, Berufsverbände und wissenschaftliche Gesellschaften notwendig.

Ganz wesentlich ist die genaue Dokumentation aller im Zusammenhang mit der präanalytischen Phase wichtigen Sachverhalte, damit jederzeit nachvollzieh-

bar ist, unter welchen Bedingungen die Probe entnommen, wie sie konserviert, transportiert, gelagert und für die Analyse vorbereitet wurde. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, mittels Blindproben Kontaminationen bei Probenahme und Probenvorbereitung zu erkennen (LWA, 1989).

**384.** Weiterhin fehlt es an einer größeren Zahl von Richtigkeitskontrollproben (zertifizierte Standardproben) für die interne Qualitätssicherung der Analyseergebnisse aus dem Bereich der altlastverdächtigen Flächen. Der Rat schlägt vor, im Rahmen eines Forschungsvorhabens zu prüfen, in welchem Umfang praxisadäquate Richtigkeitskontrollproben, aber auch Proben für Ringversuche notwendig sind und ob derartige Proben zuverlässig herstellbar, lager- und transportfähig sind und sich in der analytischen Praxis bewähren.

**385.** Zusammenfassend kommt der Rat zu der Auffassung, daß im Hinblick auf die Verlässlichkeit von Untersuchungsergebnissen für die Abschätzung von Gefährdungen Qualitätssicherungsmaßnahmen notwendig sind. Die einzelnen Maßnahmen sollten von der Untersuchungsstelle in einem Qualitätssicherungsleitfaden mit Verfahrens- und Arbeitsanleitungen niedergelegt werden, um sie auch auf Verlangen den Auftraggebern vorlegen zu können.

**386.** Im weiteren Sinne gehört zur Qualitätssicherung auch, daß vor Durchführung von Untersuchungen die Untersuchungsverfahren klar definiert und im einzelnen festgelegt werden, wobei Verfahren auf der Grundlage anerkannter Regeln der Technik der Vorzug vor sogenannten Hausmethoden ohne externe Überprüfung gegeben werden soll.

Außerdem muß über Art und Umfang der Dokumentation der Untersuchungsergebnisse eine Festlegung getroffen werden.

### 3.3.1.5 Biologische Untersuchungen

**387.** Trotz einer zum Teil umfangreichen Einzelstoffanalytik bei der Untersuchung altlastverdächtiger Flächen läßt sich das von einem Schadstoffgemisch ausgehende Gefährdungspotential aus zwei Gründen nur unzureichend ermitteln. Erstens können nicht alle vorhandenen Schadstoffe erfaßt werden, und selbst wenn dies der Fall wäre, stehen gegenwärtig nur für einen Teil derselben toxikologische Daten zur Verfügung. Zweitens, und hierin besteht das methodische Hauptproblem, wäre selbst dann eine Beurteilung synergistischer oder antagonistischer Wirkungen nur in Einzelfällen möglich.

Für die integrative Erfassung der komplexen Wirkungen mehrerer Noxen auf Organismen kommen insbesondere die sogenannten Bioindikationsverfahren in Betracht. Dabei ist zwischen Reaktions- und Akkumulationsindikatoren zu differenzieren. Während erstere empfindliche Reaktionen gegenüber Schadstoffen zeigen, reichern letztere diese Stoffe, oft kurzfristig und ohne erkennbare Schädigung, an. Aus diesem Sachverhalt leiten sich verschiedene Bioindikationsverfahren ab. Neben Biotest-Verfahren kommen akti-

ves und passives Monitoring zum Einsatz. Einige mögliche Bioindikationsverfahren sind in Tabelle 3.9 zusammengestellt.

**388.** Biotest-Verfahren ermöglichen Aussagen über toxische Effekte von Einzelstoffen und Stoffgemischen. So wie nicht alle denkbaren Schadstoffe chemisch analysiert werden können und deshalb eine Auswahl zu treffen ist, so können zur Prüfung ökotoxischer Wirkungen auch nicht alle Organismengruppen bei allen ökologisch relevanten Umweltbedingungen getestet werden. Auch hier muß eine Auswahl von Indikatororganismen und Versuchsbedingungen erfolgen, die zwangsläufig eine allgemeingültige Aussage ausschließen (CASPERs et al., 1986).

Die insbesondere für die Untersuchung von Oberflächenwasser- und Abwasserproben, aber auch für die Zulassung neuer Chemikalien standardisierten Testverfahren wie der Algentest (DIN 38 412 Teil 9), der Daphnientest (DIN 38 412 Teil 11), der Fischttest (DIN

38 412 Teil 15 und Teil 20) und Bakterientests, zum Beispiel der Leuchtbakterientest, kommen auch für die Beurteilung wäßriger Proben im Rahmen der Untersuchung atlastverdächtiger Flächen in Betracht. Eine kritische Diskussion, inwieweit diese Testverfahren die an sie gestellten Anforderungen erfüllen, nehmen CASPERs et al. (1986) vor. Die Anwendung vergleichbarer Tests für feste Stoffe bereitet zur Zeit noch erhebliche Schwierigkeiten und bedarf noch weiterer Entwicklungsarbeiten (ALBERTI und FRIEGE, 1987; FRIESEL et al., 1988). Am ehesten sind noch Toxizitätstests für Bodeneluate zur Beurteilung der Gefährdungspotentiale von verunreinigten Böden sowie daraus resultierender Gewässerbelastungen geeignet.

Zur Ermittlung der Genotoxizität und Mutagenität von Stoffgemischen stehen Kurzzeittests an Mikroorganismen und Säugetierzellkulturen zur Verfügung, die auch Hinweise auf eine mögliche kanzerogene Wirkung geben können. Solche Untersuchungen sollten allerdings nur von erfahrenen Testlaboratorien durch-

Tabelle 3.9

**Bioindikationsverfahren zur Beurteilung stofflicher Belastungen**

Bioindikator	Medium/ Belastungs- typ	Einsatztyp	Reaktionstyp	Fragestellung/ Aussageziel
Leuchtbakterien	Wasser	Biotest (Enzymaktivität)	biochemisch/ physiologisch	allgemeine Toxizität auf biochemisch- physiologischem Niveau
Wachteln	Wasser (Pflanzen)	Biotest (generatives Verhalten)	physiologisch/ anatomisch (Eischalendicke etc.)	allgemeine Toxizität auf hochintegrierendem physiologisch- anatomischem Niveau
Fische/Amphi- bien bzw. Laich	Wasser	passives Monitoring	Stoffakkumulation (v. a. Schwermetalle)	Belastung der Nahrungsketten
Flechten	Luft	aktives und passives Monitoring	physiologisch/ anatomisch (Nekrosen, Verfärbungen)	unspezifische Signal- funktion (v. a. gegenüber SO <sub>2</sub> , HCl, Stäuben)
Standardisierte Graskulturen	Luft	aktives Monitoring	Stoffakkumulation (Schwermetalle, Fluor, Schwefel)	Belastung der Nahrungsketten
Grünkohl	Luft	aktives Monitoring	Stoffakkumulation (Polyzyklische Aromaten)	Bioakkumulation krebserregender Stoffe
Regenwürmer	Boden	passives Monitoring	Stoffakkumulation (Schwermetalle, organische Verbindungen)	Belastung der Nahrungsketten
Asseln	Boden	passives Monitoring	Stoffakkumulation (Schwermetalle)	Belastung der Nahrungsketten
Käferfauna	Boden	passives Monitoring	biozönotisch (Veränderung der Artenzusammen- setzung/Diversität)	Screening für allgemeine Ökosystemstörungen

Quelle: UM BW, 1988b

geführt werden. Die Anwendbarkeit derartiger Kurzzeittests zur Erkennung eines Gefährdungspotentials von Sonderabfalldeponien hat sich in den wenigen bislang durchgeführten Praxistests bestätigt (BROWN, 1983; BROWN und DONNELLY, 1982 und 1984; DONNELLY et al., 1985). Auf den Einsatz von Säugetieren im Ganztierstest sollte im Rahmen der Gefährdungsabschätzung verzichtet werden; sie kommen lediglich zur Überprüfung unklarer Ergebnisse von Untersuchungen mit den genannten Schnelltests in Betracht.

**389.** Das umwelttoxische Potential belasteter Proben kann in seiner Breite jedoch nur durch eine Vielzahl von mikrobiologischen und enzymatischen Kurzzeittests für die verschiedenen toxischen Wirkungen in Ergänzung zur chemischen Analytik erfaßt werden. Hier sieht der Rat noch einen erheblichen Bedarf in bezug auf die Erforschung, Entwicklung, Auswahl und Standardisierung entsprechender aussagesicherer, schneller und kostengünstiger Testverfahren.

**390.** Beim aktiven Monitoring werden standardisiert gezüchtete und gehaltene Organismen in das Untersuchungsgebiet gebracht und dort unter einheitlichen Expositionsbedingungen eine bestimmte Zeit den Schadstoffen ausgesetzt. Beim passiven Monitoring werden dagegen Organismen, die auf oder in der Umgebung der zu untersuchenden altlastverdächtigen Fläche vorkommen, auf mögliche Veränderungen infolge ihrer Schadstoffexposition untersucht. Solche Untersuchungen können unter unterschiedlichen Gesichtspunkten vorgenommen werden, beispielsweise im Hinblick auf die Belastung der Nahrungskette (aktives und passives Monitoring) oder die Schädigung von Ökosystemen (passives Monitoring).

**391.** Bei landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten altlastverdächtigen Flächen sieht das „Mindestuntersuchungsprogramm Kulturboden“ (LÖLF, 1988) Untersuchungen an Nutzpflanzen vor, wenn die Ergebnisse von Bodenuntersuchungen die festgelegten Prüfwerte überschreiten. Diese Untersuchungen dienen der Feststellung des tatsächlichen pflanzenverfügbaren Schadstoffanteils und damit der Feststellung einer Belastung der Nahrungskette. Bei potentiellen Nutzpflanzenstandorten sind Versuchsgärten vorgesehen (LÖLF, 1988). Während über Schwermetalleinlagerungen in Pflanzen eine Reihe von wissenschaftlichen Erkenntnissen vorliegt, die die Ergebnisse solcher Biomonitoring-Untersuchungen überhaupt erst interpretierbar macht, besteht für andere relevante Stoffklassen noch großer Forschungsbedarf. Biomonitoring-Untersuchungen sind in der Regel sehr aufwendig, bei landwirtschaftlicher Nutzung einer altlastverdächtigen Fläche mit festgestellter Bodenbelastung aber zu empfehlen.

**392.** Inwieweit Pflanzen und Tiere als Teile von Ökosystemen durch Schadstoffe aus Altablagerungen und Altstandorten geschädigt werden, ist noch zu wenig untersucht. Um zu erreichen, daß auch der Ökosystem- und Artenschutz bei der Bewertung des Gefährdungspotentials altlastverdächtiger Flächen besser als bisher berücksichtigt werden kann, sind Biomonitoring-Untersuchungen zur Erfassung von vorliegenden Belastungssituationen erforderlich. Unter dem Aspekt einer effizienten Untersuchungsmetho-

dik sollte auch geprüft werden, ob sich Untersuchungsstrategien und Vorgehensweisen für das Biomonitoring entwickeln lassen, die bei verschiedenen Ökosystemen anzuwenden sind. Die Kombinationsmöglichkeiten mit Biotest-Verfahren wären in die Überlegungen einzubeziehen.

**393.** Zum passiven Monitoring zählen auch medizinische Untersuchungen, wie sie an Anwohnern von Altablagerungen und Altstandorten zur Prüfung von möglichen Gesundheitsbeeinträchtigungen vorgenommen werden (vgl. Abschn. 2.6).

### 3.3.2 Bewertungsverfahren

#### 3.3.2.1 Möglichkeiten und Grenzen von Bewertungsverfahren

**394.** Eine Schlüsselfunktion innerhalb der Gefährdungsabschätzung von altlastverdächtigen Flächen kommt der Bewertung ihres Gefährdungspotentials aufgrund der erhaltenen Informationen zu, die zum Ziel hat, die Verdachtsfläche entweder aus dem Verdacht zu entlassen oder als Altlast zu erkennen und zu charakterisieren. Hierbei handelt es sich um die Bewertung des Gefährdungspotentials anhand der konkreten Umstände des Einzelfalls (Einzelfallbewertung), die über Notwendigkeit und Art weiterer Maßnahmen, wie Untersuchen, Beobachten, Überwachen oder Sanieren, entscheidet.

Darüber hinaus gilt es, durch eine vergleichende Bewertung altlastverdächtiger Flächen und Altlasten untereinander (vergleichende Bewertung) die Dringlichkeit von Maßnahmen festzulegen und eine Prioritätenliste aufzustellen.

Die Bewertung stellt einen abgestuften Prozeß in Abhängigkeit von den jeweils vorliegenden Informationen dar, so daß man von Erstbewertung, Zwischenbewertung und abschließender Bewertung sprechen kann. Zwischen den einzelnen Bewertungsschritten liegen in der Regel weitere Untersuchungen (Kap. 3.1 und Abschn. 3.3.3.2).

#### Einzelfallbewertung

**395.** Eine objektive Bewertung der gegenwärtigen und möglichen zukünftigen Gefährdungssituationen für die betroffenen Schutzgüter im Einzelfall, von der die Einstufung eines Objektes als Altlast abhängt, stößt auf grundlegende Schwierigkeiten. So sind von vielen im Zusammenhang mit Altlasten auftretenden Schadstoffen die Eigenschaften, die ihr Verhalten in der Umwelt bestimmen, noch nicht genügend bekannt, und im Bereich der Humantoxikologie und mehr noch der Ökotoxikologie mangelt es noch an Erkenntnissen, um die Wirkungen der Stoffe auf die Schutzgüter eindeutiger zu beurteilen; auf diesen Gebieten bedarf es noch weiterer Forschungsarbeiten. Die Abschätzung der Stoffausbreitung, der Exposition und möglicher Schädwirkungen ist deshalb noch mit Unsicherheiten behaftet, so daß das Gefährdungspotential nicht mit letzter Sicherheit zu bestimmen ist.

Es fehlen allgemein anerkannte Bewertungskriterien und -maßstäbe, anhand derer die Bewertung des Gefährdungspotentials nach einheitlichen Grundsätzen vorgenommen werden könnte.

**396.** Um dennoch eine Entscheidung über Handlungsnotwendigkeiten zu ermöglichen, werden gegenwärtig unterschiedliche Wege beschritten. Als Entscheidungshilfen werden oftmals Referenz-, Orientierungs-, Prüf- und Höchstwerte herangezogen. Auf die Grenzen derartiger Werte wird in Kapitel 2.5 hingewiesen; die Übertragung auf die vorliegende Situation muß im Einzelfall geprüft werden.

Standort- und schutzgut- bzw. nutzungsunabhängige Prüfwerte werden von vielen Fachleuten als wenig zweckmäßig abgelehnt, da sie der spezifischen Situation des Einzelfalls nicht gerecht werden (vgl. z. B. FEHLAU, 1985 und 1989 a und b; MILDE et al., 1987). Sie berücksichtigen weder die Möglichkeiten hoher geogener Stoffgehalte noch mögliche anthropogene Belastungen, die auf andere Kontaminationsquellen als die Altlast zurückgehen. Solche Prüfwerte berücksichtigen auch nicht, daß die Gefährdung von der Empfindlichkeit der berührten Schutzgüter und der Art der Nutzung abhängt und deshalb als schutzgut- bzw. nutzungsorientiert zu bezeichnen ist (vgl. FEHLAU, 1989 a und b). Solche Überlegungen werden erst bei wenigen Bewertungskonzepten, die mit Prüfwerten arbeiten, bedacht.

**397.** Die Bewertung des Gefährdungspotentials altlastverdächtiger Flächen allein auf den Vergleich von analytischen Befunden mit Referenz-, Orientierungs-, Prüf- und Höchstwerten zu stützen, kann nicht als ausreichend angesehen werden. Über einen solchen Vergleich läßt sich nur das stoffliche Wirkungspotential für den Ort und den Zeitpunkt der Untersuchung beschreiben, aber keine Prognose über künftig zu erwartende Expositionen und Gefährdungen erreichen, auf die vor allem bei Betrachtung des Grundwassers nicht verzichtet werden kann. Hierfür bedarf es der Berücksichtigung weiterer Faktoren, die sich aus den Standortverhältnissen und den Stoffeigenschaften, die das Mobilitätsverhalten bestimmen, ergeben (vgl. Abschn. 2.3.2 und 2.3.3).

Ein Konzept zur Bewertung des Gefährdungspotentials von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten für Mensch und Umwelt muß die Bewertung der individuellen Situation des Einzelfalls erlauben. Es müssen die spezifischen Expositionsbedingungen der Schutzgüter, die sich durch die Standortverhältnisse und bestimmte Eigenschaften der vorhandenen Stoffe sowie durch die Nutzungen ergeben, zusätzlich zu den wirkungsspezifischen Charakteristika der Stoffe berücksichtigt werden.

**398.** Eine Bewertung des Gefährdungspotentials durch Einzelgutachten von Sachverständigen bietet den Vorteil, jede spezifische Eigenart der zu bewertenden altlastverdächtigen Fläche einschließlich nicht quantifizierbarer Umstände berücksichtigen zu können. Da objektive und einheitliche Bewertungskriterien und Maßstäbe noch fehlen, sind die Gutachter genötigt, zu berücksichtigende Kriterien und deren Gewichtung nach Plausibilitäts Gesichtspunkten mit eigenen Maßstäben festzulegen. So können selbst bei

demselben Bewertungsobjekt verschiedene Gutachter zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Da die Bewertung des Gefährdungspotentials altlastverdächtiger Flächen und Altlasten fachübergreifende Kenntnisse erfordert, ist ein einzelner Sachverständiger oft nicht in der Lage, alle relevanten Umstände sachgerecht zu erfassen und das Gefährdungspotential insgesamt zu bewerten. Zu berücksichtigen ist auch, daß allein aufgrund der Vielzahl altlastverdächtiger Flächen (Tz. 64 und 68), die alle bezüglich ihres Gefährdungspotentials bewertet werden müssen, eine Begutachtung jedes einzelnen Falls in Form von Sachverständigengutachten nicht möglich ist.

**399.** Um das Problem plausibler subjektiver Einschätzung etwas zu relativieren und wegen der großen Zahl zu bewertender Fälle, wird die Forderung nach formalisierten Bewertungsverfahren für die Ermittlung von Handlungsbedarf im Einzelfall erhoben. Aus ihnen sollen aufgrund einheitlicher Maßstäbe Notwendigkeit und Dringlichkeit von Maßnahmen im Einzelfall schlüssig hervorgehen. Sie sollen gewährleisten, daß von unterschiedlichen Bearbeitern zu verschiedenen Zeiten vergleichbare Ergebnisse erzielt werden (IRMER, 1987). Eine gewisse Schematisierung, wie sie ein breit anwendbares Verfahren zwangsläufig beinhalten muß, um handhabbar zu sein, bedeutet aber immer Informationsverluste, da nicht beliebig viele der das Gefährdungspotential beeinflussenden Faktoren berücksichtigt und entsprechend ihrem Einfluß gewichtet werden können. Die Probleme liegen deshalb in der Auswahl geeigneter, aussagefähiger Kriterien, die als Vorgaben der Bewertung zugrunde gelegt werden, und in der Schwierigkeit der Gewichtung der Bewertungskriterien. Bei skalierten Bewertungsverfahren werden durch die Quantifizierung der Kriterien mittels Punktezahlen und durch die Art der mathematischen Verknüpfung dieser Punkte einheitliche Maßstäbe vorgegeben, die für alle nach dem entsprechenden Verfahren bewerteten Objekte gelten. Die Festlegung solcher Punktezahlen und die Verknüpfung der Bewertungskriterien untereinander sind zwar wissenschaftlich nicht exakt begründbar, entsprechen aber durchaus Plausibilitätskriterien. Deswegen können solche Verfahren als Verwaltungsinstrumente für die Entscheidungsfindung nützlich sein. Anzustreben ist ein in seiner Herleitung und Struktur durchschaubares, im Ergebnis nachprüfbares und von den Behörden praktizierbares Bewertungsverfahren.

#### Vergleichende Bewertung

**400.** Die begrenzten Finanzmittel und personellen Kapazitäten der Behörden erlauben es nicht, die große Zahl altlastverdächtiger Flächen bzw. Altlasten gleichzeitig zu bearbeiten. Die Reihenfolge muß sich nach Art und Ausmaß der Gefährdungen für die betroffenen Schutzgüter und nach ihrer Schutzwürdigkeit richten. Daraus resultiert die Dringlichkeit von weiteren Untersuchungen und von Sanierungsmaßnahmen. Die Festlegung von Prioritäten erfolgt durch vergleichende Bewertung einer Vielzahl von Fällen. Die Entscheidung über Dringlichkeiten ist nach jedem

Arbeitsschritt erneut zu treffen, weil neue Erkenntnisse zu einer Änderung der Prioritäten führen können.

**401.** Um eine möglichst große Zahl von altlastverdächtigen Flächen bzw. Altlasten nachvollziehbar vergleichend bewerten zu können, bieten sich nur formalisierte Bewertungsverfahren an. Die Bewertungskriterien für solche Verfahren sollten – wie bei den Verfahren zur Ermittlung von Handlungsbedarf – als Vorgaben definiert werden, zu denen die benötigten Informationen durch Untersuchungen beschafft werden müssen. Dadurch wird gewährleistet, daß der Informationsumfang für die zu bewertenden Verdachtsflächen gleichwertig ist. Für die vergleichende Bewertung altlastverdächtiger Flächen im Rahmen der Erstbewertung zur Ermittlung von Untersuchungsdringlichkeiten ergeben sich Probleme, da sich die Bewertung ausschließlich auf Umfang und Qualität des bei der Erfassung erhaltenen Informationsstandes stützen kann. Die Schwierigkeit besteht dabei in der Beurteilung qualitativ unterschiedlicher Informationen, da die Vorkenntnisse über altlastverdächtige Flächen verschieden sind und viele Informationen auf Vermutungen beruhen.

Solche Bewertungsverfahren, die der Erstbewertung dienen, müssen deshalb vergleichsweise einfach sein und dürfen keine konkreten Angaben voraussetzen, die erst durch Untersuchungen erbracht werden können. In diesem frühen Stadium kann es durchaus vorteilhaft sein, wenn bloße Anhaltspunkte und Hinweise für Umstände, die einen Altlastverdacht begründen können, in die vergleichende Bewertung einbezogen werden. Je weiter die Gefährdungsabschätzung fortgeschritten ist, um so mehr belegbare Daten stehen für die Bewertung zur Verfügung, so daß aussagekräftigere und detailliertere Bewertungskriterien angesetzt werden können, die dann eine fundiertere Prioritätensetzung gestatten. Es ist deshalb sinnvoll, an die vergleichende Bewertung zur Prioritätensetzung für Untersuchungsmaßnahmen andere, geringere Anforderungen zu stellen, als an diejenige zur Bestimmung der Sanierungsdringlichkeit. So fordert FEHLAU (1985) spezifische Bewertungsraster für die orientierenden Untersuchungen, die detaillierten Untersuchungen und für Sanierungsmaßnahmen.

**402.** Die Ermittlung der Dringlichkeit notwendiger Maßnahmen sollte nach möglichst objektiven Kriterien erfolgen, nachvollziehbar und mit angemessenem Aufwand durchführbar sein. Bei Anwendung eines skalierten Verfahrens zur Bewertung des Gefährdungspotentials für die Ermittlung von Handlungsbedarf im Einzelfall ergibt sich über den Vergleich der bei verschiedenen Fällen erreichten Punktezahlen automatisch eine Rangfolge und damit eine Prioritätensetzung.

### 3.3.2.2 Bewertungsverfahren zur Ermittlung von Handlungsbedarf im Einzelfall

**403.** Die Ermittlung von Handlungsbedarf aufgrund des Gefährdungspotentials einer altlastverdächtigen Fläche muß bei einer stufenweisen Bearbeitung nach jeder Bearbeitungsphase erfolgen. Demzufolge gibt

es mehrere Bewertungsstadien, die sich trotz unterschiedlichen Aufwands an den gleichen grundlegenden Prinzipien orientieren sollten (vgl. SCHULDT, 1987).

Wenn die Bewertung ergibt, daß die vorhandenen Erkenntnisse zu einer umfassenden Bewertung nicht ausreichen, besteht der Handlungsbedarf in Untersuchungen. Bei hinreichenden Informationen für die Bewertung sind Entscheidungen über das weitere Vorgehen, über Ausscheiden aus der Bearbeitung, Beobachten, Überwachen oder Sanieren, notwendig. Bei jedem Bewertungsschritt ist zu klären, ob aufgrund vorhandener Informationen Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen (Abschn. 4.2.1) zu veranlassen sind.

**404.** Das Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg hat im Rahmen des Altlasten-Handbuchs ein Bewertungsverfahren für altlastverdächtige Flächen und Altlasten erarbeitet, das in der 2., verbesserten Auflage dieses Handbuchs durch das Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg unter Berücksichtigung der inzwischen gewonnenen Erfahrungen bei der Anwendung fortgeschrieben worden ist (UM BW, 1988 a). Dieses Bewertungsverfahren führt zur Entscheidung über Handlungsbedarf im Einzelfall und ermöglicht durch den Vergleich der erreichten Punktezahlen verschiedener Fälle auch eine Prioritätensetzung. Die Bewertung erfolgt nach jedem Bearbeitungsschritt. Der Handlungsbedarf leitet sich aus einer Matrix ab, in der das „maßgebliche Risiko“ quantifiziert und mit dem „Beweisniveau“ verknüpft wird (Tab. 3.10). Das „Beweisniveau“ gibt verschiedene Bearbeitungsstadien (Erkundungsstufen) an (vgl. Abschn. 3.3.3.2), die den unterschiedlichen Erkenntnisstand widerspiegeln. Die Ermittlung des „maßgeblichen Risikos“ stellt die eigentliche Bewertung dar.

Das Gefährdungspotential einer altlastverdächtigen Fläche wird relativ im Vergleich zu einer standardisierten Ausgangssituation ermittelt. Als standardisierte Ausgangssituation gilt die Lage von Stoffen in einer nach den Regeln der Technik eingerichteten und abgeschlossenen Hausmülldeponie gemäß Deponiemerkblatt der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall vom 1. 9. 1979, die als „Vergleichslage“ bezeichnet wird. Für das jeweilige Untersuchungsobjekt wird zunächst die „Stoffgefährlichkeit in Vergleichslage“ ermittelt. Es wird abgeschätzt, welches Risiko die vorhandenen Abfälle oder Schadstoffe bei einer hypothetischen Lage in dieser definierten Vergleichslage bedeuten. Diese „Stoffgefährlichkeit in Vergleichslage“, ausgedrückt als Zahlenwert zwischen 0 und 6, wird gesondert für Grundwasser, Oberflächengewässer, Luft und Boden bestimmt. Ausgehend von diesen Risikowerten werden anschließend für die Verdachtsfläche entsprechend ihren spezifischen örtlichen Gegebenheiten bezüglich Schadstoffaustrag, -eintrag, -transport und -wirkung sowie der Bedeutung von Schutzgütern und Nutzungen Risiko- oder -abschläge ermittelt. Dieser Einfluß der örtlichen Verhältnisse geht in Form von Multiplikatoren in die Betrachtung ein, den sogenannten m-Werten, für die Bezugsgrößen für  $m = 1,0$  für jedes Schutzgut definiert sind.

**Verfahren zur Bewertung altlastverdächtiger Flächen und Altlasten in Baden-Württemberg**

standardisierte Ausgangssituation: – definierte Lagesituation (Vergleichslage): Hausmüldeponie nach Regeln der Technik gemäß LAGA-Deponiemerkblatt vom 1. September 1979 – definierte Bedingungen für $m_I, m_{II}, m_{III}, m_{IV} = 1,0$ : geläufige und hinsichtlich der Gefährdung der Schutzgüter „mittlere“ Verhältnisse											
Vorgehensweise:											
Bewertung der örtlichen Verhältnisse unter Bezug auf die standardisierte Ausgangssituation	Bestimmung der Stoffgefährlichkeit in Vergleichslage: $r_0$ (Kategorie 0–6)										
	<table border="0"> <tr> <td rowspan="3">Ermittlung des tatsächlichen Risikos <math>r_{III}</math></td> <td>Schadstoffaustrag</td> <td><math>r_I</math></td> <td>= <math>m_I \cdot r_0</math></td> </tr> <tr> <td>Schadstoffeintrag</td> <td><math>r_{II}</math></td> <td>= <math>m_{II} \cdot r_I</math></td> </tr> <tr> <td>Schadstofftransport und -wirkung</td> <td><math>r_{III}</math></td> <td>= <math>m_{III} \cdot r_{II}</math></td> </tr> </table>	Ermittlung des tatsächlichen Risikos $r_{III}$	Schadstoffaustrag	$r_I$	= $m_I \cdot r_0$	Schadstoffeintrag	$r_{II}$	= $m_{II} \cdot r_I$	Schadstofftransport und -wirkung	$r_{III}$	= $m_{III} \cdot r_{II}$
	Ermittlung des tatsächlichen Risikos $r_{III}$		Schadstoffaustrag	$r_I$	= $m_I \cdot r_0$						
			Schadstoffeintrag	$r_{II}$	= $m_{II} \cdot r_I$						
		Schadstofftransport und -wirkung	$r_{III}$	= $m_{III} \cdot r_{II}$							
<table border="0"> <tr> <td>Ermittlung des gewichteten Risikos <math>r_{IV}</math></td> <td>Gewichtung entsprechend der Bedeutung von Schutzgütern und Nutzungen</td> <td><math>r_{IV}</math></td> <td>= <math>m_{IV} \cdot r_{III}</math></td> </tr> </table>	Ermittlung des gewichteten Risikos $r_{IV}$	Gewichtung entsprechend der Bedeutung von Schutzgütern und Nutzungen	$r_{IV}$	= $m_{IV} \cdot r_{III}$							
Ermittlung des gewichteten Risikos $r_{IV}$	Gewichtung entsprechend der Bedeutung von Schutzgütern und Nutzungen	$r_{IV}$	= $m_{IV} \cdot r_{III}$								
Wahl des maßgeblichen Risikos (R) zur Bestimmung der gebotenen Vorgehensweise	i. d. R.: $R = r_{IV}$										
Ermittlung von Handlungsbedarf	Feststellen des Beweisniveaus (BN) (BN 1 – BN 4)										
	Ableitung des Handlungsbedarfs aus der Handlungsmatrix <div style="text-align: center;"> <p>The diagram shows a matrix with 'maßgebliches Risiko (R)' on the x-axis (0-6) and 'Beweisniveau' on the y-axis (1-4). Actions A, B, C, and D are represented by vertical bars of increasing width. Evidence levels E1-2, E2-3, and E3-4 are represented by horizontal bars of increasing height. Action A is the widest (risk 0-1), B is 0-2, C is 0-3, and D is 0-4. Evidence level E1-2 is the highest (BN 1-2), E2-3 is BN 2-3, and E3-4 is BN 3-4.</p> </div> <p>                     BN = Beweisniveau                      R = Maßgebliches Risiko                      A: Ausscheiden aus der Altlastendatei                      B: Belassen in der Altlastendatei                      C: Fachtechnische Kontrolle                      D: Durchprüfen von Möglichkeiten zur Gefahrenminderung                      E: Erkundung bis zum nächsthöheren Beweisniveau                 </p>										

Quelle: SRU, nach UM BW, 1988 a

405. Das Bewertungsverfahren berücksichtigt die wichtigsten Umweltmedien Grundwasser, Oberflächenwasser, Boden und Luft. Als vorteilhaft ist anzusehen, daß dieses Verfahren für alle Bewertungsniveaus einzusetzen ist, die verschiedenen Nutzungsformen in die Bewertung eingehen und eine Gewichtung nach der Bedeutung der Schutzgüter vorgenommen wird.

Problematisch erscheint dagegen der Ansatz der „Stoffgefährlichkeit in Vergleichslage“. Zum einen

setzt er umfangreiche Kenntnisse über die Art und gegebenenfalls auch die Menge der vorhandenen Schadstoffe in Abfällen und belastetem Erdreich voraus. Zum anderen bestehen Zweifel, ob verschiedene Bearbeiter zu der gleichen Einschätzung der Stoffgefährlichkeit kommen, da zumindest gegenwärtig im Handbuch keine Kriterien und Maßstäbe für die quantifizierte Bewertung der Stoffgefährlichkeit von vorhandenen Schadstoffen in der „Vergleichslage“ genannt werden. Zur Orientierung sind lediglich Bewertungsbeispiele für die Stoffgefährlichkeit einiger

Abfallarten und -gruppen angegeben. So ist nicht zu erkennen, wie Art und Menge der Schadstoffe und welche stoffspezifischen Eigenschaften in welcher Form bei der Bewertung Berücksichtigung finden.

Gleiches gilt für das Maß, in dem sich die örtliche Situation gegenüber der Vergleichssituation risikoverstärkend oder -vermindernd auswirkt (Abweichung der  $m$ -Werte vom Wert  $m = 1,0$ ) und das lediglich beispielhaft für einzelne der vielen möglichen Situationsvarianten erläutert wird. Viele der aufgezählten Faktoren, vor allem geologische und hydrogeologische Standortverhältnisse, die für die Bewertung zum Beispiel des Schadstoffaustrages oder -eintrages von Bedeutung sind, erfahren im Altlasten-Handbuch jedoch keine vergleichende Gewichtung gegenüber der Vergleichssituation ( $m = 1,0$ ) und werden nicht in zahlenmäßige Größen umgesetzt. So ist auch nicht angegeben, in welcher Weise Art und Konzentration der in den Umweltmedien und Schutzgütern nachgewiesenen Schadstoffe und deren human- und ökotoxikologische Eigenschaften quantifiziert in das Bewertungsschema eingehen.

Dieses Bewertungsverfahren läßt, obwohl es mit konkreten Zahlenangaben arbeitet, Spielraum für subjektive Entscheidungen, der eine Bewertung nach einheitlichen Maßstäben nicht immer sicherstellt.

Zu mehr Einheitlichkeit könnte jedoch in Zukunft die Anwendung des derzeit in Entwicklung befindlichen Expertensystems „Umweltgefährlichkeit von Altlasten“ (XUMA) beitragen, dessen erste vorliegende Stufe zunächst auf Schadstoffe aus Kohleveredlungsbetrieben abgestellt ist. Dieses Expertensystem soll den Fachleuten bei der Bearbeitung der konkreten Fälle helfen und sie unter anderem bei der landeseinheitlichen Ermittlung des Risikowertes für die „Stoffgefährlichkeit in Vergleichslage“ unterstützen (UM BW, 1988 a).

**406.** Von einem ganz anderen Ansatz geht das zur Bewertung des Grundwassergefährdungspotentials altlastverdächtiger Flächen und Altlasten von KERN-DORFF et al. (1988) im Rahmen eines Forschungsvorhabens gegenwärtig erarbeitete Konzept aus, das erst in Ansätzen vorliegt. Das auf diesem Konzept aufbauende Verfahren bewertet nur eingetretene Verunreinigungen und erfordert Untersuchungsbefunde über Art und Konzentration bestimmter Stoffe.

Das Bewertungskonzept gliedert sich in die beiden Teilbereiche „Stoffbewertung“ und „Expositionsbewertung“. Die Bearbeiter nehmen eine Auswahl der für das Gefährdungspotential wichtigsten Schadstoffe und der besonders relevanten Kriterien vor. Die Bewertung ist zunächst für ca. 100 als „Hauptkontaminanten“ (Tz. 354) bezeichnete Stoffe vorgesehen. Als maßgebliche Bewertungskriterien für die Stoffbewertung werden „Toxizität“, „Grundwassergängigkeit“ und „Konzentration“ angesehen, von denen „Toxizität“ und „Grundwassergängigkeit“ wiederum durch bestimmte Eigenschaften charakterisiert werden. Die Bewertung dieser Größen und ihre Umsetzung in Bewertungszahlen erfolgt auf unterschiedlichste Weisen, die hier nur in Ansätzen aufgezeigt werden können (Tab. 3.11). Eine eingehende Darstellung des toxikologischen Bewertungsteils findet sich bei DIETER et al. (im Druck). Dem späteren Anwender werden

unter anderem die Bewertungsmaßstäbe in Form von Summenkurven (Konzentration, Wasserlöslichkeit, Dampfdruck) und Tabellen (Toxizität) vorgegeben, aus denen die Bewertungszahlen für die im Einzelfall nachgewiesenen Schadstoffe zu entnehmen sind.

Die Verknüpfung der Zahlenwerte aus dem Teilbereich „Stoffbewertung“ mündet in Verbindung mit dem noch zu konzipierenden und zu quantifizierenden Teilbereich „Expositionsbewertung“, in dem Expositions- und Nutzungssituationen beurteilt und gewichtet werden, in eine integrierte Bewertung, aus der sich Handlungsanweisungen anhand von Bewertungsklassen ergeben sollen. Diese enthalten auch eine Prioritätensetzung. Genauere Angaben zu diesem wichtigen Teil des Bewertungskonzeptes stehen derzeit noch aus. So ist noch offen, in welcher Form der Stofftransfer bezüglich der geologischen Standortgegebenheiten standardisiert in die Bewertung Eingang findet. Auch ist noch nicht abschließend geklärt, in welcher Form die Verknüpfung der Bewertungskriterien und der Teilbereiche zu sinnvollen Ergebnissen führt.

Dieses Konzept sieht eine Bewertung des stofflichen Gefährdungspotentials unter Einbeziehung der Schutz- und Nutzungsaspekte vor. Der Bereich Ökotoxikologie, der nach Ansicht von KERN-DORFF et al. (1988) bei einer umfassenden Bewertung einbezogen werden müßte, kann gegenwärtig aufgrund mangelhafter Datenlage noch nicht in einer der Humantoxikologie vergleichbaren Weise berücksichtigt werden.

**407.** Eine schutzgut- und nutzungsbezogene Bewertung nimmt auch die Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen bei der Bewertung von Bodenkontaminationen im Hinblick auf eine spezifische Nutzung als landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Fläche vor (LÖLF, 1988). Für ausgewählte, für diese Nutzungsart relevante anorganische Schadstoffe werden Prüfwerte so festgesetzt, daß bei deren Einhaltung auch unter ungünstigen Standortbedingungen keine Gefährdung zu erwarten ist (vgl. Abschn. 2.5.3). Zur Findung von Bewertungskriterien für organische Stoffe laufen noch umfangreiche Forschungsprogramme (KÖNIG, 1987). Die angegebenen Prüfwerte dienen aber ausschließlich der Beurteilung, ob weitere Untersuchungen erforderlich sind und lassen keine Schlußfolgerungen hinsichtlich eventueller Sanierungsnotwendigkeiten zu. Darüber entscheiden die Ergebnisse von Pflanzenuntersuchungen, für deren Bewertung auf die Grenzwerte der Futtermittelverordnung und die Lebensmittel-Richtwerte des Bundesgesundheitsamtes verwiesen wird (LÖLF, 1988; vgl. auch Kap. 2.6).

**408.** Für die Bewertung altlastverdächtiger Flächen bzw. Altlasten in Hessen ist vom Institut für wassergefährdende Stoffe an der TU Berlin (IWS) und von der Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH, Koblenz (TGU) ein Bewertungsmodell entwickelt und an 30 hessischen Altablagerungen erprobt worden (IWS und TGU, 1988).

Die Struktur dieses Modells erlaubt prinzipiell eine Anwendung bei Altablagerungen und Altstandorten.



Tabelle 3.11

**Konzept zur standardisierten Bewertung  
des Grundwassergefährdungspotentials von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten**

Bewertungskriterien		Ermittlung der Bewertungszahlen		
Stoff- bewer- tung (für Haupt- kontami- nanten)	Konzentration	Perzentilwert der gemessenen Stoffkonzentration, ermittelt aus der Summenkurve der Konzentrationen, die im Grundwasserabstrom einer repräsentativen Anzahl von Verdachtsflächen in der Bundesrepublik Deutschland gemessen wurden	Konzentrationsbewertungszahl: 0–100	
	Grund- wasser- gängig- keit	– Wasserlöslichkeit Mobilität – Dampfdruck	Perzentilwerte der stoffspezifischen Werte, ermittelt aus den Summenkurven der Wasserlöslichkeiten und Dampfdrücke aller Hauptkontaminanten	Bewertungszahl für Grundwassergängigkeit: 0–100
		– Bioakkumulierbarkeit Akkumulierbarkeit – Geoakkumulierbarkeit	anhand Oktanol-Wasserverteilungskoeffizient Festlegungen noch nicht abgeschlossen anhand <sup>1</sup> chi-Index	
		Persistenz	noch offen, da noch zu wenige Daten verfügbar	
	Verlässlichkeit der getesteten Kriterien (Vkt)	bestimmt Aussagekraft der toxikol. Bewertung	Toxizitätsbewertungszahl: 0–100	
	Toxizität	Humantoxikologie (Htx)	keine zahlenmäßige Bewertung, Text	berechnet aus: Tox-Bewertungszahl (max. 11) × StP-Bewertungszahl (max. 9) + Ca-Bewertungszahl (0, 10, 30); bei Ca = 100 : Toxizitätsbewertungszahl = 100
		toxikologische Prüfungen (Tox)	Bewertung ausgehend von NOEL für (sub)akute und (sub)chronische Toxizität, Reproduktionstoxizität, (sub)akute und (sub)chronische Immuntoxizität; Wichtung bei unvollständiger Datenbasis	
		sonstige toxikol. Prüfungen (StP)	Bewertung von Stoffwechsel und Verteilung, biochem. Toxikologie und Mutagenität nach positiv, negativ, nicht oder nicht ausreichend getestet	
Karzinogenität (Ca)		modifiziert die TOX/StP-Bewertungszahl (Bewertungszahlen 0, 10, 30, 100)		
Integrierte Stoffbewertung	derzeitiger Vorschlag: nichtlineare Verknüpfung der Bewertungszahlen von Konzentration, Grundwassergängigkeit und Toxizität zu „Bewertungswürfel“ (Kantenlänge 100). Integrierte Bewertungszahl ergibt sich aus Lage des Raumpunktes mit den entsprechenden Koordinaten im Würfel; Zuordnung zu 10 Bewertungsklassen (noch nicht abgeschlossen)			
Exposi- tions- bewertung	z. B. – Trinkwasser – Brauchwasser – Ökosystem Grundwasserleiter – Wasserbedarf von Pflanzen – Oberflächenabfluß – Korrosion an unterirdischen Bauwerksteilen – Austausch Grundwasser/ Bodenluft/Luft	noch offen		
Integration von Stoffbewertung und Expositionsbewertung	noch offen denkbar für Beispiel Trinkwasser: nichtlineare Matrix der 10 integrierten Stoffbewertungsklassen und der prozentualen Anteile des Grundwasserabstroms einer Altablagerung an der Trinkwassergewinnung → Klassen integrierter Stoff- und Expositionsbewertung			

Quelle: SRU, nach KERNDORFF et al., 1988

Da die inhaltliche Ausgestaltung des Modells aber bisher auf Altablagerungen ausgerichtet ist und die Erprobung ausschließlich an Altablagerungen stattfand, soll das Modell zunächst auch nur zur Bewertung des Gefährdungspotentials von Altablagerungen dienen; eine Anpassung zur Bewertung von Altstandorten ist für einen späteren Zeitpunkt vorgesehen.

Die Anwendung des Modells ist an bestimmte Informationsgehalte gebunden. Geringe Informationen müssen durch ergänzende Ermittlungen angereichert werden; erst dann kann eine Voranwendung des Modells erfolgen. Ziel der Voranwendung ist es, Prioritäten für die Untersuchungen zur Erreichung der für die eigentliche Anwendung erforderlichen Mindestinformation zu setzen.

Es werden Kriterien aus den drei Bereichen Stoffcharakteristik, Standortcharakteristik und Nutzungscharakteristik bewertet. Die Bewertung erfolgt durch Punktevergabe, getrennt für die Belastungspfade Grundwasser, Oberflächengewässer, Boden und Luft (Tab. 3.12). Die Gesamtpunktzahl einer altlastverdächtigen Fläche ergibt sich als Mittelwert aus allen bewerteten Belastungspfaden. Die Modellanwendung wird im sogenannten Altlastdossier dokumentiert, das auch eine zusammengefaßte Darstellung wichtiger Informationen enthält.

Um die Bewertung nicht allein auf ein formalisiertes Verfahren zu gründen, ist eine Bewertungskommission vorgesehen, die die Vorgehensweise bei der Bewertung, den sich aus dem formalisierten Verfahren ergebenden Bewertungsvorschlag sowie den Entwurf des Altlastdossiers prüft und die abschließende Zuordnung in eine der vier Gefährdungspotentialklassen vornimmt. Diese führen zu unterschiedlichen Maßnahmen und sind definiert als

- Gefährdungspotentialklasse 1: Sanierungsbedarf,
- Gefährdungspotentialklasse 2: vertiefte Untersuchungen,
- Gefährdungspotentialklasse 3: Überwachung,
- Gefährdungspotentialklasse 4: Verbleib im Kataster.

Grenzen hinsichtlich der Gefährdungspotentialklassen sind bisher nicht festgelegt worden. Die Zuordnung zur Gefährdungspotentialklasse 4 bedeutet, daß im Rahmen der Bearbeitung von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten keine weiteren Maßnahmen mehr erfolgen.

**409.** In die Bewertung der Stoffcharakteristik gehen Angaben zur Verdachtsfläche selbst und Meßwerte über die von ihr verursachten Belastungssituationen in ihrem Umfeld ein (vgl. Tab. 3.12). Für die Bewertung der Umweltrelevanz festgestellter Stoffkonzentrationen wird auf vorhandene Stofflisten mit Orientierungs-, Prüf- und Höchstwerten zurückgegriffen. Als Bewertungsmaßstab für das Grundwasser dienen die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung oder die Richtzahlen der EG-Richtlinie 80/778 EWG über die Qualität des Wassers für den menschlichen Gebrauch. Für Oberflächengewässer werden die Werte A1,I der EG-Richtlinie 75/440 EWG über Qualitätsanforderungen an Oberflächengewässer für die Trinkwasserge-

winnung herangezogen und für die Bodenbelastungen die B-Werte der Niederländischen Liste (vgl. Abschn. 2.5.1, Tab. 2.5). Für Luft genügt schon allein der Nachweis von bestimmten Schadstoffen, da keine vergleichbaren Listen vorliegen. Wichtig für die Bewertung ist nur die Frage, ob die gemessenen Stoffkonzentrationen die genannten Werte überschreiten (Wasser, Boden) oder ob bestimmte Stoffe nachweisbar sind (Luft). Die hier vorgenommene, vergleichsweise einfach gehaltene Art der Stoffbewertung geht wohl auf die Vorgabe zurück, einen pragmatischen Ansatz für die Modellentwicklung zu benutzen.

Diesem pragmatischen Ansatz entspricht auch die Vorgehensweise bei der Bewertung der Standortcharakteristik. Die Kriterien werden überwiegend nach nur zwei Alternativen beurteilt, beispielsweise groß-klein, ja-nein, stark-gering. Zur Abgrenzung dieser Alternativen sind Werte vorgegeben.

Bei der Bewertung der Nutzungscharakteristik wird von zwei Aspekten ausgegangen: von der Empfindlichkeit der Nutzung gegenüber Beeinträchtigungen und von der Schutzwürdigkeit der Nutzung. Während erstere als noch hinreichend objektivierbar angesehen wird, erscheint dies bei der letzteren nur noch sehr eingeschränkt möglich, weshalb sich die formalisierte Bewertung vorwiegend an der Empfindlichkeit orientiert. Die Vergabe der Punkte erfolgt nach vier Empfindlichkeitsstufen. In die Modellbewertung geht jeweils nur die Summe der beiden höchsten Werte aus der empfindlichsten Standort- und Umgebungsnutzung ein.

**410.** Als Zweck des Bewertungsmodells wird einerseits die Prioritätensetzung betont (IWS und TGU, 1988), andererseits dient das Modell aber darüber hinaus auch der Ermittlung von Handlungsbedarf im Einzelfall (BÜTOW und LÜHR, 1989). Dieser ergibt sich aus der Zuordnung einer Verdachtsfläche zu einer der vier Gefährdungspotentialklassen, die durch unterschiedliche Folgemaßnahmen definiert sind. Die Zuordnung basiert auf der erreichten Punktzahl im formalisierten Verfahren; sie wird jedoch durch die Bewertungskommission geprüft, die die endgültige Zuordnung vornimmt.

**411.** Das für Hessen entwickelte Modell geht von einer begrenzten und überschaubaren Anzahl von Kriterien aus und gibt den Maßstab für deren Bewertung vor. Dieser Maßstab ist allerdings wenig differenziert, so daß nur eine relativ grobe Gewichtung vorgenommen werden kann. Auf die Problematik der Benutzung von Orientierungs- oder Höchstwerten aus definierten Rechtsbereichen und von der Anwendung der Niederländischen Liste bei beliebigen Standortverhältnissen und Nutzungsformen als Maßstab für die Bewertung des stofflichen Gefährdungspotentials wurde schon mehrfach hingewiesen (vgl. Tz. 396 und Kap. 2.5). Auf eine stärkere Differenzierung wird aber offenbar zugunsten eines pragmatischen Modellansatzes verzichtet, der eine schnelle Einstufung einer großen Zahl von Verdachtsflächen erlauben und die Bewertung möglichst transparent und nachvollziehbar machen soll. Die stärkere Differenzierung und gegebenenfalls auch Korrektur der Einstufung durch die formalisierte Vorgehensweise ist Aufgabe der in den Bewertungsvorgang integrierten Bewertungs-

Tabelle 3.12

**Struktur und Kriterien des formalisierten Modells zur Bewertung von Altablagerungen in Hessen**

Kriterienbereiche	Umweltmedien/Belastungspfade			
	Grundwasser	Oberflächengewässer	Boden	Luft
Stoffcharakteristik	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Deponievolumen</li> <li>– Meßwerte über Kontamination</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Deponievolumen</li> <li>– Meßwerte über Kontamination</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Deponievolumen</li> <li>– abgelagerte Abfallart</li> <li>– Mengen der abgelagerten Abfallarten</li> <li>– Meßwerte über Kontamination (einschließlich Flora, Fauna)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Deponievolumen</li> <li>– Deponiealter</li> <li>– Meßwerte über Kontamination</li> </ul>
Standortcharakteristik	<p>Geologie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Durchlässigkeit des Untergrunds</li> <li>– Gleichartigkeit der geologischen Verhältnisse</li> </ul> <p>Grundwasser- verhältnisse:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Flurabstand</li> <li>– Grundwasser- mächtigkeit</li> <li>– Gefälle</li> <li>– flächenhafte Grundwasser- verhältnisse</li> </ul> <p>Ausbildung der Ablagerung und Hydrologie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ausdehnung</li> <li>– Eintiefung</li> <li>– nasser Fuß</li> <li>– Sickerwasserrate</li> <li>– Schwankung der Sickerwasser- menge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entfernung des Gewässers</li> <li>– mehrere Gewässer vorhanden</li> <li>– Überschwem- mungsgebiet</li> <li>– Gewässer durch oder auf Deponie</li> <li>– Durchflußmenge oder Wasser- volumen</li> <li>– Sickerwasserabfluß über Oberfläche</li> </ul>	<p>am Standort:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Oberflächen- abdeckung</li> <li>– Flurabstand</li> <li>– Art der Ober- flächen- abdeckung</li> </ul> <p>in der Standort- umgebung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Oberflächen- abdeckung</li> <li>– ungefaßter seitlicher Deponieabfluß</li> <li>– Flurabstand</li> <li>– Bodenart in der Standortumgebung</li> </ul>	<p>am Standort:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vollständige Ab- deckung der Deponie</li> <li>– Durchlässigkeit der Oberflächen- abdeckung</li> </ul> <p>in der Standort- umgebung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ablagerung als Aufhöhung und/ oder Verfüllung</li> <li>– Oberflächen- abdeckung</li> <li>– durchlässiger Un- tergrund in der Standortumgebung</li> <li>– Deponiestandort in windgeschützter Lage</li> </ul>
Nut- zungs- charakteristik	<p>am Standort:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Grundwasser- entnahme</li> </ul> <p>in der Standort- umgebung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– in oder nahe zu Trinkwasser-/Heil- quellenschutz- gebiet Zone II</li> <li>– Wassergewinnung bis zu 500 m Entfernung</li> <li>– in oder nahe zu Trinkwasser-/Heil- quellenschutz- gebiet Zone III/IV bzw. Wasser- einzugsgebiet</li> <li>– Wasserentnahme zur Beregnung von landwirtschaftlichen bzw. gärtnerischen Anbauflächen</li> <li>– Spiel-, Sport-, Freizeitfläche</li> </ul>	<p>am Standort:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Fischzucht, Angelsport, Viehtränke</li> <li>– Freizeitnutzung (Baden usw.)</li> <li>– Bewässerungs- entnahme</li> <li>– Uferfiltratentnahme</li> <li>– Entnahme zur Grundwasser- anreicherung</li> <li>– Feuchtbiotop</li> <li>– Industrieentnahme</li> </ul> <p>in der Standort- umgebung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– gleiche Kriterien wie am Standort</li> </ul>	<p>am Standort:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bebauung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Wohnbebauung</li> <li>* gewerbliche Bebauung</li> </ul> </li> <li>– Spiel-, Sport-, Freizeitfläche</li> <li>– menschliche Nah- rungsproduktion                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Kleingärten</li> <li>* landwirtschaft- liche Nutzung</li> </ul> </li> <li>– naturnah, Erholung, Wald, Wiese</li> <li>– Brache, Lagerplatz, Verkehrsfläche, Parkplatz</li> </ul> <p>in der Standort- umgebung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– menschliche Nah- rungsproduktion</li> <li>– Naturschutzgebiet, Landschaftsschutz- gebiet, Naturpark, Naherholung</li> <li>– Wald, Wiese</li> <li>– Bebauung</li> </ul>	<p>am Standort:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bebauung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Wohnbebauung</li> <li>* gewerbliche Bebauung</li> </ul> </li> <li>– Spiel-, Sport-, Freizeitfläche</li> </ul> <p>in der Standort- umgebung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– naturnah, Erholung</li> <li>– Bebauung</li> <li>– Spiel-, Sport-, Freizeitfläche</li> <li>– naturnah, Erholung</li> </ul>

Quelle: SRU, nach IWS und TGU, 1988

kommission. Ihr verbleibt ein relativ großer Beurteilungsspielraum. Um ihre Aufgabe sachgerecht vornehmen zu können, benötigt die Bewertungskommission im Einzelfall aber unter Umständen mehr Informationen, als im Altlastdossier dokumentiert werden. Es bleibt abzuwarten, ob sich die bewußt vorgenommene Kurzdarstellung der Standortproblematik im Altlastdossier bewährt.

### 3.3.2.3 Verfahren der vergleichenden Bewertung zur Prioritätensetzung

**412.** In der Bundesrepublik entwickelte Verfahren zur Prioritätenermittlung sollen anhand einiger Beispiele erläutert werden (Tab. 3.13). Die im Saarland im Auftrag des Kommunalen Abfallbeseitigungsverbandes Saar (KABV) und in Schleswig-Holstein erstellten Verfahren sind zur Prioritätensetzung bei der Erstbewertung entwickelt worden und entsprechen einander somit in der Zielsetzung und dem Einsatzzeitpunkt (Arbeitsgemeinschaft Wasserwirtschaft im Schleswig-Holsteinischen Landkreistag, 1985 a und b; MELF SH, 1984 und 1987; SCHÜSSLER, 1985). Da in diesem Bearbeitungsstadium meist noch viele wesentliche Erkenntnisse fehlen, sind die Verfahren entsprechend einfach gestaltet.

Die Bewertungskriterien des im Saarland eingesetzten Modells beziehen ausdrücklich Hinweise und Vermutungen bezüglich der Ablagerung umweltgefährdender Stoffe in die Bewertung ein. Dieses Modell verwendet nur Kriterien, zu denen im Rahmen der Erfassung ausreichende Informationen zu erhalten sind. Die geologischen Standortbedingungen, zu denen aus vorhandenen Unterlagen in der Regel allgemeine Angaben zu entnehmen sind, werden jedoch nicht als Kriterium berücksichtigt. Bei dem in Schleswig-Holstein entwickelten Verfahren ist dagegen nicht ersichtlich, inwieweit die Angaben zu Abfallart und -menge konkretisiert sein müssen. Beide Verfahren unterscheiden nicht nach Belastungspfaden.

Ein Vergleich der maximal möglichen Punktezahlen von Bewertungskriterien bezogen auf die entsprechende Gesamtpunktezahl macht eine unterschiedliche Gewichtung der Bewertungskriterien deutlich. Während das im Saarland angewendete Modell das Vorhandensein von Hinweisen auf die Ablagerung umweltgefährdender Stoffe sehr hoch bewertet und die schutzgut- und nutzungsorientierten Kriterien demgegenüber geringer, setzt das Modell Schleswig-Holsteins andere Schwerpunkte und mißt den schutzgut- und nutzungsorientierten Kriterien einschließlich der geologischen Standortbedingungen größeres Gewicht zu (Tab. 3.13).

**413.** Die „Abschätzung des Gefährdungspotentials von altlastverdächtigen Flächen zur Prioritätenermittlung“ (AGAPE) der Hamburger Umweltbehörde geht von den Belastungspfaden Grundwasser, Oberflächenwasser, Boden, Luft und direkter Kontakt aus, die getrennt geprüft werden (KRISCHOK, 1988; Tab. 3.13). Für jeden Belastungspfad werden die Kriteriengruppen Stoffeigenschaften („Stoffe“), Möglichkeiten von Schadstofffreisetzung und -ausbreitung („Freiwerden“) und Möglichkeit der Gefähr-

dung von Schutzgütern („Umgebung“) mit Punkten bewertet. Das Verfahren ist noch nicht endgültig abgestimmt und wird derzeit erprobt. Es soll nach der Erfassungsphase die Untersuchungsdringlichkeit und -reihenfolge bestimmen und entspricht damit der Zielsetzung des KABV-Modells im Saarland und des Modells von Schleswig-Holstein. Auch AGAPE läßt rein qualitative Nachweise zu, was seiner Einsatzmöglichkeit in dieser frühen Bearbeitungsphase zugeht. Die Bewertungskategorien „Stoffe“ (S) und „Freiwerden“ (F) bieten je nach Datenlage Alternativen. Sind beispielsweise die Inhaltsstoffe einer altlastverdächtigen Fläche nicht bekannt, wählt man den allgemeinen Zweig (S1); liegen dagegen Kenntnisse vor, soll eine genauere Abschätzung über den spezifischen Zweig (S2) vorgenommen werden (KRISCHOK, 1988).

**414.** Das Verfahren der Hamburger Baubehörde zur „Bestimmung des Gefährdungspotentials für das Grundwasser bei Altablagerungen, Altschäden und aktuellen Schadensfällen“, das ausschließlich für den Grundwasserpfad entwickelt worden ist, soll zum einen der Prioritätensetzung dienen, zum anderen auch Sanierungserfolge bewertbar machen (HECHT, 1987 a und b; Tab. 3.13). Dieses Verfahren berücksichtigt als Bewertungskriterien Angaben zu Verunreinigungen von Wasser und Boden, zu den Untergrundverhältnissen, zu Schadstoffen, zur Grundwasserernutzung und zu Sickerwasseraustritten.

Da das Verfahren nur belegbare Fakten, aber keine Vermutungen bewertet und teilweise recht detaillierte Angaben benötigt, die erst nach Untersuchungen verfügbar sind, eignet es sich nicht zur Ermittlung der Untersuchungsdringlichkeit bei der Erstbewertung, sondern zur Prioritätensetzung bezüglich der Notwendigkeit von Detailuntersuchungen und von Sanierungsplanungen. Dementsprechend werden Fälle, bei denen das Gefährdungspotential aufgrund fehlender Untersuchungen noch nicht bestimmt werden kann, zunächst einer eigenen Kategorie zugeordnet (Tab. 3.13).

Zur Klassifizierung der Schadstoffe nach Stoffkonzentrationen wurde auf der Basis der Niederländischen Liste eine eigene Liste mit Prüfwerten für weitere Untersuchungen und für die Sanierung erstellt, die in diesem Bewertungsverfahren verwendet wird. Bei der Überarbeitung des Bewertungsverfahrens will man versuchen, einigen der Einwände, die gegen solche Prüfwerte vorgebracht werden (vgl. Tz. 396 und Kap. 2.5) Rechnung zu tragen (HECHT, 1987 b).

Dieses Verfahren geht über die rein vergleichende Bewertung zur Prioritätensetzung hinaus, da es Handlungsbedarf anzeigende Kriterien verwendet (Prüfwerte) und zur Bewertung von Sanierungserfolgen eingesetzt werden soll.

Beide von Hamburger Behörden erarbeitete Bewertungsverfahren orientieren sich an den Grundzügen des Hazard Ranking System (HRS) der amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA.

**415.** Das Uncontrolled Hazardous Waste Site Ranking System, kurz Hazard Ranking System (HRS) ist Bestandteil des Superfund-Gesetzes CERCLA (Comprehensive Environmental Response, Compensation,

Tabelle 3.13

**Verfahren der vergleichenden Beurteilung zur Prioritätensetzung**  
(Beispiele)

	Saarland Kommunaler Abfall- beseitigungsverband (KABV) Saar  (SCHÜSSLER, 1985)	Schleswig-Holstein Arbeitsgem. Wasserwirtschaft im Schleswig-Holsteinischen Land- kreistag (1985 a, b) und Min. f. Ern., Landw. u. Forsten Schleswig-Holstein (MELF SH, 1987)	Hamburg Umweltbehörde Modell AGAPE  (KRISCHOK, 1988)	Hamburg Baubehörde  (HECHT, 1987 a)
entwickelt für:	Altablagerungen	Altablagerungen, Altstand- orte, sonstige kontaminierte Standorte	altlastverdächtige Flächen	Altablagerungen, Altschä- den, aktuelle Schadensfälle
Ziel der An- wendung:	Untersuchungsprioritäten festlegen	Prioritätenermittlung	Untersuchungsreihenfolge festlegen, Untersuchungs- bedürftigkeit bewerten	Feststellen von Dringlichkeit u. Reihenfolge der Bearbei- tung, Bewertung von Sanierungs- erfolgen
Einsatz bei der Bearbei- tung:	nach Erfassung	nach Erfassung	nach Erfassung	ab Voruntersuchungen
Belastungs- pfade:			Grundwasser, Oberflächen- wasser, Luft, Boden, Direkt- kontakt	Grundwasser
Bewertungs- kriterien/ Punkte	<p>1. Vorhandensein konkreter Hinweise auf Lagerung umweltgef. Stoffe (Stoffe/Hersteller) 2 750</p> <p>2. Vorhandensein allgem. Hinweise auf evtl. Lagerung umweltgef. Stoffe (Hersteller oder Branche) 2 000</p> <p>3. Vorhandensein allgem. Hinweise auf evtl. Lagerung umweltgef. Stoffe ohne weitere Angaben 1 350</p> <p>4. Vermutung hinsichtlich Lagerung umweltgef. Stoffe 1 000</p> <p>5. Entfernung zu Trinkwassergewinnungsanlage max. 450</p> <p>6. Lage innerhalb Wasserschutzgebiet (WSG) 300</p> <p>7. Entfernung zu WSG max. 225</p> <p>8. Angrenzende Wohnbebauung od. sonstige stark frequent. Nutzungsarten 225</p> <p>9. Entfernung zu Wasserflächen, Quellen max. 225</p> <p>10. Lage innerhalb Naturschutzgebiet (NSG) 150</p> <p>11. Entfernung zu NSG max. 100</p> <p>12. Lage im Verdichtungsraum Saar 225</p> <p>max. 4 425</p>	<p>max. Punkte</p> <p>1. Abfallart, Abfallmenge oder Betriebsgröße 10 30</p> <p>2. Standortgegebenheiten</p> <p>– wasserwirtschaftl. Situation:</p> <p>– Lage zu Zentralbrunnen 10*</p> <p>– Lage zu Einzelversorgung 5*</p> <p>– Lage zu Oberflächen-gewässer 10</p> <p>– Lage im Überschwemmungs-gebiet 10</p> <p>– andere Standortbedingungen:</p> <p>– Lage zur geschlossenen Ortslage 5</p> <p>– Lage zum nächsten Einzelhaus 2</p> <p>– heutige Nutzung 10</p> <p>– geolog. Standortbedingungen 10</p> <p>– Lage zum Grundwasserspiegel 10</p> <p>102 (117)</p> <p>* ohne Deckschichten verdoppeln</p>	<p>1. Stoffe (S)</p> <p>S1: allgemein: Gesamtmenge, Art, Alter, Aggregatzustand</p> <p>S2: spezifisch: Einzelstoffmenge, Löslichkeit, Flüchtigkeit, Persistenz, Toxizität, Hautverträglichkeit, Unverträglichkeit, Wassergefährdung (S1 oder S2)</p> <p>2. Freiwerden (F)</p> <p>F1: Verdacht: Anhaltspunkte, Meßwerte</p> <p>F2: Standort: Bodendurchlässigkeit, Grundwasserabstand, Gefälle, Gewässerabstand, Überflutung, Zugänglichkeit, Bodenbewegungen, Bewuchs</p> <p>F3: Schutzeinrichtungen: Behälter, Dichtung, Überwachung, Wasserbehandlung (F1 oder F2 und F3)</p> <p>3. Umgebung (U)</p> <p>Umgebungs-kriterien: Grundwasser- u. Gewässernutzung, Gewässergüte, Schutzzonen, Bevölkerungsdichte, Wohnabstand, Nutzung</p> <p>pro Belastungspfad max. 100 Punkte; Gesamt-Gefährdungspotential: Mittelwert aus Einzelpfadergebnissen</p>	<p>max. Punkte</p> <p>1. Grundwasser-, Stauwasser- und Bodenverunreinigungen 15</p> <p>2. Sperrschichten und Abdichtungen 15</p> <p>– Schutz gegen Eindringen von Schadstoffen ins Grund-/Stauwasser</p> <p>– Schutz gegen weitere horizontale Ausdehnung der Schadstoffe im Grund-/Stauwasser</p> <p>– Schutz gegen weitere vertikale Ausdehnung der Schadstoffe im Grund-/Stauwasser</p> <p>3. Schadstoffe oberhalb des Grund-/Stauwasserspiegels 20</p> <p>– Giftigkeit/Beständigkeit</p> <p>– Schadstoffmenge</p> <p>• Größe der Alt-ablagerung/Abfallmenge</p> <p>• Bodenverunreinigung, Konzentration und Ausdehnung der Schadstoffe oberhalb des Grund-/Stauwassers</p> <p>4. Schadstoffe im Grund-/Stauwasser 25</p> <p>– Giftigkeit/Beständigkeit</p> <p>– Konzentration und Ausdehnung der Schadstoffe im Grund-/Stauwasser</p> <p>5. Grundwassernutzung 20</p> <p>6. Sickerwasseraustritt 5</p> <p>100</p>
Ein- stufungen		Dringlichkeitsstufen: I: 61–120 Punkte: vordringl. zu untersuchen II: 31–60 Punkte: muß untersucht werden, da mögliche Gefährdung III: 0–30 Punkte: Detailuntersuchung nach vorliegendem Kenntnisstand nicht erforderlich	Prioritätsstufen: I: vorrangige Untersuchungen II: nachrangige Untersuchungen III: Untersuchungen nur im Zusammenhang mit Bauvorhaben	Gefährdungskategorien: I: ≥ 60 Punkte – hohes Gefährdungspotential II: 40–59 Punkte – mittleres Gefährdungspotential III: < 40 Punkte – niedriges Gefährdungspotential IV: noch nicht bestimmt kein rein relatives Verfahren

Quelle: SRU, eigene Zusammenstellung

Tabelle 3.14

**Struktur und Bewertungskriterien des Hazard Ranking System der amerikanischen Umweltschutzbehörde**

Grundwasserpfad ( $s_{gw}$ )		Oberflächenwasserpfad ( $s_{ow}$ ) I. Trinkwasser II. Nahrungskette III. Erholung/Freizeit IV. Umwelt	
<b>A. Wahrscheinlichkeit von Stoff-Freisetzen</b>		<b>A. Wahrscheinlichkeit von Stoff-Freisetzen</b>	
A1. festgestellte Stoff-Freisetzung	500 *	I.–IV. A1. festgestellte Stoff-Freisetzung	120
A2. mögliche Stoff-Freisetzung	500	A2. mögliche Stoff-Freisetzung	120
* Sicherheitseinrichtung		– durch oberirdisch abfließendes Wasser	
* Netto-Niederschlag (Infiltration)		* Sicherungseinrichtungen	
* Abstand zum Grundwasserleiter/Durchlässigkeit		* Abfluß	
* Sorptionskapazität		* Entfernung zu Oberflächengewässer	
A: höherer Wert von A1 oder A2	500	– durch Überflutung	
		* Sicherungseinrichtungen	
		* Überflutungshäufigkeit	
		A: höherer Wert von A1 oder A2	120
<b>B. Abfallcharakteristika</b>		<b>B. Abfallcharakteristika</b>	
B1. Toxizität/Mobilität	100	I.–III. B1. Toxizität/Persistenz	100
B2. Mengen gefährlicher Abfälle	100	* Toxizität (I.–III.)	
* Mengen gefährlicher Bestandteile (Einzelmengen)		* Persistenz (I.–III.)	
* Mengen der Abfälle		* Bioakkumulationsfaktor (II.)	
* Ablagerungskapazität		* berechneter Dosisfaktor (III.)	
B: B1+B2	200	IV. B1. Ökotoxizität/Persistenz	100
		I.–IV. B2. Mengen gefährlicher Abfälle	100
		* Mengen gefährlicher Bestandteile (Einzelmengen) (I.–IV.)	
		* Mengen der Abfälle (I.–IV.)	
		* Ablagerungskapazität (I., III., IV.)	
		B: B1+B2	200
<b>C. Schutzgüter und Nutzungsformen</b>		<b>C. Schutzgüter und Nutzungsformen</b>	
C1. am stärksten exponiertes Individuum (entfernungsgewichtet)	50	I. C1.–C3. wie Grundwasserpfad	
C2. exponierte Bevölkerung	200	II. C1. exponierte Bevölkerung	200
* Anzahl der Menschen, die Trinkwasser ausgesetzt sind, das den Konzentrationsniveaus I, II oder III entspricht, oder die möglicherweise exponiert sind		* mögliche Belastung der Nahrungskette	
C3. Grundwassernutzung	50	* tatsächliche Belastung der Nahrungskette	
* Trinkwasser		C2. Nutzung als Fischereigewässer	50
* andere Nutzung		III. C1. exponierte Bevölkerung	200
C4. Wasserschutzgebiet	50	* tatsächliche Belastung	
C: C1+C2+C3+C4	200	* mögliche Belastung	
		IV. C1. empfindliche Umweltbereiche	120
		* empfindliche Umweltbereiche, die Oberflächenwasser ausgesetzt sind, das dem Konzentrationsniveau I oder II entspricht, oder die möglicherweise exponiert sind	
		C: I.: C1+C2+C3	200
		C: II.: C1+C2	200
		C: III.: C1	200
		C: IV.: C1	120
$s_{gw} = A \times B \times C$ normiert auf	100	$s_{ow} = A \times B \times C$ normiert auf	100

noch Tabelle 3.14

Pfad direkter Kontakt ( $s_{dk}$ )		Luftpfad ( $s_l$ )	
I. Anwohner	II. benachbarte Bevölkerung		
<b>A. Wahrscheinlichkeit einer Exposition</b>		<b>A. Wahrscheinlichkeit von Stoff-Freisetzungen</b>	
I. A1. festgestellte Belastung auf Grundstücken der Anwohner	100	A1. festgestellte Stoff-Freisetzung	450
II. A1. Zugänglichkeit/Häufigkeit der Nutzung	100	A2. mögliche Stoff-Freisetzung	390
A2. Mengen gefährlicher Abfälle	100	• Sicherungseinrichtungen	
• Mengen gefährlicher Bestandteile (Einzelmengen)		• Art der Emissionsquelle	
• Mengen der Abfälle		• Mobilität der Schadstoffe	
• Ablagerungskapazität		A: höherer Wert von A1 oder A2	450
A: höherer Wert von A1 oder A2	100		
<b>B. Abfallcharakteristika</b>		<b>B. Abfallcharakteristika</b>	
I., II. B1. Toxizität	5	B1. Toxizität/Mobilität	100
B: B1	5	B2. Mengen gefährlicher Abfälle	100
		• Mengen gefährlicher Bestandteile (Einzelstoffe)	
		• Mengen der Abfälle	
		• Ablagerungskapazität	
		B: B1+B2	200
<b>C. Schutzgüter und Nutzungsformen</b>		<b>C. Schutzgüter und Nutzungsformen</b>	
I. C1. Risikogruppen	100	C1. am stärksten exponiertes Individuum (entfernungsgewichtet)	50
C2. Gesamtbevölkerung	100	C2. Bevölkerung	235
C3. bodenständige empfindliche Umweltbereiche	25	C3. Landnutzung	10
II. C1. Bevölkerung innerhalb einer Meile	100	C4. empfindliche Umweltbereiche	100
C: I.: C1+C2+C3	100	C: C1+C2+C3+C4	235
C: II.: C1	100		
$s_{dk} = A \times B \times C$ normiert auf	100	$s_l = A \times B \times C$ normiert auf	100

\*) alle Zahlenangaben sind maximal mögliche Punktezahlen

$$\text{Gesamtpunktezahl } S = \sqrt{\frac{s_{gw}^2 + s_{ow}^2 + s_{dk}^2 + s_l^2}{4}}$$

Quelle: SRU, nach EPA, 1988; FRANZIUS, 1989

and Liability Act) aus dem Jahr 1980. Es bewertet das relative Gefährdungspotential von Altablagerungen mittels eines Punktesystems. Die Höhe der Punktezahl ist maßgebend für die Aufnahme einer altlastverdächtigen Fläche in die nationale Prioritätenliste (National Priorities List, NPL) und für die Rangfolge der Verdachtsflächen in dieser Liste. Nur die in der NPL enthaltenen Fälle können mit Mitteln des Superfund saniert werden. Der Wert für die Aufnahme in die NPL liegt gegenwärtig bei 28,5 Punkten, bei einer möglichen maximalen Punktezahl von 100.

Aufgrund der vom Superfund-Gesetz SARA (Superfund Amendments and Reauthorization Act) von 1986 geforderten Überarbeitung des HRS veröffentlichte die amerikanische Umweltschutzbehörde im Dezember 1988 den Entwurf einer Neufassung (EPA, 1988). Mit dem Erscheinen der endgültigen überarbeiteten Fassung wird 1990 gerechnet (CALDWELL und ORTIZ, 1989).

**416.** Nach dem Entwurf dieser Neufassung ergibt sich die Gesamtpunktezahl einer Altablagerung aus den Punktezahlen für die vier Belastungspfade Grundwasser, Oberflächenwasser, Luft und direkter Kontakt mit Schadstoffen (Tab. 3.14). Für jeden dieser Pfade werden Bewertungskriterien für die drei Kategorien

- Wahrscheinlichkeit von Stofffreisetzungen,
- Abfallcharakteristika und
- Schutzgüter und entsprechende Nutzungsformen als „Zielobjekte“

genannt und gemäß der fallspezifischen Situation durch Punktezahlen gewichtet. Die Verknüpfung der Bewertungskriterien erfolgt additiv und multiplikativ.

Wird eine Stofffreisetzung festgestellt, das heißt, werden Schadstoffe nachgewiesen, wird dies mit maximaler Punktezahl bewertet. Wird kein Schadstoffaus-

tritt ermittelt, werden die Möglichkeiten einer Stofffreisetzung bewertet (Tab. 3.14). Art, Anzahl und Menge freigesetzter Schadstoffe spielen keine Rolle, sondern allein die Tatsache, daß Schadstoffe überhaupt an die Umgebung abgegeben werden. Als Beweis einer Schadstoffabgabe gelten Konzentrationen, die deutlich über den örtlichen Referenzwerten liegen.

Die Kategorie Abfallcharakteristika umfaßt als Bewertungskriterien Toxizität und Mobilität von Schadstoffen, Mengen gefährlicher Abfälle und der gefährlichen Bestandteile sowie die Ablagerungskapazität.

In die Kategorie Schutzgüter und Nutzungsformen gehen dem jeweiligen Belastungspfad entsprechende Expositionsmöglichkeiten von Schutzgütern ein.

**417.** Die Anwendung des HRS setzt umfangreiche und detaillierte Angaben über die Altablagerungen voraus. Im Gegensatz zum alten HRS sieht der Entwurf der überarbeiteten Fassung Untersuchungen vor, um fehlende, für das HRS benötigte Informationen und Daten zu beschaffen. Damit wird dem Einwand Rechnung getragen, Fälle mit geringem Kenntnisstand würden durch Einsetzen der Werte 0 bzw. 1 beim Fehlen von Daten für einen Bewertungsfaktor gegenüber gut untersuchten Fällen abgewertet (vgl. KINNER et al., 1986).

**418.** Ziel des HRS ist es, in den Vereinigten Staaten auf nationaler Ebene Prioritäten für die Sanierungsdringlichkeit zu setzen. Darüber hinaus wird aber durch die Festlegung eines bestimmten Punktwertes (28,5) als Kriterium für die Aufnahme in die nationale Prioritätenliste (NPL) eine Handlungsnotwendigkeit aufgezeigt, nämlich die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen mit Mitteln des Superfund. Dieser Punktwert ist nicht das Maß zur Abgrenzung eines akzeptablen von einem nicht akzeptablen Risiko (BENNETT, 1988). Im Rahmen der Überarbeitung des HRS zieht die amerikanische Umweltschutzbehörde aufgrund der zahlreichen Änderungen der Neufassung in Erwägung, den Punktwert für die Aufnahme in die NPL neu festzulegen und prüft verschiedene Möglichkeiten, wie dabei vorgegangen werden könnte (CALDWELL und ORTIZ, 1989; EPA, 1988).

### 3.3.2.4 Überlegungen zu derzeitigen Bewertungsansätzen

**419.** Die Gefährdungsbeurteilung ist ein Bereich bei der Bearbeitung von altlastverdächtigen Flächen, bei dem zur Zeit noch große Unsicherheit herrscht und der dringendste Bedarf nach einer nachvollziehbaren gleichartigen Vorgehensweise besteht. Dies gilt insbesondere, wenn es darum geht, Kriterien und Maßstäbe für die Bewertung des Gefährdungspotentials von Verdachtsflächen festzulegen, um den Handlungsbedarf zu ermitteln. Die beschriebenen Bewertungsansätze machen deutlich, wie stark die Ansichten über Art und Umfang notwendiger und geeigneter Bewertungskriterien und deren Gewichtung differieren.

**420.** Die Notwendigkeit einer schutzgut- bzw. nutzungsbezogenen Bewertung wird weitgehend anerkannt, wie die Versuche der Integration solcher Aspekte in die Bewertungsverfahren zeigen. Dies be-

dingt auch die getrennte Betrachtung der Belastungspfade im Hinblick auf die Gefährdungen der Schutzgüter, die mit Ausnahme der im Saarland und in Schleswig-Holstein angewendeten Verfahren zur Prioritätensetzung bei der Erstbewertung (Tz. 412) in den anderen genannten Verfahrensbeispielen vorgesehen ist. Gegenwärtig wird im Saarland unter Beteiligung des Kommunalen Abfallbeseitigungsverbandes Saar ein „Expertensystem für Altlasten“ (XSAL) entwickelt, das auch die Bewertung umfaßt, so daß in Zukunft mit einer differenzierteren Vorgehensweise zu rechnen ist.

**421.** Einen relativ umfassenden Ansatz für die vergleichende Bewertung zur Prioritätensetzung bietet das Modell AGAPE der Hamburger Umweltbehörde (Tz. 413), das die wichtigsten Belastungspfade einbezieht. AGAPE ist für die Erstbewertung konzipiert und kann alternativ nach dem jeweiligen Kenntnisstand allgemeine Anhaltspunkte oder belegbare Fakten bewerten. In Kombination mit dem Verfahren der Hamburger Baubehörde (Tz. 414), das jedoch hinsichtlich der Konzeption der gewählten Prüfwerte noch verbessert werden soll, liegen für den Grundwasserpfad vergleichende Bewertungsverfahren für zwei Bewertungsphasen vor. Inwieweit die für Hamburger Verhältnisse entwickelten Verfahren eine breitere Anwendung gestatten, müßte geprüft werden.

**422.** Bewertungsweisen zur Ermittlung von Handlungsbedarf, die den unterschiedlichen Ansprüchen der Schutzobjekte Rechnung tragen und verschiedene Standortverhältnisse und Expositions- bzw. Nutzungssituationen berücksichtigen, gibt es gegenwärtig erst in Ansätzen. Die in Baden-Württemberg erarbeitete Bewertungsmethode (Tz. 404 f.) versucht, möglichst viele Einflüsse in die Bewertung einzubeziehen. Sie überläßt dem jeweiligen Bearbeiter, in welcher Weise er diese Faktoren gewichtet und in zahlenmäßige Bewertungsgrößen umsetzt. Durch die Anwendung des in Entwicklung befindlichen Expertensystems dürfte in Zukunft mehr Einheitlichkeit bei der Bewertung zu erreichen sein. Demgegenüber treffen KERNDORFF et al. (1988; Tz. 406) eine Auswahl von für den Grundwasserpfad relevanten Schadstoffen und von besonders aussagekräftigen Bewertungskriterien. Deren Umsetzung in Bewertungsgrößen geschieht nach standardisierten Methoden. Gleiches soll für die Quantifizierung von unterschiedlichen Nutzungs- bzw. Expositionssituationen und für die Verbindung der beiden Bewertungsteile gelten. Auch die Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen beschränkt sich auf ausgewählte, in diesem Fall für das System Boden/Pflanze relevante Schadstoffe. Sie bezieht die Nutzung dadurch ein, daß die Bewertung von vornherein nur auf eine bestimmte Nutzungsart, den Kulturboden, abgestellt wird (Tz. 407). Die für Hessen entwickelte Bewertungsmethode (Tz. 408 ff.) bezieht in ihr formalisiertes Modell ebenfalls eine überschaubare Anzahl von Kriterien und Stoffen ein und gibt deren Gewichtung, allerdings in wenig differenzierter Weise, vor. Diese Bewertungsmethode beschränkt sich aber nicht auf ein formalisiertes Modell, sondern kombiniert dieses mit einer abschließenden Prüfung durch Sachverständige, indem es eine Bewertungskommission in das Verfahren der Bewertung inte-



griert. Dadurch basiert die Einstufung eines Falles in eine der Handlungspotentialklassen „Gefährdungspotentialklassen“ nicht allein auf einem formalisierten Verfahren.

Welcher der vorliegenden Bewertungsansätze, die gegenwärtig noch in der Entwicklung oder Erprobung sind, sich für eine breite Anwendung eignet, wird sich erst nach der Bearbeitung einer Vielzahl von Fällen zeigen. Vom methodisch-konzeptionellen Ansatz her erscheint die Kombination eines formalisierten Bewertungsverfahrens mit einer abschließenden Prüfung durch eine Gruppe von Sachverständigen als ein geeignetes Vorgehen. Auf diese Weise können die Vorteile beider Bewertungsweisen genutzt werden, während ihre Schwächen kaum zum Tragen kommen (vgl. Tz. 398 f.). Durch ein solches Vorgehen wird verhindert, daß mit Erreichen eines Punktwertes, der eine bestimmte Maßnahme anzeigt, die Durchführung dieser Maßnahme automatisch ausgelöst wird.

**423.** Um zu einer einheitlichen Vorgehensweise bei der Bewertung zu kommen, empfiehlt der Rat, für die Auswahl von Bewertungskriterien Mindestanforderungen zu erarbeiten. Diese sollten spezifisch für die verschiedenen Belastungspfade sein und sich an stoffspezifischen Charakteristika (Kap. 2.2), an den Standortverhältnissen bezüglich Emissionsmöglichkeiten und Stoffausbreitung (Kap. 2.3) sowie an der möglichen Exposition von Schutzgütern unter Berücksichtigung der Nutzungsformen orientieren (Kap. 2.4). Hierfür ist zunächst zu klären, welches die maßgeblichen Einflußgrößen sind, die die Gefährdung von Schutzgütern auf den einzelnen Belastungspfaden bestimmen.

Ein erster Schritt hierzu erfolgte im Rahmen eines Forschungsvorhabens mit der Aufstellung eines „Minimalkatalogs“ mindestens erforderlicher Kriterien und der Angabe von „Zusatzkriterien“ für ein formalisiertes Verfahren zur vergleichenden Bewertung für den Grundwasserpfad. Das Ziel dieses abgeschlossenen Forschungsvorhabens bestand in der Erarbeitung von Empfehlungen für eine einheitliche Verdachtsflächenbewertung für den Teilbereich Grundwasser; dabei wurden auch vorhandene formalisierte Verfahren berücksichtigt (PÖPPELBAUM et al., 1989).

**424.** Wichtig erscheint dem Rat ein für alle formalisierten Bewertungsverfahren gültiger Hinweis, daß nur solche Kriterien für die Bewertung in Frage kommen, zu denen in der Regel für jede altlastverdächtige Fläche ausreichende Informationen mit vertretbarem Aufwand zu erhalten sind. Ein besonderes Problem stellen dabei Angaben zu abgelagerten Abfallarten und deren Mengen dar, da es sehr schwierig und auch durch Untersuchungen im allgemeinen nicht möglich ist, zu hinreichend umfassenden und repräsentativen Aussagen zu kommen.

Für die Bewertung vorhandener Informationen bei der Erstbewertung gilt, daß hier vor allem solche Kriterien berücksichtigt werden sollten, zu denen Angaben aufgrund vorhandener Unterlagen, wie Kartenwerke und anderes mehr, zu erhalten sind (vgl. Kap. 3.2). Hier schöpfen beispielsweise die im Saarland im Auftrag des Kommunalen Abfallbeseitigungsverbandes Saar und in Schleswig-Holstein erarbeiteten Verfah-

ren ihre Möglichkeiten sicherlich noch nicht voll aus.

**425.** Mehrere Fachleute und Institutionen vertreten die Ansicht, daß man sich bewußt auf die Analyse und Bewertung einer begrenzten Zahl relevanter Stoffe beschränken müsse (z. B. KERNDORFF et al., 1988; LÖLF, 1988; SCHULDT, 1988; vgl. auch Tz. 354). Bei der Auswahl solcher Stoffe ist nach Ansicht des Rates zu berücksichtigen, daß die Bewertung pfadspezifisch erfolgen muß. Es kann deshalb nicht alleine ausschlaggebend sein, welche Schadstoffe besonders häufig in Altlasten auftreten, sondern es ist für diese Stoffe zu prüfen, ob und für welche Belastungspfade sie relevant sind. Ferner ist zu berücksichtigen, daß Schadstoffe als Metaboliten beim Abbau anderer Stoffe neu gebildet werden können.

**426.** Wichtig bei der Anwendung formalisierter Bewertungsverfahren ist die genaue, detaillierte Dokumentation der in die Bewertungskriterien eingehenden einzelfallspezifischen Informationen und der dafür vergebenen Punktzahlen, damit die Bewertung nachvollziehbar und ihr Ergebnis durchschaubar wird. Dies dürfte auch dazu beitragen, die Akzeptanz einer solchen formalisierten Bewertungsweise in der Öffentlichkeit zu erhöhen.

**427.** Die bisher vorliegenden Bewertungsverfahren sind auf die Gesundheit des Menschen als wichtigstes Schutzgut abgestellt, berücksichtigen dabei aber oft nicht genügend, daß die Umweltmedien an sich, wie Grundwasser und Böden, die letztlich die menschliche Lebensgrundlage darstellen, wichtige Schutzgüter sind. Der Rat vertritt die Auffassung, daß nicht nur der Gefährdung des Menschen, sondern auch der Gefährdung von weiteren Schutzgütern, insbesondere auch von Ökosystemen, mehr Aufmerksamkeit gewidmet und dieser Aspekt bei der Bewertung des Gefährdungspotentials stärker einbezogen werden sollte. Dem stehen jedoch zur Zeit noch erhebliche Kenntnislücken über ökologische Wirkungszusammenhänge entgegen. Hier sieht der Rat noch großen Bedarf an Forschungsarbeiten.

**428.** Der Rat hält es für dringlich, zu einer Übereinkunft hinsichtlich geeigneter Bewertungskriterien zu kommen, weiter an der Entwicklung objektiverer schutzgut- bzw. nutzungsabhängiger Bewertungsmaßstäbe für alle wichtigen Belastungspfade zu arbeiten und zu einer einheitlicheren Vorgehensweise bei der Bewertung zu finden. Hierdurch kann ein Beitrag zur Versachlichung der Diskussion in der Öffentlichkeit geleistet und eine willkürliche Einschätzung von Gefährdungssituationen eingeschränkt werden.

### 3.3.3 Konzepte zur Gefährdungsabschätzung

#### 3.3.3.1 Anforderungen an die Konzepte

**429.** Der Umfang des Altlastenproblems erfordert eine effiziente Vorgehensweise zur Lösung. Nur dadurch kann ein optimaler Einsatz knapper Haushaltsmittel und beschränkter Personalkapazitäten sichergestellt werden.

Die zur Erkennung von Altlasten an allen Verdachtsflächen vorzunehmende Gefährdungsabschätzung umfaßt die Bewertung des Gefährdungspotentials einschließlich der dazu erforderlichen Untersuchungen zur Ermittlung der gegenwärtigen und zukünftig möglichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt in jedem einzelnen Fall. Hierzu bedarf es einer durchdachten und differenzierten Vorgehensweise. Ihr Ziel sollte es sein, ein angemessenes Verhältnis zwischen Bearbeitungsaufwand und Höhe des Gefährdungspotentials zu erreichen. Zweckmäßig erscheint eine hierarchische, in bestimmte Schritte gegliederte Methodik mit sich von Schritt zu Schritt steigendem Aufwand, bei der der Eintritt in die nächstfolgende Stufe von der Bewertung des Ergebnisses des vorhergehenden Schrittes abhängt. Damit läßt sich der immer höher werdende Aufwand auf eine immer kleiner werdende Zahl von Untersuchungsobjekten beschränken.

**430.** Wesentlich für die konkrete Durchführung der Gefährdungsabschätzung ist die Entwicklung von problembezogenen Untersuchungsprogrammen, Bewertungskriterien und -maßstäben für die verschiedenen Belastungspfade und Schutzgüter bzw. Nutzungen.

**431.** Die in einzelne Untersuchungsschritte zu gliedernden Programme müssen nach jedem Schritt die Entscheidung über die Notwendigkeit von weiteren Maßnahmen erlauben (Einzelfallbewertung; Tz. 395 ff.). Daneben ist jeweils die Festlegung der Bearbeitungsreihenfolge verschiedener Fälle nach der Dringlichkeit erforderlich (vergleichende Bewertung zur Prioritätensetzung; Tz. 400 ff.).

### 3.3.3.2 Beispiele entwickelter Konzepte

**432.** Gegenwärtig gibt es keine bundesweit einheitliche Vorgehensweise bei der Untersuchung und Bewertung von altlastverdächtigen Flächen. Zahlreiche der inzwischen entwickelten methodischen Konzepte zur Gefährdungsabschätzung stimmen in ihrem konzeptionellen, hierarchisch strukturierten Ansatz weitgehend überein (Tab. 3.15). Auf die Erstbewertung folgt die in mehrere Schritte gegliederte Untersuchung mit einer Bewertungsphase nach jedem Untersuchungsschritt.

Trotz des vergleichbaren konzeptionellen Ansatzes treten bei der Gefährdungsabschätzung inhaltlich deutliche Unterschiede auf, die in abweichenden Vorstellungen über sinnvolle Untersuchungsprogramme und Bewertungsmodelle begründet sind. Ausarbeitungen von konkreten Untersuchungsanleitungen und Bewertungsverfahren, die zur Durchführung dieser Konzepte erforderlich sind, liegen in den meisten Fällen erst für einzelne Belastungspfade oder Bearbeitungsschritte vor (vgl. Abschn. 3.3.1.4 sowie 3.3.2.2 und 3.3.2.3).

**433.** Die Erstbewertung wird auch als Erfassungsbewertung oder Bewertung zur Prioritätensetzung bezeichnet. Ihr Schwerpunkt liegt bei der Ermittlung der Reihenfolge, in der altlastverdächtige Flächen weiter bearbeitet werden. Hierfür sind eine Reihe formali-

sierter Verfahren für die vergleichende Bewertung zur Prioritätensetzung entwickelt worden (Abschn. 3.3.2.3). Wenn bei der Erstbewertung auch bereits Anlaß zu Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen gegeben sein kann, so gibt es in der Mehrzahl der Fälle keine Alternative zur weiteren Bearbeitung, d. h. zur Untersuchung, da die vorhandenen Informationen für eine abschließende Beurteilung meistens nicht ausreichen. So ist es in dieser ersten Bewertungsphase nur unter günstigen Umständen möglich, den Altlastverdacht hinreichend sicher auszuräumen, so daß keine weitere Bearbeitung mehr erforderlich ist. Nur für solche Fälle stellt die Erstbewertung gleichzeitig die abschließende Bewertung dar.

**434.** Im Bereich der Untersuchungen divergieren vor allem bei der Analytik die Ansichten, welche Substanzen zu bestimmen sind und wann sie analysiert werden sollen. Die Untersuchungen sind deshalb in unterschiedlich viele Schritte bzw. Teilschritte mit verschiedener Zielsetzung gegliedert (Tab. 3.15), denen – sofern schon ausgearbeitet – unterschiedlicher analytischer Aufwand zugeordnet wird (Abschn. 3.3.1.4). Der Vergleich von Konzepten für die Gefährdungsabschätzung wird erschwert, weil Schritte gleicher Benennung offenbar verschiedene Ziele verfolgen und zum Erreichen des gleichen Ziels unterschiedlich viele Untersuchungsschritte vorgesehen sind. Hinzu kommt die Schwierigkeit, daß nicht bei allen Konzepten die Zielsetzungen der einzelnen Schritte deutlich werden.

**435.** Vielfach werden alle Untersuchungen, die dem Ziel dienen festzustellen, ob von einer Verdachtsfläche nachteilige Umwelteinwirkungen ausgehen und eine Gefährdung vorliegt, als orientierende Untersuchungen oder Voruntersuchungen bezeichnet (FEHLAU, 1989a; LAGA, 1989; SCHULDT, 1986; vgl. Kap. 3.1). Dabei kann es sich je nach Konzept und nach Belastungspfad um einen Untersuchungsschritt oder eine unterschiedliche Anzahl von Teilschritten handeln. Auf der anderen Seite reicht aber der analytische Umfang, der orientierenden Untersuchungen zugeordnet wird, nicht immer aus, um die Altlasten zu erkennen.

In dem von KERNDORFF et al. (1985) für den Grundwasserbereich erarbeiteten Konzept soll beispielsweise das Ziel, die Erkennung von Altlasten, nach der „Problemstoffanalytik“ (vgl. Tab. 3.15) erreicht werden. Hier ist nach der „Vorerkundung“, die unter anderem die notwendigen geologisch-hydrogeologischen Standortuntersuchungen umfaßt, mit dem „Screening“ ein Schritt eingeschaltet worden, der mit geringem analytischem Aufwand nachweisen soll, ob von der Verdachtsfläche überhaupt Emissionen in das Grundwasser ausgehen. Nur beim Nachweis einer Grundwasserbeeinflussung muß die „Problemstoffanalytik“ durchgeführt werden (Tz. 361).

Trotz Reduzierung der zu analysierenden Parameter, vor allem im „Screening“ (vgl. Tab. 3.5), ist diese Methode geeignet, grundwassergefährdende Altablagerungen in Locker- und bedingt auch in Festgesteinen zu erfassen, wie Untersuchungen an 35 Altablagerungen in der Bundesrepublik belegen (BRILL et al., 1986). Die ausgeprägte Hierarchie dieses Konzepts kommt dem Bestreben zur Minimierung des Untersuchungsaufwands auf das notwendige Maß

entgegen. FEHLAU (1985 und 1989 a) spricht in diesem Zusammenhang von Mindestuntersuchungsprogrammen. Ein solches Programm stellt auch das ebenfalls hierarchisch gegliederte „Mindestuntersuchungsprogramm Kulturboden“ dar (LÖLF, 1988; Tab. 3.15), das in das nordrhein-westfälische Gesamtschema (vgl. FEHLAU, 1989 a; Tab. 3.15) eingegliedert werden kann.

**436.** Der umfassenden Ermittlung von Art und Ausmaß einer festgestellten Gefährdung dient in der Regel der letzte, meist als Detail- oder Hauptuntersuchung bezeichnete Untersuchungsschritt der Gefährdungsabschätzung (FEHLAU, 1989 a und b; KERN-DORFF et al., 1985; SCHULDT, 1986; Tab. 3.15). Diese Untersuchungen können sich auf die als Altlasten erkannten Fälle beschränken.

Tabelle 3.15

**Konzepte zur Gefährdungsabschätzung von Altablagerungen und Altstandorten**

HECHT  (1987b)	FEHLAU  (1989a)	Hessische Landesanstalt für Umwelt  (HLFU, 1987a, b)	Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft  (NLW, 1987)	Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg  (UM BW, 1988a, b)	Arbeitsgem. Wasserwirtsch. im Schleswig-Holst. Landkreistag (1986) u. Min. f. Ern., Landw. u. Forsten Schleswig-Holstein  (MELF SH, 1984)	KERN-DORFF et al.  (1985)	LÖLF  (1988)
Erfassungs-/Erstbewertung	Erfassungs-/Erstbewertung	Prioritäten-setzung	Erstbewertung/Prioritätenbildung	Bewertung (bei BN 1)	Bewertung zur Prioritäten-setzung	Prioritäten-setzung	Erfassungsbewertung mit Auswahl des Mindestuntersuchungsprogramms
Voruntersuchungen	Orientierungsphase – orientierende Untersuchung	orientierende Untersuchung	Untersuchung/Gefährdungsabschätzung – Umfeldanalyse und Emissionsbewertung – Bohrungen, Sondierungen, Meßstellen einrichten – Analytikschritt/ Screening und	orientierende bzw. indikative Erkundung (E <sub>1-2</sub> )	hydrogeol. Verhältnisse klären  Grundwasserbeobachtungsbrunnen einrichten  Probenahme und Regeluntersuchung	Vorerkundung  Screening  Erstbeurteilung  Problemstoffanalytik	Orientierungsphase – rastermäßige Bodenkartierung – Untersuchung vorkommender Fremdmaterialien – Bodenprobenahme – Analytik auf generelle Parameter
Bewertung des Gefährdungspotentials	– Zwischenbeurteilung	Erstbewertung/Beurteilung	Emissionsbewertung	Bewertung (bei BN 2)	Prüfung des Datenmaterials	Zwischenbeurteilung/Bewertung	– Bewertung
Detailuntersuchungen	Detailphase – Hauptuntersuchung	Überwachung/vertiefte Untersuchung	– gezielte Einzeluntersuchung	nähere bzw. Gesamt-erkundung (E <sub>2-3</sub> )	ergänzende Untersuchung	Detailuntersuchung	Detailphase Boden – erweiterte Analytik auf zusätzliche Parameter
Bewertung des Gefährdungspotentials	– abschließende Gefahrenbeurteilung	Bewertung/Gefährdungsabschätzung	– Emissionsbewertung – Gefährdungsabschätzung	Bewertung (bei BN 3) eingehende Erkundung für Sanierungsvorschläge (E <sub>3-4</sub> ) Bewertung (bei BN 4)	abschließende Bewertung und Entscheidung über Maßnahmen	Beurteilung/Bewertung	– Bewertung Detailphase Pflanzen – Unters. v. Nahrungs- u. Futtermaterialien bzw. Versuchsgarten bei konkr. Planungsabsicht – Bewertung

Quelle: SRU, eigene Zusammenstellung

**437.** Eine solche Trennung in Untersuchungsschritte zur Feststellung einer Gefährdung (Altlast) und zur genaueren Ermittlung von Art und Umfang der Gefährdung nehmen nicht alle Konzepte vor. In dem für Schleswig-Holstein entwickelten Konzept ermöglicht der vorgesehene Parameterumfang der „Regeluntersuchung“ für den Wasserpfad (Tab. 3.5) nur den Nachweis einer Verunreinigung, jedoch nicht die Erkennung von Altlasten, so daß hierzu immer ergänzende Untersuchungen erfolgen müssen (Tab. 3.15). Ähnlich ist das in Niedersachsen entworfene Programm konzipiert, bei dem noch an Empfehlungen zur Analytik gearbeitet wird (BAUMGARTEN et al., 1986; NLW, 1987).

**438.** Übereinstimmend sehen die in Tabelle 3.15 genannten Konzepte zur Gefährdungsabschätzung nach jedem Untersuchungsschritt einen Bewertungsschritt vor.

Vielfach erfolgt die Einzelfallbewertung gegenwärtig in Form von Gutachten durch Sachverständige (FEHLAU, 1989 a; MELF NW, 1985; NLW, 1987). Breiter anwendbare Bewertungsansätze zur Ermittlung von Handlungsbedarf im einzelnen Fall bieten die für Baden-Württemberg (UM BW, 1988 a) und Hessen (IWS und TGU, 1988) entwickelten Verfahren für die Belastungspfade Grund- und Oberflächenwasser, Luft und Boden sowie das Verfahren von KERNDORFF et al. (1988) für Grundwasser, das sich jedoch noch in der Entwicklung befindet. Das „Untersuchungsprogramm Kulturböden“ orientiert sich an speziell für diese Nutzungsart festgelegten Prüfwerten für Bodenverunreinigungen und an Höchst- und Orientierungswerten aus dem Lebensmittel- und Futtermittelbereich für Belastungen der Pflanzen (LÖLF, 1988).

Formalisierte Vorgehensweisen zur Prioritätensetzung bei der Erstbewertung gibt es mehrere, von denen einige in Abschnitt 3.3.2.3 beispielhaft genannt sind. Für den Einsatz nach Untersuchungsschritten steht gegenwärtig das Verfahren der Hamburger Baubehörde zur Verfügung, das für den Grundwasserpfad gilt (HECHT, 1987 a und b).

**439.** Neben hier genannten, relativ breit auf Alttablagerungen und Altstandorte anwendbaren Konzepten zur Gefährdungsabschätzung sind auch Methoden für spezifische Altstandorte, beispielsweise Gaswerksstandorte (FRIMAN und MAROSE, 1987) und ölverunreinigte Standorte (ZESCHMANN, 1987), entwickelt worden.

### 3.3.4 Schlußfolgerungen zur Gefährdungsabschätzung

**440.** Obwohl die Zuständigkeit für die Bewältigung der Altlastenprobleme bei den Ländern liegt, hält der Rat eine bundesweit einheitliche Vorgehensweise bei der Untersuchung und Bewertung für erforderlich, da das Altlastenproblem ein bundesweites Umweltproblem darstellt. Um zu einer solchen einheitlichen Vorgehensweise zu kommen, befürwortet der Rat einen verbesserten Kontakt der zuständigen Landesbehörden untereinander und mit der Wissenschaft. Hierbei sollten auch die Überlegungen und Hintergründe dar-

gelegt werden, die zur Wahl einer bestimmten Vorgehensweise geführt haben.

**441.** Entsprechend der Notwendigkeit zur Schaffung effizienter, zeit- und kostengünstiger Lösungen zur Bewältigung der Altlastenproblematik sieht der Rat in einer hierarchisch strukturierten Vorgehensweise bei der Gefährdungsabschätzung die beste Lösung.

Während der hierarchische Ansatz zwar in den Bearbeitungskonzepten zu erkennen ist, divergieren die Ansichten über die Anzahl der Schritte und die konkrete Vorgehensweise bei den einzelnen Schritten. Nach Ansicht des Rates ist es sinnvoll, die Bearbeitung von altlastverdächtigen Flächen bis zu dem Zeitpunkt, der eine Aussage darüber gestattet, ob eine Altlast vorliegt oder der Altlastverdacht ausgeräumt werden kann, auf das notwendige Mindestmaß zu reduzieren, so daß aufwendige Untersuchungen auf Verdachtsflächen mit nachweislich hohem Gefährdungspotential beschränkt bleiben.

**442.** Der Rat empfiehlt deshalb, „Mindestuntersuchungsprogramme“ im Sinne von FEHLAU (1989 a), wie sie beispielsweise KERNDORFF et al. (1985) für durch Alttablagerungen verunreinigtes Grundwasser und die Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen (LÖLF, 1988) für Kulturböden auf Alttablagerungen und Altstandorten entwickelt haben, verstärkt auch für andere Belastungspfade zu erarbeiten. Die damit verbundenen Schwierigkeiten, das aus wissenschaftlicher Sicht notwendige „Mindestmaß“ und damit Anforderungen an ausreichende Informationen zu definieren und die notwendige Verständigung hierüber herbeizuführen, sollten zu lösen sein, wobei Erkenntnislücken durch weitere wissenschaftliche Forschung zu schließen sind. Die Bestimmung des erforderlichen Informationsumfanges kann jedoch nur in Verbindung mit der Klärung der Frage nach den das Gefährdungspotential maßgeblich bestimmenden Faktoren erfolgen, die als Mindestanforderungen an die Bewertungskriterien bei der Bewertung berücksichtigt werden müssen. Auf diese Faktoren bzw. die sie beschreibenden Größen und auf die Möglichkeiten, sie hinreichend genau zu ermitteln, sind die Mindestuntersuchungsprogramme auszurichten. Für die Untersuchungsphase, die zur Erkennung der Altlasten führt, erscheint eine einheitliche Bezeichnung als orientierende Untersuchung zweckmäßig, da die Mindestuntersuchungsprogramme je nach Belastungspfad aus unterschiedlich vielen Schritten bestehen können. Anzustreben wäre ein Untersuchungssystem, das solche Mindestprogramme modular in ein Gesamtkonzept integriert, darüber hinaus aber genügend Spielraum für individuelle Abweichungen im Einzelfall zuläßt und auch aufwendige Untersuchungen zur genauen Bestimmung von Art und Ausmaß einer erkannten Gefährdung einschließt.

**443.** Der Erarbeitung von Bewertungskriterien und -maßstäben zur Beurteilung des Gefährdungspotentials kommt im Hinblick auf die Durchführung von Maßnahmen und die notwendige Prioritätensetzung zentrale Bedeutung zu. Die Anwendung eines formalisierten Bewertungsverfahrens ist sinnvoll, wenn damit eine große Zahl von altlastverdächtigen Flächen

bewertet wird, da so die Vorzüge dieser Verfahren, insbesondere die Vergleichbarkeit der Bewertung verschiedener Fälle, zum Tragen kommen.

Es sollte nicht übersehen werden, daß bei Bewertungsverfahren nach Punktesystemen die Vergabe der Punkte und deren Verknüpfung wissenschaftlich nicht exakt begründbar ist. Derartige Bewertungsverfahren können sich jedoch auf die Grundlage wissenschaftlicher Plausibilität stützen und sind ein wichtiges Hilfsmittel für die Verwaltung, um die große Zahl der altlastverdächtigen Flächen in einheitlicher Weise zu bewerten.

**444.** Das Ergebnis der formalisierten Bewertung des Gefährdungspotentials sollte allerdings unter Berücksichtigung der Schwächen, die einer solchen Vorgehensweise aufgrund der Schematisierung und der Vorgabe quantifizierter Gewichtungsfaktoren zwangsläufig innewohnen, nicht automatisch zur Auslösung einer bestimmten Maßnahme wie Ausschneiden aus der Bearbeitung, Beobachten, Überwachen oder Sanieren führen. Vielmehr sollte die Zuordnung einer bestimmten Maßnahme zu einem Bewertungsergebnis als eine Vorentscheidung verstanden werden, die eine individuelle Prüfung erfordert. Um die endgültige Entscheidung für eine dieser Maßnahmen nicht allein auf das formalisierte Verfahren zu gründen, empfiehlt der Rat, die sich aus dem formalisierten Verfahren ergebende Vorentscheidung von einem Gremium von Experten anhand aller über den Einzelfall verfügbaren Informationen zu prüfen mit der Möglichkeit, sie gegebenenfalls zu korrigieren.

Eine solche Korrektur bedarf einer ausreichenden und nachvollziehbaren schriftlichen Begründung. Durch diese Vorgehensweise kann die Entscheidung über die Sanierungsnotwendigkeit im Einzelfall auch unter Einbeziehung weiterer, die Sanierung beeinflussender Kriterien vorbereitet werden.

Der Entscheidungsspielraum, der dem Expertengremium verbleibt, wird weitgehend von der Qualität des formalisierten Bewertungsverfahrens bestimmt. Im Hinblick auf die Verwirklichung der angestrebten einheitlichen Bewertungsweise sollte deshalb auch bei der Kombination eines formalisierten Bewertungsverfahrens mit einer Expertenbegutachtung auf die Entwicklung des formalisierten Verfahrens große Sorgfalt verwendet werden.

Für die Prioritätensetzung ist dagegen ein formalisiertes Bewertungsverfahren allein ausreichend und hierfür das nützliche Instrument.

**445.** Im Sinne einer bundesweit einheitlichen Bewertungsweise hält der Rat eine bundeseinheitliche Regelung bei der Bewertung für die beste Lösung. Um jedoch auch bei Beibehaltung der verschiedenen Bewertungsverfahren, wie sie gegenwärtig in fast allen Bundesländern entwickelt und praktiziert werden, die Vergleichbarkeit sicherzustellen, empfiehlt der Rat, jedenfalls zu einer länderübergreifenden einheitlichen Regelung zu kommen (vgl. Abschn. 7.4.7). Inwieweit die Informationsschrift der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA, 1989) hierzu beitragen kann, bleibt abzuwarten.

## 4 Sanierung von Altlasten

### 4.1 Sanierungsziele und Sanierungsbegriff

**446.** Sanierungsmaßnahmen sollen sicherstellen, daß von der Altlast nach der Sanierung keine Gefährdung und gegebenenfalls nur beherrschbare, das heißt geringere, bekannte und kontrollierbare Beeinträchtigungen ausgehen, wobei dieses Ziel möglichst kurzfristig erreicht werden soll.

**447.** Die weitestgehende Forderung aus ökologischer Sicht ist die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes des Ablagerungsplatzes oder Altstandortes unmittelbar vor Eintritt der beanstandeten Verunreinigung. Einer solchen Zielsetzung entspricht zum Beispiel die Forderung von ACHAKZI et al. (1988, S. 18), Schadstoffe bei der Sanierung so weit zu reduzieren, daß „der Boden seine natürlichen Funktionen erfüllen kann“. Als wichtigste Bodenfunktionen nennen die Autoren Pflanzenstandort, Filterung von Niederschlagswasser und Haltung von Grundwasser, die entsprechend der Definition der Bodenfunktionen des Rates (SRU, 1985, Tz. 667, 672 ff.) den Regelungs-, Lebensraum- und Produktionsfunktionen zuzurechnen sind. Solche weitergehenden Ansprüche als Sanierungsziel werfen aber in der Praxis Schwierigkeiten und Probleme auf. So stößt eine vollständige Wiederherstellung aller Bodenfunktionen oder des Ökosystems Grundwasser/Grundwasserleiter oder eines Lebensraumes in den Zustand vor der Kontamination aus naturwissenschaftlichen und technischen Gründen an Grenzen.

**448.** Das Sanierungsziel, einen Zustand wie vor der Kontamination der Fläche wiederherzustellen, setzt Dekontaminationsmaßnahmen voraus, die nicht nur eine Elimination der Kontaminationsquelle, sondern darüber hinaus aller auf diese zurückgehenden Verunreinigungen in deren Umgebung gewährleisten kann (Abschn. 4.3.2.2). Je komplexer und breiter die Schadstoffpalette oder je heterogener das System Boden/Schadstoffe in der Altlast ist, desto höher sind die Anforderungen an die Dekontaminationsverfahren. Ab einer gewissen Größe und Komplexität fehlen angemessene Dekontaminationsverfahren noch völlig. Ein hundertprozentiger Wirkungsgrad ist nicht erreichbar. Selbst wenn eine vollständige Dekontamination technisch überhaupt möglich wäre, setzte dies einen Aufwand voraus, der im Einzelfall den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit verletzen kann.

Aus den aufgeführten Schwierigkeiten ist zu ersehen, daß es eine Vielzahl einschränkender Bedingungen gibt, die der Herstellung eines nicht kontaminierten Zustands entgegenstehen. MILDE et al. (1986) führen an, daß bei Grundwasserkontaminationen auch durch langwierige und kostenintensive Sanierungsmaßnahmen der Zustand vor der Kontamination normalerweise nicht wiederhergestellt werden kann. Aus der Sicht des Bodenschutzes kann es nach BACHMANN (1988) eine Sanierung im Sinne von Reinigung zur

Erhaltung „sauberen Bodens“ nicht geben. Böden werden meistens irreversibel kontaminiert und in ihren ökologischen Funktionen gestört. SALZWEDEL (1986) vertritt die Ansicht, daß die Wiederherstellung des Status quo ante fast nie möglich ist. Der Begriff „Sanierung“ kann deshalb nicht im Sinne einer völligen und zeitlich unbegrenzt wirksamen „Genesung“ oder „Gesundung“ verwendet werden.

**449.** Auch der Rat ist der Auffassung, daß es in den meisten Fällen nicht mehr möglich ist, die „absolute Nullbelastung“ (KERN, 1987) für die Schutzgüter an Altlastenstandorten wiederherzustellen, die künftig jede Art von Nutzung ermöglichen würde. Ein solches Sanierungsziel wäre bei der Vielzahl der Fälle auch aufgrund der Finanzierbarkeit in Frage gestellt (vgl. Kap. 6). Der Rat ist bei realistischer Einschätzung des Problemumfangs einerseits und der praktischen Lösungsmöglichkeiten andererseits in Übereinstimmung mit SALZWEDEL (1986) und SCHMIDT (1986) der Ansicht, daß an die Sanierung von Altlasten nicht die Zielvorstellungen des Vorsorgeprinzips angelegt werden dürfen. Die Altlastensanierung muß in ein planerisches Gesamtkonzept eingebunden werden, das auf den jeweiligen Planungsraum mit seinen Nutzungen abgestimmt ist. Das Einbinden der einzelnen Sanierungsmaßnahmen in solche Konzepte, wie z. B. Landschaftsplanung, Stadtentwicklungsplanung, Flächennutzungsplanung und Bebauungsplanung, aber auch in Bewirtschaftungsprogramme für das Grundwasser, ermöglicht, daß die Verfolgung ehrgeiziger Reinhaltziele dort nicht ausgeschlossen ist, wo sie mit angemessenem Aufwand erreichbar sind (vgl. SCHMIDT, 1986). Generell kann die Altlastensanierung aber nicht so weit gehen, daß die Altlastenflächen für eine Nutzung jedweder Art herzurichten sind (vgl. HÖSEL und von LERSNER, bis 1989).

**450.** Der Rat definiert den Altlastensanierungsbegriff wie folgt:

Altlastensanierung ist die Durchführung von Maßnahmen, durch die sichergestellt wird, daß von der Altlast nach der Sanierung keine Gefahren für Leben und Gesundheit des Menschen sowie keine Gefährdung für die belebte und unbelebte Umwelt im Zusammenhang mit der vorhandenen oder geplanten Nutzung des Standortes ausgehen.

Demnach sollte das Sanierungsziel sein, Altlasten mit Hilfe entsprechender Sanierungsmaßnahmen in nicht gefährliche Standorte zurückzuführen. Aus diesem allgemeinen Sanierungsziel lassen sich aber noch keine konkreten Qualitätsanforderungen für den Sanierungsumfang im einzelnen Fall ableiten. Diese müssen aber explizit in jedem Sanierungskonzept enthalten sein.

**451.** Gegenwärtig besteht große Unsicherheit nicht nur bei der Bewertung des Gefährdungspotentials im Hinblick auf die Entscheidung, ob eine Sanierung vor-

zunehmen ist (Abschn. 3.3.2), sondern auch bezüglich des erforderlichen Sanierungsgrades. Der Grad der Sanierung wird durch die Art der Schadstoffbelastung, durch die standortspezifischen Gegebenheiten hinsichtlich der Ausbreitungsmöglichkeiten und durch die Empfindlichkeit der Schutzgüter bei verschiedenen Nutzungsformen bestimmt. Bei direkten Nutzungen durch den Menschen mit Daueraufenthalt ist ein höherer Grad der Sanierung erforderlich; bei der Nutzung als Verkehrsfläche kann ein geringerer Sanierungsgrad ausreichen. Die Schwierigkeit liegt vor allem in der Entscheidung, welche Restkonzentrationen von Schadstoffen im Boden oder Grundwasser bei entsprechender Nutzung verbleiben dürfen. Dieses – auch mit dem Slogan „how clean is clean?“ umschriebene – Problem muß für jeden Sanierungsfall gesondert gelöst werden, wobei besonders die lokal vorhandenen Hintergrundbelastungen einzubeziehen sind.

Aus den gleichen Gründen wie bei der Gefährdungsabschätzung sind auch bei der Festlegung von Sanierungszielen standort- und nutzungsunabhängige Konzentrationswerte als Zielvorgaben nicht sinnvoll (Tz. 396).

**452.** Anders verhält es sich im Fall der für ganz bestimmte Nutzungsarten festgelegten Orientierungs- oder Höchstwerte. Diese können dann als Maßstab herangezogen werden, wenn die angestrebte oder vorliegende Nutzung derjenigen entspricht, für die der Standard festgelegt wurde. Soll beispielsweise durch eine Altlast verunreinigtes Grundwasser auch weiterhin als Trinkwasser verwendet werden, so müßte die Sanierung in einer Form erfolgen, die sicherstellt, daß die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung nicht überschritten werden. Weitere Beispiele für Standards, die auf bestimmte Nutzungen bezogen sind, finden sich in Kapitel 2.5 und 2.6.

**453.** Eine andere Möglichkeit zur Festlegung zulässiger Reststoffgehalte basiert auf der Erarbeitung von duldbaren Aufnahmemengen für Schadstoffe für bestimmte Expositionswege beim Menschen. Aus der Schadstoff-Restbelastung nach der Sanierung ist dann keine nachteilige Wirkung zu erwarten, wenn die aufgenommene Menge des Schadstoffes zusammen mit den auf anderen Wegen aufgenommenen Schadstoffmengen den als duldbare Aufnahmemenge angesehenen Wert nicht überschreitet (vgl. Kap. 2.6; SRU, 1987, Tz. 1244 ff., 1657 ff.).

Ausgehend von solchen duldbaren Aufnahmemengen beim Menschen kann unter Berücksichtigung anderer Aufnahmewege anhand der auf der Ausbreitung des Stoffes und der Nutzungsart beruhenden Expositionssituation auf die im Einzelfall tolerable Restkonzentration in den verschiedenen Umweltmedien geschlossen werden. Daraus ergeben sich für den gleichen Schadstoff bei unterschiedlicher Exposition infolge unterschiedlicher Nutzung und verschiedenartiger Standortverhältnisse unterschiedlich hohe hinnehmbare Konzentrationen. Von der vom BMU eingesetzten Expertengruppe „Gefahrenbeurteilung bei Altlasten“ wird die Erarbeitung solcher duldbaren Aufnahmemengen erwartet.

Dabei wird es nicht als Aufgabe dieser Expertengruppe angesehen, politisch zu verantwortende

Grenzwerte festzulegen, wohl aber, Modelle zu entwickeln, die den politischen Entscheidungsspielraum deutlich machen (RUCHAY, 1988).

**454.** Ein ähnlicher Weg, der aber nicht von Aufnahmemengen ohne nachteilige Wirkung, sondern von einem quantifizierten Risiko ausgeht, wird in den USA beschritten: „clean to an acceptable risk“ (BENNETT, 1988). Für kanzerogene Stoffe, für die keine Wirkungsschwellenwerte und damit keine Aufnahmemengen ohne nachteilige Wirkung angegeben werden können, werden akzeptable Risikowerte festgelegt. Anhand dieser Risikowerte werden für die entsprechende Exposition tolerable Restgehalte ermittelt. Es ist jedoch zu bedenken, daß bei der Quantifizierung dieses Risikos wissenschaftlich noch große Unsicherheiten bestehen. Der Rat betont in diesem Zusammenhang, daß die Entscheidung, welches Risiko als hinnehmbar gilt, eine politische Entscheidung ist, für die die Wissenschaft die notwendigen Grundlagen liefert.

Eine Sanierung bis zur Ebene des hinnehmbaren Risikos kann durch entsprechende Maßnahmen und Verfahren (s. Abschn. 4.3.2) erreicht werden.

## 4.2 Systematik der Maßnahmen zur Abwehr und Beherrschung von Auswirkungen aus Altlasten

### 4.2.1 Art der Maßnahmen

**455.** Vor dem Einsatz von Sanierungsmaßnahmen muß in der Untersuchungs- und Bewertungsphase geklärt sein, ob eine akute Gefährdung von Mensch und Umwelt besteht und somit eine unmittelbare Gefahrenabwehr notwendig wird. Erforderlich werdende Maßnahmen zur Abwehr und Beherrschung von Umweltauswirkungen aus Altlasten können in die vier Gruppen

- Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen,
- Sicherungsmaßnahmen,
- Dekontaminationsmaßnahmen sowie
- Umlagerung

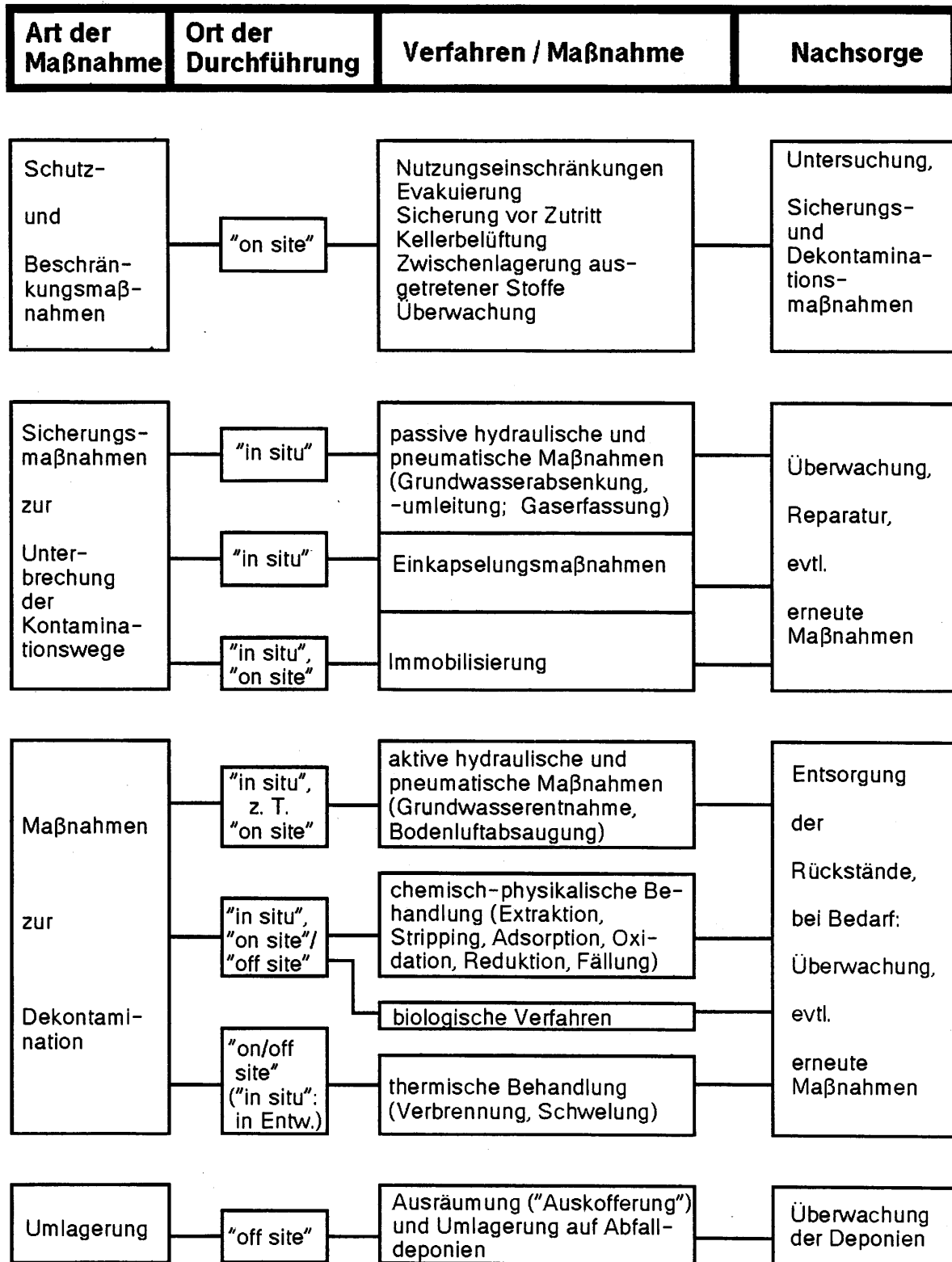
eingeteilt werden (Abb. 4.1).

**456.** Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen können als Zwischenlösung bis zur Durchführung von Sicherungs- und Dekontaminationsmaßnahmen, unter Umständen aber auch danach wegen Kosteneinsparung bzw. bei geringem zu erwartendem Erfolg weitergehender Maßnahmen aufrechterhalten bleiben.

**457.** Die Maßnahmen zur Sicherung und Dekontamination werden zusammen als Sanierungsmaßnahmen definiert (SRU, 1987, Tz. 1008). Zu den Sicherungsmaßnahmen gehören Maßnahmen, die eine zeitlich befristete Verminderung oder Verhinderung der Umweltkontamination durch Unterbrechung der Kontaminationswege gewährleisten. Die zweite Art der Sanierungsmaßnahmen ist die Dekontamination der durch die Gefährdungsabschätzung

Abbildung 4.1

Maßnahmen zur Abwehr und Beherrschung von Umweltauswirkungen aus Altlasten



Quelle: SRU



(Abschn. 3.3.1.1) abgegrenzten Altlast. Die Dekontamination bezweckt die endgültige Beseitigung der Gefahren an der Quelle und im kontaminierten Umfeld.

**458.** Der Rat ist der Auffassung, daß Sicherungsmaßnahmen (s. Abschn. 4.3.2.1), die die Emissionswege langfristig unterbrechen, und Dekontaminationsmaßnahmen (s. Abschn. 4.3.2.2), die die Schadstoffe in kontaminiertem Erdreich oder Grundwasser bzw. in Abfällen eliminieren, gleichberechtigt sind, wenn hierdurch der Schutz des Menschen und der Umwelt, bezogen auf die entsprechende Nutzung, gewährleistet ist bzw. wenn die Gefährdung, bezogen auf die entsprechenden Schutzgüter und Nutzungen, nicht mehr besteht. Im Hinblick auf einen langfristigen Schutz der Umwelt ist eine Dekontamination dann als höherwertig zu betrachten, wenn hierzu umweltverträgliche Maßnahmen angewandt werden. Dekontaminationsmaßnahmen, die der Umweltverträglichkeit entsprechen, können nämlich in höherem Maße und zeitlich unbegrenzt die Gewähr dafür bieten, das Umweltisiko einer Altlast zu vermeiden.

**459.** Bis etwa 1984 hat man vielfach die bautechnischen Sicherungsmaßnahmen, z. B. Einkapselung, als endgültige Maßnahmen angesehen. In jüngerer Zeit verstärkt sich aber die Auffassung (u. a. BMU/UBA, 1988; FRANZIUS, 1986; STIEF, 1988 a), daß derartige Sicherungsverfahren, die zum Beispiel die Ausbreitung von Grundwasser- und Bodenkontaminationen verhindern, eine zeitlich befristete Lösung darstellen, da die Maßnahmen nur über begrenzte Zeiträume wirksam sind. Man kann und will hiermit Zeit gewinnen, bis zweckmäßige Dekontaminationsverfahren zur Verfügung stehen. Der Rat ist der Auffassung, daß die Anwendung von Sicherungsmaßnahmen zum jetzigen Zeitpunkt technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist. Es kann sogar Fälle geben, in denen Sicherungsverfahren als Dauerlösung angesehen werden müssen; dies ist bei den meisten Altablagerungen sowie bei sehr tief reichenden Kontaminationen von Altstandorten der Fall. Einer der Gründe ist, daß insbesondere für großräumige und heterogene Altablagerungen geeignete Dekontaminationsverfahren derzeit nicht vorhanden sind. Die eingesetzten Sicherungsmaßnahmen müssen sich deshalb durch Langzeitstabilität und durch Reparaturmöglichkeiten besonders auszeichnen sowie überwachungsfähig sein.

**460.** Zu den Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen (MELF NW, 1985) zählen Soforteingriffe zur Abwehr von akut drohenden Gefahren für den Menschen. Einige denkbare Eingriffe dieser Art sind:

- Einschränkungen bei der baulichen oder zweckgebundenen Nutzung des Geländes, in besonderen Fällen Betretungsverbote und Evakuierung
- Sichern des Geländes vor Zutritt, auch gegen mutwillige Zerstörung von Meß- und Sanierungseinrichtungen
- Untersagung der Nutzung von Grund- und Oberflächenwasser für Trinkwasserzwecke oder für den allgemeinen Gebrauch, z. B. Schließung von Trinkwasserbrunnen und von Wasserwerken

- Installation von Zwangsbelüftungsanlagen für Kellerräume
- Abdeckung von kleinen Teilflächen
- Auffangen von Sickeröl und Hangwasser
- Beschränkungen für den Verzehr oder, beim Inverkehrbringen von Lebens- und Futtermitteln, Anbauempfehlungen
- Beschränkungen der Deponiegasnutzung.

Sie sind nicht weiter Gegenstand dieser Betrachtung.

**461.** Zu den Sicherungsmaßnahmen zählen:

- passive hydraulische und pneumatische Maßnahmen zur Verminderung des Schadstoffaustrages aus der Altlast und zur Verhinderung der weiteren Schadstoffausbreitung
- horizontale und vertikale Einkapselung der Kontamination einschließlich Abdeckung zur Verhinderung des Niederschlagzutritts, d. h. Teil- oder Voll-Einkapselung des Kontaminationsherdes
- Einschränkung der Mobilität der Schadstoffe durch Immobilisierung.

**462.** Die Sicherungsmaßnahmen ermöglichen einen kurz- und mittelfristigen Zeitgewinn, der von STIEF (1986 a) mit „vielleicht 30 bis 50 Jahren“, von MESECK (1987) mit „mehr als 100 Jahren“ angegeben wird. Die endgültige Lösung, die Dekontamination der Altlast, wird somit zeitlich verlagert. Bis endgültige Lösungen, z. B. geeignete Dekontaminationsverfahren, anwendbar sind, wird die ausreichende Wirksamkeit der Sicherungsmaßnahmen immer überwacht und verlängert werden müssen, z. B. durch Reparatur, erneute Einkapselung bzw. dauernde Grundwasserhaltung. Künftige Veränderungen der technologischen oder ökonomischen Randbedingungen, z. B. steigende Energie- und Grundstückspreise, werden spätere Maßnahmen zur Dekontamination jedoch günstiger erscheinen lassen als den Weiterbetrieb von Sicherungseinrichtungen. Solche Aussagen müssen heute noch weitgehend Spekulation bleiben; erst die Erfahrungen werden zeigen, ob sich spätere Eingriffe erübrigen können oder sie sogar binnen kurzer Zeit mehrmals durchgeführt werden müssen. Daher wird die Forderung erhoben, daß die heute eingesetzten Sicherungsmaßnahmen die später eventuell notwendig werdenden weiteren Maßnahmen weder be- noch verhindern dürfen (Bundesverband Deutscher Geologen, 1987).

**463.** Zur Dekontamination zählen hydraulische, pneumatische, thermische, chemische, physikalische sowie biologische Verfahren zur Behandlung des Kontaminationskörpers. Sie können einzeln oder in Kombination – im Kontaminationskörper („in situ“) oder nach Bodenaushub („on site“ oder „off site“) – durchgeführt werden (vgl. Abschn. 4.2.2).

Die Behandlung des Kontaminationskörpers bedeutet die Anwendung von Umwandlungs- und Trennoperationen, die naturgesetzlich stets unvollständig sind. Daraus ergeben sich Restkontaminationen nach durchgeführter Dekontamination, die im voraus einzukalkulieren, mit der Hintergrundbelastung zu ver-

gleichen und durch die Folgenutzung zu berücksichtigen sind.

**464.** Die einfache Umlagerung, das bedeutet Ausräumen bzw. „Auskoffern“ des Kontaminationskörpers mit anschließender Verbringung des unbehandelten Materials auf Deponien jeglicher Art, lehnt der Rat im Grundsatz ab. Bei dieser Maßnahme handelt es sich um eine Problemverlagerung in Raum und Zeit, weil nur der Standort, nicht aber die kontaminierten Massen gereinigt werden. In ganz besonderen Ausnahmefällen ist die Umlagerung als standortbezogene Maßnahme allerdings nicht zu umgehen. Eine solche Umlagerung als standortbezogene Dekontamination sollte nur dann angewendet werden, wenn Restbelastungen am Standort, z. B. wegen Trinkwassergewinnung, unbedingt vermieden werden müssen. Die Umlagerung muß, nach Ausschöpfung der Möglichkeiten von „on site“/„off site“-Dekontaminationsverfahren, auf geeignete Deponien erfolgen.

In den USA ist die Umlagerung unbehandelten Aushubmaterials seit Ende 1988 bereits stark eingeschränkt. Bei Altlasten, die im Rahmen des Superfund-Programms saniert werden, ist vor einer Ablagerung entnommener Stoffe immer die „beste verfügbare Technologie“ zur Behandlung des Aushubs anzuwenden, weil durch die Maßnahme eine Gesamtverbesserung der Umweltsituation nachzuweisen ist. Dadurch soll auch verhindert werden, daß in der Zukunft neue sanierungsbedürftige Altlasten entstehen. Diese Einschränkungen kommen einem faktischen Verbot der einfachen Umlagerung gleich (BMU/UBA, 1988).

**465.** Sicherungs- und Dekontaminationsmaßnahmen können nicht immer sauber voneinander abgegrenzt werden; dies gilt vor allem für die hydraulischen und pneumatischen Maßnahmen (s. Abschn. 4.3.2.1.2, 4.3.2.2.3). Die in den Abschnitten 4.3.2.1 (Sicherungsmaßnahmen) und 4.3.2.2 (Dekontamination) dargestellten Verfahren der Altlastensanierung können auch aus Gründen der Effektivitätssteigerung miteinander vielfältig kombiniert werden.

Der Rat kann im Rahmen dieses Gutachtens nur einen Überblick über die Sanierungstechniken geben. Auf die entsprechende Literatur wird verwiesen (ACHAKZI et al., 1988; FRANZIUS et al., 1988; HURTIG et al., 1986; THOMÉ-KOZMIENSKY, 1987b und 1988).

#### 4.2.2 Ort der Durchführung von Maßnahmen

**466.** Unabhängig von der Einteilung der Maßnahmen in Schutz-, Sicherungs- und Dekontaminationsmaßnahmen werden Sanierungsmaßnahmen und -verfahren gewöhnlich auch nach dem Ort ihres Eingriffes bzw. ihrer Durchführung klassifiziert (s. Abb. 4.1). Danach gibt es „in situ“-Verfahren, die im anstehenden Festkörper, „on site“-Verfahren, die am Standort, d. h. vor Ort, und „off site“-Verfahren, die fernab vom Standort angewandt werden. Die beiden letztgenannten Varianten werden auch „ex situ“-Maßnahmen genannt (STUPP, 1988).

Im Schrifttum wird diese Einteilung oft stark betont. Während es keinen wissenschaftlichen Grund gibt, den Eingriffsort als Hauptkriterium in den Vordergrund zu stellen, führen verwaltungsrechtliche Überlegungen oft zuerst zu der Frage, ob bei der Sanierung Stoffe anfallen, die dem Abfall- bzw. Gefahrguttransportrecht unterliegen (siehe z. B. Abschn. 2.6.1 in MURL NW, 1987). Aus verfahrenstechnischen und praktischen Gründen stellt sich lediglich die Frage, ob eine wirksame Sanierung mit bzw. ohne Bodenaushub und mit bzw. ohne Transport des ausgehobenen Materials durchgeführt werden kann; die Antwort bestimmt neben der Wirksamkeit den Kosten- und Zeitaufwand der Sanierung weitgehend. Bei der heute gegebenen Engpaßsituation der Sonderabfallentsorgung muß jedoch beachtet werden, daß ausgeräumte Kontaminationsmassen zuerst eine zusätzliche Belastung der ohnehin unzureichenden Kapazitäten bedeuten, es sei denn, für die Sanierungsaufgaben werden zusätzliche Anlagenkapazitäten, z. B. auch in mobiler Ausführung, neu geschaffen.

**467.** In diesem Gutachten werden unter „in situ“-Sanierungsmaßnahmen solche verstanden, die das Gefüge von Böden bzw. Untergrundmaterial (einschließlich Deponiekörper) durch Feststoffentnahme nicht – oder nur zeitweilig (SONDERMANN, 1988) – verändern. Hierzu zählen thermische, chemisch-physikalische und biologische Verfahren, die die im Untergrund oder Grundwasser befindlichen Schadstoffe

- in weniger schädliche Stoffe umwandeln durch Zersetzung oder Abbau mit Hilfe thermischer, chemischer oder mikrobiologischer Verfahren,
- aus der Feststoffmatrix entfernen durch Extraktion, Ausgasen (Strippen), Entgasen, Abpumpen,
- im Kontaminationskörper – zumindest zeitweilig – festlegen, d. h. immobilisieren oder durch bautechnische Einkapselung einschließen.

Neben den schadstoffspezifischen Kennwerten, insbesondere der Menge und Verteilung der Schadstoffe in der Ablagerung bzw. am Altstandort, ist eine Reihe von bodenspezifischen Randbedingungen zu beachten (Abschn. 7.3.1.1 in MURL NW, 1987).

**468.** Die „on site“- und „off site“-Sanierungsmethoden haben die Behandlung des kontaminierten Erdreiches oder Deponiekörpers nach Aushub zum Gegenstand. Darüber hinaus werden „in situ“ gewonnene Gase und Flüssigkeiten meist „on site“, also am Standort, aufgearbeitet. Das schadstoffbelastete Erdreich oder der Deponiekörper muß ausgegraben und entweder am Standort („on site“) oder anderen Ortes („off site“) behandelt werden. Dem vor-Ort-Prinzip entsprechen in der Regel mobile oder umsetzbare, kleinere bis mittelgroße Anlagen, die für den jeweiligen Einsatz optimiert werden. Die „off site“-Anlagen sind dagegen größere stationäre Anlagen, die als Vielzweckanlagen für die Lösung verschiedener Entsorgungsaufgaben vorgesehen sind und gleichzeitig mehrere Altlasten bedienen können. Dem „off site“-Konzept entsprechen die vier geplanten Bodensanierungszentren der Landesentwicklungsgesellschaft Nordrhein-Westfalen (EBEL und WEINGRAN, 1988), in denen verschiedene technische Sanierungsmaß-

nahmen zentral durchgeführt werden sollen. Bei der Standortentscheidung müssen die Transportkosten für den Hin- und Rücktransport des Erdreiches berücksichtigt werden.

### 4.3 Maßnahmen und Verfahren zur Sanierung

#### 4.3.1 Sanierungsplanung

##### 4.3.1.1 Funktionen der Sanierungsplanung

**469.** Die Sanierungsplanung ist als ein mehrstufiger Planungsprozeß zu verstehen, der im Endergebnis zu einem technisch wie politisch realisierbaren Sanierungskonzept führen soll. Die Sanierungsplanung sollte Bestandteil jeder Sanierungsmaßnahme sein. Ausgangspunkt für diese Planung ist das von den politischen Entscheidungsträgern vorher festgelegte Hauptziel der Maßnahme mit einer Reihe von technischen, für den Einzelfall klar definierten Zielvorgaben als Qualitätsanforderungen (s. Abschn. 4.3.1.2). Anhand eingehender Untersuchungen wird in der Machbarkeitsstudie (vgl. Abschn. 4.3.1.3) die Realisierbarkeit des Vorhabens herausgearbeitet und den Entscheidungsträgern in Form von alternativen Sanierungslösungen zur Auswahl gestellt. Weiterhin werden im Rahmen der Sanierungsplanung Vorschläge zur Information und Beteiligung der Betroffenen erarbeitet, um die öffentliche Akzeptanz der Maßnahmen herbeizuführen (s. Kap. 1.5).

**470.** Die Sanierungsplanung und die Auswahl des Sanierungskonzeptes erfolgen in Abstimmung mit dem Träger des Vorhabens und den beteiligten Behörden sowie Instituten unter Federführung einer qualifizierten koordinierenden Instanz.

**471.** Nach seiner Verabschiedung steht das Sanierungskonzept als politisch verbindlicher Beschluß fest und soll in dieser Form die Grundlage der für die Realisierung des Vorhabens in Betracht kommenden spezialgesetzlichen Zulassungen sein. Unvorhersehbare Ereignisse, juristische Einwendungen sowie technischer Fortschritt können jedoch zur Änderung des Sanierungskonzeptes führen, insbesondere dann, wenn es sich um umfangreiche, komplizierte und langandauernde Sanierungsvorhaben handelt.

##### 4.3.1.2 Vorgaben für die Sanierung

**472.** Die konkreten Ziele einer Sanierungsmaßnahme müssen als Kriterien bzw. Qualitätsanforderungen eindeutig formuliert sein und den Ausgangspunkt für die Erarbeitung von Sanierungslösungen bilden.

Aus technischer Sicht ist das Hauptziel der Maßnahme, eine vorgegebene Abschirmungs- bzw. Reinigungsleistung zu gewährleisten. Es kann sich je nach Fallgestaltung um das Erreichen von boden-, wasser-, abwasser- oder abgasbezogenen Konzentrationswerten handeln. Das Erreichen oder Unterschreiten der vorgegebenen Konzentrationswerte (vgl. auch Kap. 2.5 und 2.6) durch die eingesetzte Technik be-

deutet den „absoluten“ Sanierungserfolg. Zur Bewertung der Sanierungsmaßnahme wird ferner der Wirkungsgrad der Sanierung (DUNGS, 1988; SONNEN und WERNER, 1986) benutzt, der jedoch für die Beurteilung des Sanierungserfolgs nicht allein herangezogen werden kann. Vielmehr sollte die Güte einer Altlastensanierung anhand mehrerer Bewertungskriterien festgestellt werden (ACHAKZI et al., 1988):

- Höhe der Restschadstoffkonzentrationen im Vergleich zu angestrebten Zielwerten und behördlichen Vorschriften
- Mobilität und Mobilisierbarkeit verbleibender Restschadstoffe
- Eigenschaften des Bodens hinsichtlich seiner Struktur und des Wasser-, Luft-, Nährstoffhaushaltes vor und nach der Sanierung
- Sicherheit des Betriebes bei der Sanierung im Hinblick auf Arbeitsschutz und mögliche Störfälle
- Zeitbedarf der Sanierung
- Akzeptanz der Maßnahmen sowie unter Umständen weitere politische Bewertungskriterien (vgl. Kap. 1.5).

**473.** Daraus ergeben sich noch folgende Klärungen und Anforderungen:

- Der Verbleib von schwach- und mittelkontaminierten Materialien muß geklärt werden.
- Die Verlagerung des Problems auf andere Umweltsektoren oder Standorte muß ausgeschlossen werden; die unvermeidbare Sekundärbelastung durch Abluft, Abwasser und Rückstände sollte minimiert werden. Alle erforderlichen Genehmigungen nach Abfallgesetz, Wasserhaushaltsgesetz, Bundes-Immissionsschutzgesetz usw. müssen vorliegen und eingehalten bzw. kontrolliert, Anlagenstandorte konkret angegeben werden.
- Der Einsatz von Chemikalien und Energie muß möglichst gering gehalten werden.
- Der Zeitbedarf für die Sanierung muß eingegrenzt werden, wobei die Wechselwirkung zwischen Sanierungszeit und Kostenaufwand zu beachten ist. Eine Sanierungszeit-Vorgabe setzt Durchsatz-Mindestleistungen und Wirkungsgrade von Anlagen voraus, die von diesen erbracht werden müssen, um das zeitliche Sanierungsziel zu erreichen. In Fällen ausgedehnter Untergrundkontaminationen ist nur eine grobe Abschätzung des Zeitbedarfes, z. B. in Jahrzehnten, möglich.
- Der Sanierungsfortschritt muß verfolgt und dokumentiert werden können, wobei die Abnahme des ursprünglichen Schadstoffs allein noch kein ausreichendes Zielkriterium sein darf. Falls Metaboliten bzw. Umbauprodukte von Erstschatstoffen auftreten, sollten diese ebenfalls analysiert werden. Auch der Reproduzierbarkeit und der Vergleichbarkeit der Analysen muß besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden (vgl. Abschn. 3.3.1.4).
- Die Kosten sollten sorgfältig, unter Einbeziehung eines Postens für Unvorhergesehenes, ermittelt und auch eingehalten werden, allein schon, um andere Sanierungsvorhaben nicht zu gefährden.

**4.3.1.3 Sanierungsuntersuchung und Machbarkeitsstudie**

**474.** Die Sanierungsuntersuchung hat die Aufgabe, Grundlagen für die Machbarkeitsstudie zu liefern. In der Sanierungsuntersuchung sind wissenschaftlich-technische, organisatorische, rechtliche und finanzielle Voraussetzungen für die Sanierung abzuklären.

Hierbei ist zu prüfen, ob Vorhersagen und Beurteilung erlaubende Kenntnisse über die hydrogeologische Situation und die Bodenbeschaffenheit sowie über die Kontamination vorliegen. Gegebenenfalls sind Kenntnislücken durch weitere Erhebungen und Untersuchungen im Feld zu schließen (vgl. Kap. 3). GÜNTHER und MESCHÉDE (1988) beschreiben, wie eine infolge mangelnder Daten falsch dimensionierte Maßnahme dazu führen kann, daß Schadstoffe im Untergrund zurückbleiben und in bis dahin unkontaminierte Bereiche eindringen.

**475.** Darüber hinaus sind die organisatorischen Voraussetzungen zu prüfen, unter anderem das Vorhandensein oder die Schaffung klarer Kompetenzen und fachkundiger Leitung für die Machbarkeitsstudie und die Sanierung. Auch die Zugänglichkeit des Geländes für Transporte sowie die Möglichkeit zur Abgrenzung von verschiedenen Gefahrezonen auf dem Gelände muß gewährleistet sein.

Außerdem ist zu klären, welche gesetzlichen Bestimmungen einschlägig sind und ob die geplante Lösung genehmigungsfähig ist.

Letztlich müssen auch die finanziellen Voraussetzungen geprüft werden, unter anderem der vorgegebene Kostenrahmen, der Geldmittelfluß und die Kostenträgerschaft.

**476.** Die Ergebnisse der Sanierungsuntersuchung führen über die Machbarkeitsstudie zu dem Sanierungskonzept. In der Regel werden mehrere Sanierungsalternativen erarbeitet und mit fortschreitender Planung der Maßnahme weiterentwickelt.

**477.** In einem BMBau/UBA-Förderprojekt wird für ein definiert umschriebenes Gelände ein anderes Vorgehen erprobt. Anstelle eines vorgegebenen Sanierungskonzeptes wird das Prinzip „learning by doing“ benutzt. Als vorteilhaft ist die Anpassungsfähigkeit der Maßnahme an die Standortgegebenheiten und an die Ziele der Folgenutzung im Rahmen der Stadtentwicklung zu bezeichnen; nachteilig ist, daß sich der Umfang der benötigten Ressourcen finanzieller, räumlicher und zeitlicher Art nicht exakt vorhersagen läßt (s. ARSU/NWP-Bericht 1989, Sanierung des Povel-Geländes in Nordhorn).

**478.** Wie in Abschnitt 4.3.1.1 dargestellt, besteht die Aufgabe der Machbarkeitsstudie in der Entwicklung des Sanierungskonzeptes, das sich auf das jeweilige Sanierungsziel bezieht. Die Machbarkeitsstudie, die anhand der Ergebnisse der Sanierungsuntersuchung erarbeitet wird, muß alternative Lösungen zur Auswahl stellen. Bei der zunehmenden Vielfalt der im Pilotmaßstab und zum Teil in großtechnischem Einsatz erprobten Verfahren (FRANZIUS, 1988 und 1989) wächst die Bedeutung der richtigen Auswahl und somit die Bedeutung der Machbarkeitsstudie selbst.

**479.** Die Machbarkeitsstudie soll aus der Vielfalt möglicher Verfahren und ihrer Kombinationen jene herausarbeiten, mit denen das Sanierungsziel zu erreichen ist. Dabei sind insbesondere zu untersuchen, zu quantifizieren und zu dokumentieren:

- Eignung der vorgesehenen Verfahrensschritte zur Gewährleistung von Zielvorgaben im Hinblick auf Schadstoffspektrum und -verteilung; hierbei sind die Wechselwirkungen mit Geräten und Werkstoffen einzubeziehen
- Beherrschbarkeit und Betriebssicherheit, einschließlich Einhaltung von Arbeitsschutz-Auflagen
- Überwachbarkeit des Sanierungsprozesses
- Nachsorgemaßnahmen einschließlich ihrer Überwachbarkeit
- Zeitablauf
- Kosten.

**480.** Der Rat fordert ferner, daß die Abschätzung der Risiken ein obligatorischer Bestandteil der Machbarkeitsstudie werden sollte. Sie muß alle Verfahrensschritte des Eingriffs und die Problemverlagerung sowie das Risiko eines möglichen Fehlschlages der Sanierung behandeln. Weiter muß im Wege der Abwägung die Frage beantwortet werden, ob durch die Sanierungstätigkeit neue Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit drohen (s. Abschn. 7.5.2).

Die Machbarkeitsstudie sollte bei der Erarbeitung der verschiedenen alternativen Sanierungsvorschläge grundsätzlich sowohl auf Sicherungs- als auch auf Dekontaminationslösungen eingehen, sie unter- bzw. miteinander vergleichen und sinnvoll verknüpfen.

**481.** Bei den Sicherungsalternativen sind insbesondere die Kriterien

- räumliche, stoffliche und zeitliche Wirksamkeit von Barrieren,
- Art, Umfang und Wirksamkeit notwendiger Begleitmaßnahmen,
- Überwachung der Herstellung und der Wirksamkeit von Barrieren,
- eventuelle Behinderung der späteren Dekontamination

zu untersuchen und zu vergleichen. Da das Ende der Nachsorge bei Sicherungsmaßnahmen in der Mehrzahl der Fälle nicht abzuschätzen ist (s. Abschn. 4.3.3.3), müssen die Vorschläge über die Art und den Umfang der Überwachung sorgfältig auf die Art der Sicherungselemente abgestimmt werden. Dies hat zur Folge, daß mit der Planung der Nachsorge schon in der Sanierungsplanung, das heißt in der Machbarkeitsstudie, begonnen werden muß.

**482.** Demgegenüber gestaltet sich die Untersuchung der Dekontaminationsalternativen wesentlich vielschichtiger. Hinsichtlich der Vorgehensweise bei der Dekontamination sind folgende Fragen zu beantworten:

1. Auf welchen kontaminierten Bereichen sollen die Maßnahmen zur Dekontamination angewendet werden?

2. Bis zu welchem Dekontaminationsgrad können die Schadstoffe zerstört werden, oder wie wird ihr Verteilungsmuster verändert? Welche Medienwechsel finden statt? Wie ist der Weg des Austrages der Schadstoffe aus der Altlast, und wo verbleiben die Schadstoffe?
3. Kann oder muß die Dekontamination „in situ“ bzw. „on site“/„off site“ durchgeführt werden?
4. Können Prozeß und Grad der Dekontamination überwacht werden?

**483.** Punkt 1 muß die Frage beantworten, ob die Dekontamination schwerpunktmäßig am Grundwasser, am Erdreich oder an einem Deponiekörper ansetzen soll. Es muß geprüft werden, ob mobile oder leicht mobilisierbare Kontaminationen durch die Entnahme von Grundwasser, eventuell vorhandenen reinen organischen Phasen (Öl, CKW) oder von Bodenluft dem Untergrund bzw. der Altablagerung entzogen werden können. Voraussetzung dafür ist die ausreichend hohe Löslichkeit, Beweglichkeit oder Flüchtigkeit der Schadstoffe. Bei stärkerer Bindung der Schadstoffe am Untergrundmaterial bzw. bei immobilen, meist in den Hohlräumen des Untergrundes befindlichen Schadstoffeinträgen wird eine „Bodensanierung“, das heißt eine Dekontamination des Erdreichs, durchgeführt werden müssen, es sei denn, der Umfang der Altlast schränkt diese Möglichkeit ein.

**484.** Die Erfordernisse einer gezielten Schadstoffentnahme aus dem Kontaminationskörper mittels aktiver hydraulischer oder pneumatischer Maßnahmen sind in der Machbarkeitsstudie zu beachten. Hierbei ist zu prüfen, ob die Schadstoffe zumindest im Einzugsbereich der Entnahmeeinrichtungen liegen. Die Entnahmestellen sollten in der Regel in den Bereichen

hoher Schadstoffkonzentrationen liegen, um die Effizienz der Dekontamination zu steigern.

**485.** Weiterhin sollte aus Gründen der Wirtschaftlichkeit einerseits die gesamte Entnahmemenge an kontaminiertem Grundwasser minimiert werden, weil die Verdünnung der Kontamination durch die Förderung niedrig bzw. nicht kontaminierten Grundwassers den Aufwand bei der anschließenden Behandlung erhöht. Andererseits sollte die Schadstoffentnahmerate unter Zeitaspekten jedoch maximiert werden. Zu diesem Zweck und beim Vorliegen relativ immobilischer bzw. schwer löslicher Schadstoffe oder organischer Schadstoffe in Phase ist eine gezielte Verdünnung mit Spülkreisläufen zur Mobilisierung und Auswaschung vorzusehen. Die Durchführbarkeit solcher Spülvorgänge muß daher getestet und dokumentiert werden.

**486.** In der Machbarkeitsstudie muß die Dekontamination unter Stoffstromaspekten beschrieben und behandelt werden (Punkt 2). Eine Dekontamination setzt immer eine Reihe von Trennoperationen voraus, das heißt die Erzeugung von mehreren Stoffströmen aus einem Stoffgemisch mit verfahrenstechnisch bedingten Trennschärfen sowie gleichzeitigen oder nachfolgenden Umwandlungsschritten. Sie müssen die im kontaminierten Material vorhandenen Bindungskräfte und -formen (Tab. 4.1) unter Einsatz von Energie aufheben und die dadurch freigesetzten Schadstoffe zerstören oder umwandeln, wobei die Schadstoffe zwischen den verschiedenen Aggregatzuständen sowie Umweltmedien unter Umständen verschoben und somit aus dem System „Altlast“ ausgetragen werden müssen. Die Maßnahmen, mit denen sich dieses Ziel erreichen läßt, werden in Abschnitt 4.3.2.2.1 den vier Strategien Zerstörung, Separierung, Vertei-

Tabelle 4.1

**Mögliche Bindungsformen von Kontaminationen in kontaminiertem Untergrund**

A) Fester Aggregatzustand der Schadstoffe	B) Flüssiger Aggregatzustand der Schadstoffe	C) Gasförmiger Aggregatzustand der Schadstoffe
<ul style="list-style-type: none"> <li>– lockere Einlagerung, Einschlüsse</li> <li>– Agglomerate untereinander und mit dem Untergrundmaterial durch                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● Adhäsion zw. Partikeln</li> <li>● Kapillarkräfte bei niedrigviskoser Flüssigphase</li> <li>● Adhäsion mit hochviskoser Flüssigkeitsphase (Verklebung mit plastischen Schadstoffen)</li> <li>● kristalline Brücken zwischen den Feststoffen</li> <li>● Gitterübergänge zwischen kristallinem Schadstoff und Bodenmineralien</li> <li>● verschiedene Arten der chemischen Bindung</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– lockere Einlagerung, Einschlüsse</li> <li>– Agglomerate untereinander und mit dem Untergrundmaterial durch                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● adsorptive Bindung auf den Partikeloberflächen (Verklebung mit plastischen Schadstoffen) und in Porenstrukturen in Abhängigkeit von der Benetzbarkeit</li> <li>● kapillare Bindung in den Zwickeln zwischen Partikeln</li> <li>● Lösung oder Adsorption in Bodenpartikeln</li> <li>● chemische Bindungsformen</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– in Abhängigkeit vom Dampfdruck (hauptsächlich der Flüssigkeiten) und beim Vorhandensein von Hohlräumen</li> <li>– im Gleichgewicht mit A) und B) (adsorbierten bzw. gelösten Phasen der normalerweise gasförmigen Schadstoffe)</li> </ul>

Quelle: SRU, nach BINDER, 1986

lung und Verlagerung zugeordnet. Aus der Machbarkeitsstudie muß der Verbleib der Schadstoffe erkennbar sein. Im Sinne des Altlastensanierungsbegriffes sollen diese Schritte zu einer Abnahme der Gefährdung führen.

**487.** Der in Punkt 3 angesprochene Ort der Durchführung berührt neben der maximal erreichbaren Wirksamkeit noch den Zeitbedarf und den Kostenrahmen der Sanierung sehr stark. „In situ“-Maßnahmen sind schwerer steuerbar, zeitaufwendiger, aber wegen fehlender Ausräumungs- und Transportkosten auch meist erheblich billiger als vergleichbare „on site“/„off site“-Maßnahmen. Die Machbarkeitsstudie muß besonders zu den Maßnahmen zur Steuerung der Dekontamination Vorschläge unterbreiten und beurteilen. Insgesamt kann die Entscheidung für oder gegen eine Ausräumung nicht allein auf wissenschaftlich-technischer Ebene getroffen werden (siehe dazu die Kap. 1.5 und 5 sowie Abschn. 4.3.2.2.2).

Bei „on site“/„off site“-Maßnahmen sind dementsprechend auch die Maßnahmen des Aushubs, des Transports und der Aufbereitung auf ihre Durchführbarkeit hin zu überprüfen.

**488.** Das in Punkt 4 aufgeführte Prüfkriterium der Überwachbarkeit bezieht sich auf den Prozeß der Dekontamination sowie den Endzustand des dekontaminierten Materials und seiner Nutzung (s. Abschn. 4.3.3).

**489.** Es wurde vorgeschlagen, Sanierungsalternativen für Altablagerungen anhand des Multibarrierenkonzeptes für Neudeponien zu überprüfen (STIEF, 1986 a und b). Als Barrieren werden folgende Systemelemente bezeichnet:

1. die geologischen Gegebenheiten am Standort
2. das Basisabdichtungssystem mit Sohlen- und Seitenabdichtung
3. der Deponiekörper
4. das Oberflächenabdichtungssystem
5. die Nutzung des Areals
6. die Nachsorge sowie die Kontrollierbarkeit und Reparierbarkeit der Barrieren.

Die Barrieren 1 bis 4 werden von STIEF (1988 b) als „echte“ und diejenigen von 5 und 6 als „unechte Barrieren“ angesprochen. Diese Betrachtungsweise entspricht in etwa der Auffassung von APPEL (1989) und DÖRHÖFER (1987), nach der nur physische Hindernisse als Barriere gelten sollen.

**490.** STIEF (1986 a) folgert aus seiner Analyse, daß die technischen Barrieren bei Altdeponien eng begrenzte Eingriffsmöglichkeiten bieten, aus einer gefährlichen Altdeponie eine „gute“ Altdeponie zu machen. Der Rat betont, daß seiner Ansicht nach die Sanierung von Altdeponien auch nicht die Zielsetzung haben kann, den Deponiestandard nachträglich auf das Niveau des Multibarrierenkonzeptes für Neudeponien anzuheben. Das Multibarrierenkonzept sollte jedoch bei der Erarbeitung und zur Auswahl von

Sanierungskonzepten, auch für Altstandorte, Denkansätze geben.

#### 4.3.1.4 Sanierungskonzept

**491.** Als Sanierungskonzept wird das Ergebnis des politischen Entscheidungsprozesses über die Sanierung einer Altlast verstanden, dem technisch realisierbare Sanierungsvorschläge aus der Machbarkeitsstudie zugrunde liegen. Das jeweilige Sanierungskonzept ist streng einzelfallbezogen.

Das Wesen der Sanierungskonzepte läßt sich an einigen bedeutenden Sanierungsfällen beispielhaft darstellen.

**492.** Abbildung 4.2 zeigt das Sanierungskonzept für die Deponie Georgswerder. Unter Stoffstromaspekten ist es wichtig zu erkennen, daß das Konzept den Verbleib der gewonnenen Stoffe regelt. Ausgangspunkt für diesen Sanierungsfall war die Erkenntnis, daß das Abtragen der etwa 14 Mio. m<sup>3</sup> fassenden Deponie nicht möglich ist, weshalb nur eine Teildekontamination erfolgen kann. Dementsprechend enthält dieses Sanierungskonzept verschiedene Elemente von Schutz-, Sicherungs- und Dekontaminationsmaßnahmen.

**493.** Ein weiteres Beispiel eines Sanierungskonzeptes ist die Sanierung der – noch in Betrieb befindlichen – Sonderabfalldeponie Gerolsheim. Die Sanierung ist unter anderem wegen der gemeinsamen Ablagerung von Chemiegips und Hausmüll notwendig geworden, weil im reduzierenden Milieu aus dem Sulfat des Gipses große Mengen an Schwefelwasserstoff entstehen. Das Sanierungskonzept zielt darauf ab, die Deponie durch eine Einkapselung emissionsmäßig beherrschbar zu machen. Es handelt sich also vorwiegend um ein Sicherungskonzept, das auch einige Dekontaminationselemente enthält. Das Konzept sieht vor,

- die Deponie langfristig sicher einzukapseln bei Vorgabe eines Mindestdurchlässigkeitsbeiwertes,
- das Sickerwasser und andere Flüssigkeiten effizient zu erfassen und entsprechend zu dekontaminieren,
- das Deponiegas zu erfassen und zu reinigen bzw. schadstoffarm zu verwerten,
- den Betrieb der Deponie und die Sanierung zu überwachen, um den Sanierungseffekt und das Restrisiko unter Langzeitaspekten abschätzen zu können

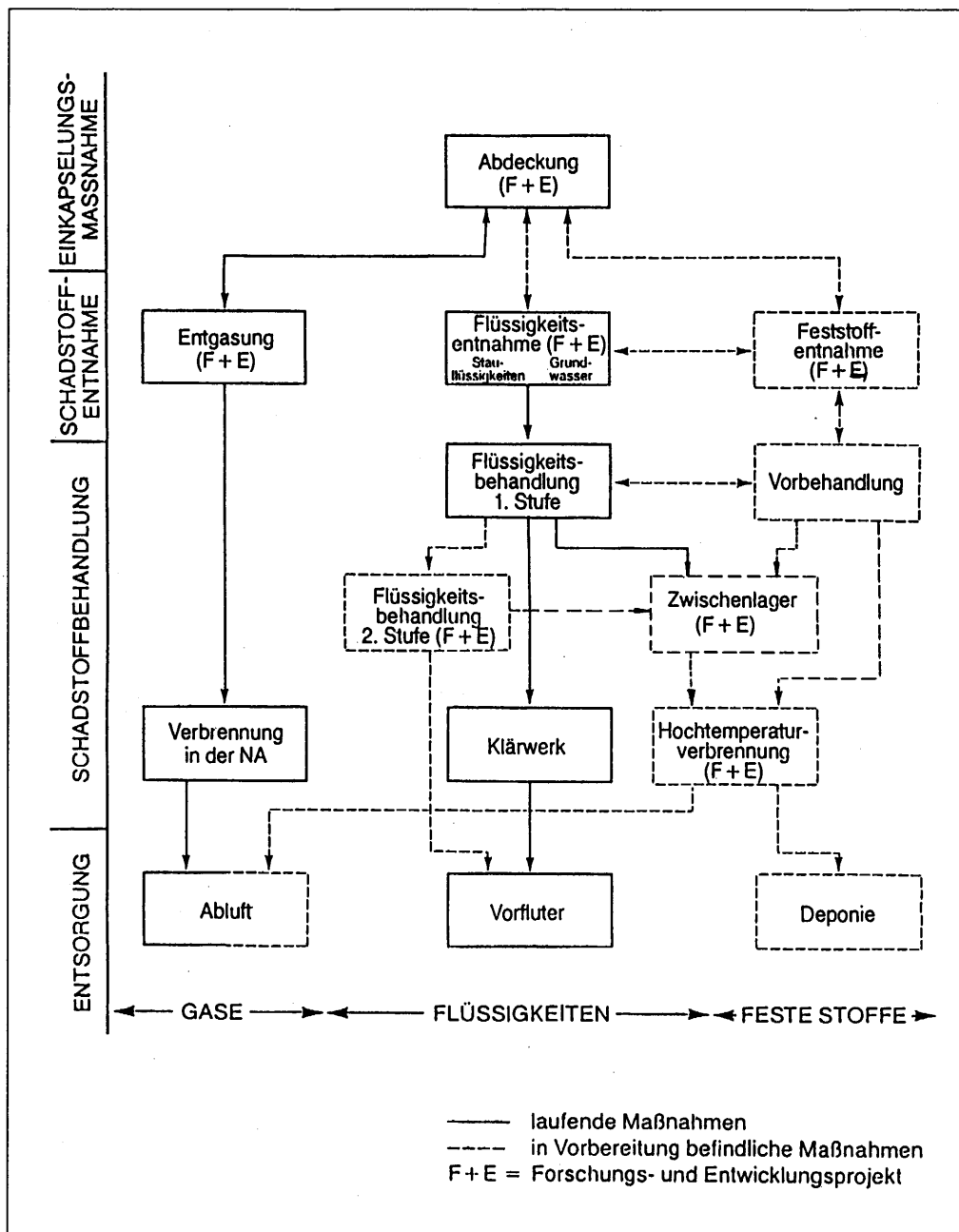
(EHRESMANN et al., 1987).

**494.** Als drittes Beispiel wird die Sanierung des Pintsch-Geländes in Berlin erwähnt. Das mit Altöl, polychlorierten Biphenylen und organischen Lösemitteln stark kontaminierte Gelände dient auch als Forschungsobjekt zur Entwicklung geeigneter Sanierungsverfahren. Auf dem Grundwasser befindet sich eine im Mittel 1,5 m mächtige Ölschicht. Ein Teil des Grundstücks wurde schon 1978 durch Bodenaustausch saniert. Dieses Verfahren konnte nicht fortge-

Abbildung 4.2

Abbildung 4.2

Sanierungskonzept für die Deponie Georgswerder



Quelle: WOLF und ZARTH, 1989

setzt werden, weil verschärfte Bedingungen über einzuhalten Restkonzentrationen Dekontaminationsmaßnahmen erforderlich machten. Das Konzept nimmt auf diese Gegebenheiten folgendermaßen Rücksicht:

1. Abbruch bestehender Gebäude unter als Halle gebauter Umhüllung, Waschen des Abbruchmaterials in einem Polder, Abgabe des Abbruchs an eine Deponie
2. Abteufen von neun Abwehrbrunnen, aus denen das geförderte Wasser nach Entölung und Aufbereitung in den Vorfluter abgeleitet wird

3. Entfernen der Öllinse mit anschließender Zwischenlagerung und Behandlung des stark PCB-haltigen Öls
  4. Dekontamination des Bodens mit Bodenwaschverfahren und thermischer Reinigung
  5. Entsorgung der Rückstände aus der Grundwasser- und Bodenreinigung
- (WOLTMANN, 1986).

Das Sanierungskonzept für das ähnlich stark kontaminierte Pintsch-Gelände in Hanau wurde von SCHARPFF et al. (1988) beschrieben. Dieses Konzept

enthält eine zeitlich abgestimmte Kombination von Sicherungs- und Dekontaminationsmaßnahmen, die auch beträchtliche Kosten sparen hilft.

### 4.3.2 Beschreibung der Sanierungsmaßnahmen und Sanierungsverfahren

#### 4.3.2.1 Maßnahmen und Verfahren zur Sicherung

##### 4.3.2.1.1 Überblick über die Sicherungsmaßnahmen

**495.** Sicherungsmaßnahmen bezwecken eine Unterbrechung der Schadstoffausbreitung. Sie umfassen (vgl. Abb. 4.1)

- passive hydraulische und pneumatische Sicherungsmaßnahmen zur Umleitung oder Eingrenzung von zu- oder abströmenden flüssigen bzw. gasförmigen Medien (Abschn. 4.3.2.1.2),
- bautechnische Einkapselungs- oder Einschließungsmaßnahmen (Abschn. 4.3.2.1.3), die den Zutritt des Transportmediums Wasser sowie den Austritt von Verunreinigungen verhindern sollen sowie
- Maßnahmen zur Einschränkung der Mobilität der Schadstoffe durch Immobilisierung (Abschn. 4.3.2.1.4).

Die Maßnahmen werden im oder am Kontaminationskörper bzw. in seiner engen Umgebung („in situ“) oder am ausgehobenen Material durchgeführt; weiterführende Dekontaminationsmaßnahmen am Standort („on site“) sind bei passiven hydraulischen und pneumatischen Maßnahmen meist erforderlich. Eine Kombination von hydraulischen, pneumatischen sowie Einkapselungsverfahren ist in der Regel sinnvoll; sie sollte im Rahmen der Machbarkeitsstudie (Abschn. 4.3.1.3) geprüft werden (s. auch RIPPER et al., 1988 über die Sanierung des Pintsch-Geländes in Hanau).

##### 4.3.2.1.2 Passive hydraulische und pneumatische Maßnahmen

#### Allgemeines zu den hydraulischen Maßnahmen

**496.** Hydraulische Verfahren bzw. Maßnahmen arbeiten ohne Bodenaushub und setzen an flüssigen Phasen, meist am Grund- und Stauwasser an.

**497.** Die passiven hydraulischen Maßnahmen bezwecken die gezielte Veränderung der hydrodynamischen Verhältnisse im Untergrund, um den Eintrag von Schadstoffen ins Grundwasser und die Ausbreitung kontaminierten Grundwassers zu verhindern oder einzuschränken, gegebenenfalls auch Grundwasserströme, kontaminiert oder unkontaminiert, umzulenken. Diese Maßnahmen werden auch als „hydraulische Abwehrmaßnahmen“ bezeichnet.

Die aktiven hydraulischen Maßnahmen haben dagegen die Aufgabe, durch Fassung und anschließende Behandlung flüssiger Phasen in Form von Grund-, Stau-, Sickerwasser und Sickeröl deren Schadstoffgehalte zu reduzieren. Setzen diese Maßnahmen am Grundwasser an, werden sie auch als „Grundwasser-

sanierungsmaßnahmen“ bezeichnet. Sie werden entsprechend ihrer Zielsetzung zu den Dekontaminationsmaßnahmen gerechnet (Abschn. 4.3.2.2.3).

Eine eindeutige Zuordnung von Maßnahmen zu den Sicherungs- oder Dekontaminationsmaßnahmen ist nicht immer möglich, da zum Beispiel das Ziel, die Ausbreitung einer Kontamination zu verhindern, nicht immer von dem Ziel, dem Trägermedium Schadstoffe zu entziehen, getrennt werden kann.

**498.** Hydraulische Maßnahmen sind immer mit der Entnahme von Flüssigkeiten, z. B. einer Wasser-, Öl-, CKW-Phase, oder mit der Infiltration von Wasser bzw. wäßrigen Lösungen verbunden, die durch Entnahmebrunnen oder -gräben bzw. durch Infiltrationsbrunnen oder Versickerungsgräben erfolgt. Die notwendigen Techniken werden im Wasser-, Tief- und Bergbau seit langem praktiziert; sie sind als Stand der Technik anzusehen (MURL NW, 1987).

Sowohl passive als auch aktive hydraulische Maßnahmen können als Einzelmaßnahmen oder in Kombination mit anderen Sanierungstechniken durchgeführt werden. Sie werden beispielsweise häufig bei „in situ“ ausgeführten biologischen Dekontaminationsmaßnahmen oder zur Ergänzung von bautechnischen Einkapselungsmaßnahmen angewendet (ACHAKZI et al., 1988; RIPPER et al., 1988). EDV-gestützte Strömungs- und Transportmodellrechnungen (Abschn. 3.3.1.3) können die Auswirkungen verschiedener Varianten der hydraulischen Sanierung prognostizieren und stellen deshalb ein wichtiges Hilfsmittel bei der Auswahl der im Einzelfall am besten geeigneten Alternative dar.

**499.** Allen hydraulischen Maßnahmen ist gemeinsam, daß sie nur so lange funktionieren, wie die Förder- bzw. Infiltrationseinrichtungen betrieben werden. Bei Abstellen, aber auch Ausfällen der Einrichtungen stellen sich die ursprünglichen hydrodynamischen Verhältnisse wieder ein.

#### Passive hydraulische Maßnahmen

**500.** Passive hydraulische Maßnahmen haben in der Regel das Grundwasser zum Gegenstand; eine Ausnahme stellt das Auffangen von Sickeröl an einem Deponiehügel dar. Sie setzen deshalb möglichst außerhalb des Kontaminationskörpers an (MURL NW, 1987). Bei Maßnahmen, die eine Grundwasserentnahme beinhalten, kann schadstoffhaltiges Wasser gefördert werden, das dann unter Umständen einer Behandlung bedarf.

**501.** Die Wirkung passiver hydraulischer Maßnahmen beruht auf Änderungen der Grundwasserströmung, die sich durch Wasserentnahme oder -zugabe im Grundwasserleiter gezielt beeinflussen läßt. In Abhängigkeit von der Anzahl und Lage von Entnahme- und Infiltrationsbrunnen und von deren Dimensionierung kann die Grundwasserströmung in einem mehr oder minder großen Bereich in gewünschter Weise gelenkt werden.

So läßt sich beispielsweise durch eine unterstrom einer Altlast angeordnete Galerie von Entnahmebrun-



nen die weitere Ausbreitung schadstoffbelasteten Grundwassers verhindern, wenn dieses durch die Brunnen vollständig erfaßt wird. Ein Umleiten von Schadstoffströmen und Fernhalten von einem schützenswerten Gebiet, wie einem Trinkwasserschutzgebiet, kann zum Beispiel durch gezielte Wasserinfiltrationen erfolgen, die zu einer künstlichen Grundwasserscheide führen.

Eine relativ häufige Anwendung passiver hydraulischer Maßnahmen besteht in der „Trockenlegung“ von Altlasten, die vom Grundwasser durchströmt werden. Hierbei wird durch Absenkung des Grundwasserspiegels infolge Wasserentnahme die Auslaugung der Altlasten und damit die Belastung des Grundwassers vermindert. Ohne zusätzliche Maßnahmen, wie zumindest eine Oberflächenabdichtung zur Einschränkung der Sickerwasserneubildung, ist diese Maßnahme jedoch nur als kurzfristige Sicherung anzusehen.

**502.** Die passiven hydraulischen Maßnahmen können je nach vorliegenden Verhältnissen nicht beliebig lange und oft auch nicht ohne negative Folgen für die verschiedenen Schutzgüter, wie die Erhaltung der Bodenfunktionen oder von Nutzungsformen, durchgeführt werden. Einige Beispiele sollen diese Einschränkungen verdeutlichen:

- geringe Wasserzuflüsse durch ton- oder schluffreichen, schlecht durchlässigen Untergrund
- Verstopfungen des Porenraums, z. B. durch Verlagerung von Untergrundpartikeln (Kolmation) oder infolge chemischer Reaktionen (Verockerung)
- Funktionsverlust durch Alterung von Brunnen
- hoher Energieaufwand und laufend anfallende Kosten während der gesamten Betriebszeit, die beträchtlich steigen können, wenn zum Erreichen des gleichen Effekts immer mehr Grundwasser gefördert und u. U. gereinigt werden muß (vgl. Tz. 667)
- die Möglichkeit der Kontamination bisher unbelasteter Gebiete bei falscher Anordnung oder Dimensionierung der Anlage
- Schäden durch Grundwasserabsenkung an Ökosystemen (Austrocknung) und an der Standfestigkeit von Bauwerken (Setzungsschäden).

Insbesondere in den beiden letztgenannten Beispielen gilt es, zwischen primärem Schaden durch die Altlast und sekundären Schäden durch die Sanierungsmaßnahme abzuwägen sowie die Risiken der Sanierung vorher im Rahmen der Machbarkeitsstudie (Abschn. 4.3.1.3) abzuschätzen und durch flankierende Maßnahmen zu begrenzen (SCHMIDT und SCHÖTTLER, 1985).

#### Allgemeines zu den pneumatischen Maßnahmen

**503.** Pneumatische Maßnahmen dienen der Erfassung gasförmiger Phasen (Gase und Dämpfe). Von den als pneumatische Verfahren bezeichneten Maßnahmen (JESSBERGER, 1987) können nur solche als Passivmaßnahmen zu den Sicherungsmaßnahmen ge-

zählt werden, die das Eindringen von Gasphasen in unkontaminierte Randbereiche verhindern. Im wesentlichen handelt es sich um die Erfassung von Deponiegas, wobei die nachfolgende Verbrennung in erster Linie nicht der Dekontamination, sondern der Entsorgung bzw. der energetischen Nutzung schwer speicherbarer, explosiver Gasgemische dient. In Altlasten mit leichtflüchtigen Flüssigkeiten ermöglicht der hohe Partialdruck solcher Stoffe eine Stoffentnahme durch Bodenluftabsaugung mit Unterdruck. Die gezielte Entnahme von Dämpfen leichtflüchtiger organischer Schadstoffe, wie CKW oder Aromaten, wird als aktive pneumatische Maßnahme zur Dekontamination gezählt (Abschn. 4.3.2.2.3).

**504.** Die Explosivität des Deponiegas-Luft-Gemisches, die Erstickungsgefahr, die toxikologische Bedenklichkeit der Spurenstoffe, die Pflanzenschädlichkeit und die Geruchsbelästigung sind die Gründe, warum die Ausbreitung des Deponiegases mit Hilfe pneumatischer Passivmaßnahmen durch eine Deponiegaserfassung verhindert werden soll (DERNBACH, 1987). Die technischen Einrichtungen richten sich nach Menge und Zusammensetzung der entstehenden Gase, der Nutzungsart der Fläche, z. B. Bebauung, und der Entsorgung des anfallenden Gasgemisches. Die gezielte Deponiegaserfassung mit Hilfe von Gasbrunnen, Abzugsrohr- und Entsorgungssystemen wird von STEGMANN et al. (1987) detailliert beschrieben.

Im Falle gefährdeter Gebäudeteile, z. B. Keller, Garage, Schächte, wird die Nutzung untersagt, und die Räume werden an ein Entlüftungssystem angeschlossen. Diese Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen müssen gegebenenfalls jahrzehntelang durchgeführt werden.

#### 4.3.2.1.3 Einkapselungsmaßnahmen

**505.** Zu den am längsten bekannten Sicherungsmaßnahmen gehören die nachträglichen bautechnischen Einkapselungs- oder Einschließungsmaßnahmen von Altlasten, die den Zutritt von Wasser in die Altlast sowie den Austritt von Schadstoffen aus der Altlast weitgehend verhindern sollen. Einkapselungsmaßnahmen werden vorrangig bei großvolumigen Altablagerungen und weniger bei Altstandorten eingesetzt (vgl. Abschn. 4.3.2.2.1).

Einkapselungsmaßnahmen können in Frage kommen, wenn

- keine Dekontaminationsmaßnahmen anwendbar sind, sei es aufgrund mangelnder geeigneter Technologie, zu großer Umweltbelastungen durch die Maßnahmen, fehlender Anlagenkapazitäten oder unverhältnismäßiger Kosten,
- die Altlast sehr große Flächen einnimmt oder von der Altdeponieoberfläche her gesehen sehr tief reicht,
- die örtlichen Verhältnisse keine anderen Maßnahmen zulassen, z. B. Verkehrsflächen,
- Zeit gewonnen werden soll für eine eventuell später mögliche Dekontamination.

**506.** Bei den Einkapselungsmaßnahmen geht es um den Einbau von Barrieren, die den Stoffaustausch zwischen der Altlast und den Umweltmedien beherrschbar machen und dadurch so beeinflussen, daß Verunreinigungen von Boden, Luft sowie Grund- und Oberflächenwasser vermindert oder vermieden werden. Darüber hinaus kann durch den Bau von Barrieren auch eine gezielte Änderung der hydrologischen und bodenmechanischen Bedingungen erreicht werden (HURTIG et al., 1986). Bei Bedarf müssen gemeinsam mit der Einkapselung oft verschiedene hydraulische und pneumatische Begleitmaßnahmen angewandt werden (s. Abschn. 4.3.2.1.2 und 4.3.2.2.3).

Die Barrieren, die den Kontaminationsherd eingrenzen, beseitigen die Schadstofflast nicht; man erreicht aber einen mehr oder weniger großen Gewinn an Zeit, um zu einem späteren Zeitpunkt Dekontaminationsmaßnahmen durchzuführen, wenn dies aufgrund verbesserter Technologie möglich ist. Jedoch muß beachtet werden, daß die Barrieren nach entsprechend langer Einsatzzeit unwirksam werden können, so daß Reparaturen oder ein Ersatz notwendig werden.

Abbildung 4.3 zeigt die Elemente von Einkapselungsmaßnahmen, wobei jedes Element für sich allein oder gemeinsam mit anderen eingesetzt werden kann.

Bei den Elementen 1 bis 3 handelt es sich um bautechnische Maßnahmen, deren Grundzüge aus dem Erd-, Grund-, Deponie- und Tunnelbau bekannt sind. Die

Elemente 4 und 5 sind als deponietechnische Verfahren einzuordnen.

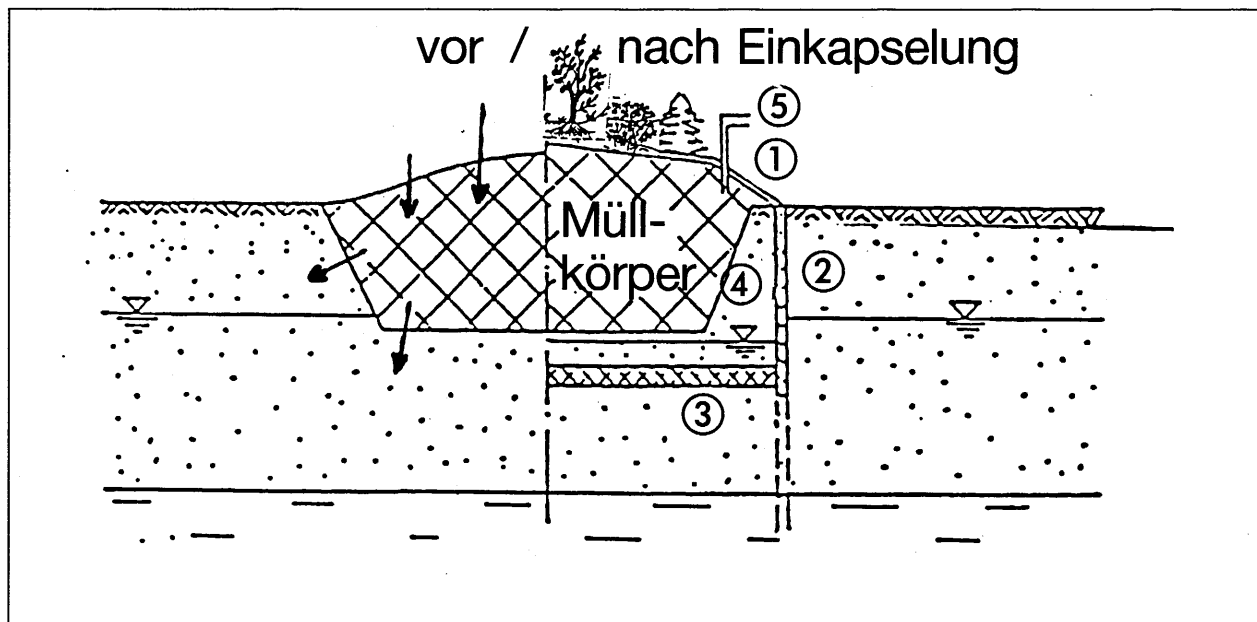
**507.** Die Auswahl der jeweiligen Einkapselungsmaßnahme richtet sich nach der Topographie, den Untergrund- und Grundwasserverhältnissen sowie nach dem Umfang der Altlast und der Art ihrer Schadstoffbelastung. Die bei der Planung von Einkapselungsmaßnahmen zu klärenden Fragen hat STIEF (1985) für Oberflächenabdeck- und Dichtwandsysteme in einem Fragenkatalog zusammengestellt.

Die vorgesehenen bautechnischen Verfahren sind unter besonderer Berücksichtigung der Herstellungsverfahren, der Standsicherheit und setzungsbedingten Verformungen sowie bei Dichtwänden mit Dichtmasse in ihrer Zusammensetzung auf den jeweils vorliegenden Fall mit einem entsprechenden Anforderungsprofil abzustimmen (BEINE und GEIL, 1985; JESSBERGER, 1985). Für die Wirksamkeit haben Dichtwandmassen eine entscheidende Aufgabe. Es geht hierbei besonders um die Verminderung der Durchlässigkeit gegenüber chemisch aggressiven Stoffen, wobei eine sehr geringe Durchlässigkeit auf lange Zeiträume angestrebt wird.

Hilfreich für die Praxis sind Spezifikationen mit entsprechenden Anforderungen, die für die verschiedenen Dichtungssysteme von THOMÉ-KOZMIENSKY (1988) beschrieben werden, aber auch die Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau (JESSBERGER, 1988).

Abbildung 4.3

#### Elemente von Einkapselungsmaßnahmen



- ① Oberflächenabdeckung, Bewuchs und Bepflanzung
- ② vertikale Dichtung (Dichtwände)
- ③ horizontale Dichtung
- ④ Entwässerung
- ⑤ Entgasung

Quelle: JESSBERGER, 1985, verändert

## Oberflächenabdeckung und -abdichtung

**508.** Es steht eine Vielzahl von Systemen für die Oberflächenabdeckung und -abdichtung zur Verfügung (BEINE, 1986). Von GÜNTHER (1988) sowie JESSBERGER und GEIL (1988) wurden die Anforderungen und Bemessungsgrundsätze für Abdecksysteme zusammengestellt. Diese Systeme haben vielfältige Aufgaben zu erfüllen (HURTIG et al., 1986; MURL NW, 1987):

- Fassung und Ableitung des Oberflächenwassers mit dem Ziel, durch Verminderung des Einsickerns von Oberflächenwasser den Anfall von Stau- bzw. Sickerwasser mit der Auslaugung von Schadstoffen zu reduzieren
- Verhinderung des Kapillaraufstiegs an die Erdoberfläche
- Kontrolle der Flüssigkeitsbewegung im Untergrund
- Kontrolle und Ableitung von im Untergrund gebildeten Gasen zur Verhinderung unkontrollierten Austretens
- Minimierung der Gefahr von Bränden
- Verhinderung von direkten Kontakten mit Schadstoffen an der Oberfläche
- Verhinderung des Durchwachsens von Wurzeln durch das Abdecksystem und Verhütung der Aufnahme von potentiell schädlichen Stoffen durch Pflanzen
- Ermöglichung bzw. Unterstützung des Pflanzenwachstums
- Verhinderung von Staubverwehung
- Verbesserung der strukturellen Eigenschaften des Standortes
- Sicherstellung bestehender oder geplanter Nutzungsformen
- Verbesserung der ästhetischen Wirkung.

Die Priorität der zu erfüllenden Aufgaben setzt auch die Maßstäbe für den erforderlichen Aufbau des Abdeckungssystems. Die Begrenzung des Einsickerns von Niederschlagswasser hat in der Regel höchste Priorität.

**509.** Neben Oberflächenabdichtungssystemen, die im einfachsten Fall aus Deckschicht, Dichtungsschicht und Schutzschicht bestehen, gibt es kombinierte Dichtungssysteme wie Mehrfachabdichtungen, Doppelabdichtungen und Kombinationsabdichtungen.

Den Aufbau verschiedener kombinierter Dichtungssysteme zeigt Abbildung 4.4. Die Dichtschicht kann aus natürlichen bzw. aufbereiteten mineralischen Materialien oder aus Kunststoffdichtungsbahnen, z. B. Polyethylen hoher Dichte (HDPE), bestehen.

**510.** Um das geeignete Oberflächenabdichtungssystem herauszufinden, das den Beanspruchungen, unter anderem den Dehnungen, Zerrungen, Scherungen, aber auch den chemischen Stoffen und Gasen widersteht, sind vom BMFT zahlreiche Praxistests ge-

fördert worden (HURTIG et al., 1986). Über Erfahrungen mit in Testfeldern angeordneten Oberflächenabdichtungssystemen berichten HÖTZL und WOHNLICH (1988) sowie MELCHIOR und MIEHLICH (1988).

Kombinationsdichtungsschichten werden bei der Altablagerung Hamburg-Georgswerder und der Sonderabfalldeponie Gerolsheim eingesetzt. Einzelheiten über Werkstoffe, Eigenschaften, Anforderungen und Qualitätssicherung von Kunststoffdichtungsbahnen beschreibt KNIPSCHILD (1988).

**511.** STIEF macht darauf aufmerksam, daß bei Oberflächenabdichtungssystemen auch das Erosionsproblem auftritt. Die aufgetragenen Rohböden, die durch die Form der Schüttung und die Baumaßnahme selbst keine Pflanzendecke besitzen, sind besonders wassererosionsgefährdet. Dem Bodenabtrag muß wirksam begegnet werden (STIEF, 1988a).

Um die Wirksamkeit der Oberflächenabdichtung abzuschätzen, empfiehlt sich die Durchführung von Wasserhaushaltsberechnungen (MELCHIOR und MIEHLICH, 1987). Hierfür steht das in den USA entwickelte Programmsystem HELP (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) zur Verfügung (MARKWARDT und REICH, 1987).

**512.** Oberflächenabdichtung als alleinige Sicherungsmaßnahme kann nur dort eingesetzt werden, wo eine horizontale Schadstoffausbreitung und eine Ausbreitung der Schadstoffe im Sohlenbereich nicht zu befürchten ist. Ist diese nicht auszuschließen, so sind auch weitere, vertikale und horizontale Barrieren notwendig.

## Vertikale Abdichtung (Dichtwände)

**513.** Die vertikale Abdichtung durch sogenannte Dichtwandssysteme soll verhindern, daß

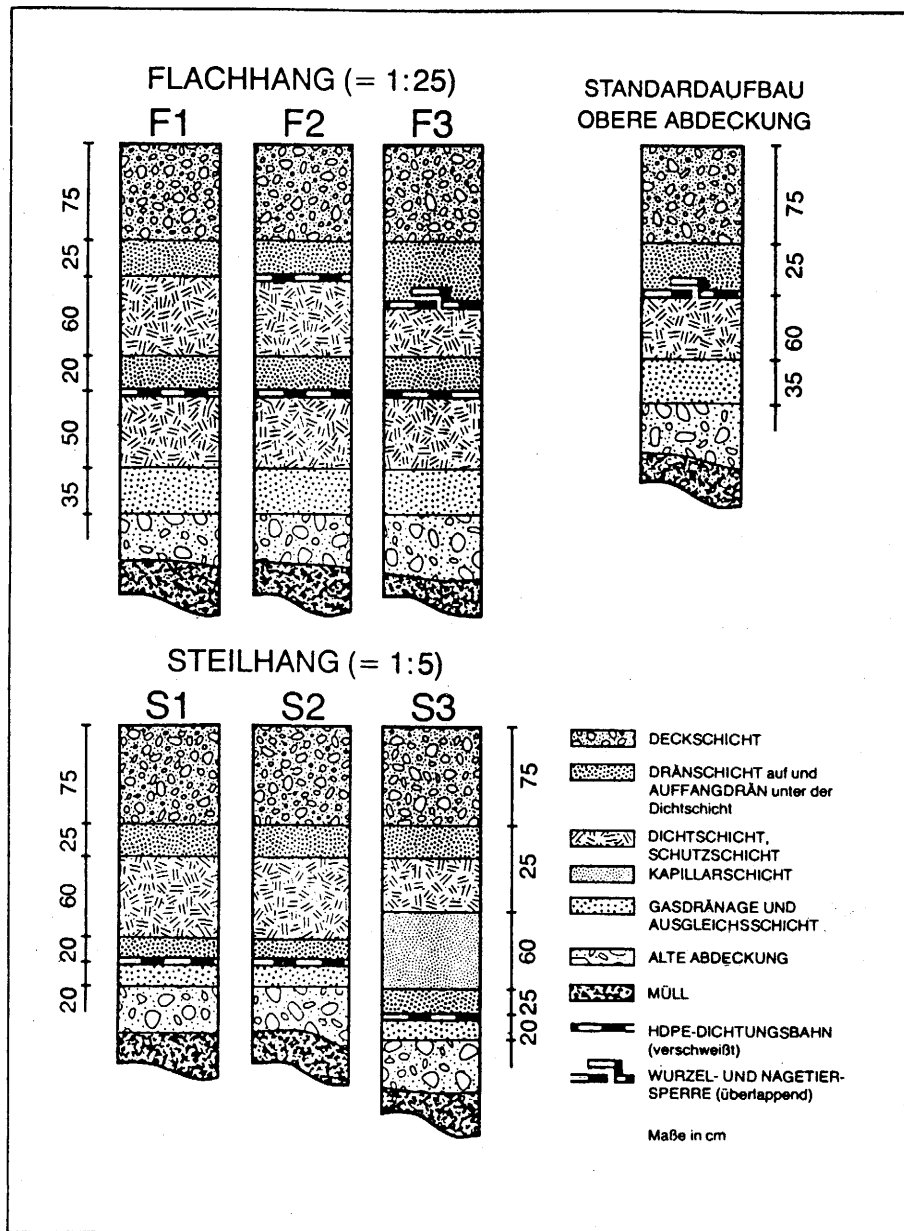
- Sickerwasser und gasförmige Schadstoffe sich lateral in den Untergrund ausbreiten (STIEF, 1988a),
- das Grundwasser den Kontaminationskörper durchströmt oder kontaminiertes Grundwasser sich ausbreitet.

Dichtwände sind im Erd- und Grundbau sowie im Tunnel-, Talsperren- und im Wasserbau Stand der Technik; jedoch sind diese Wände chemisch gering beansprucht. Noch mehr als bei den genannten Anwendungsgebieten ist daher bei den Dichtwänden zur Einkapselung von Altlasten besonders darauf zu achten, daß

- eine hohe Dichtigkeit gegenüber wäßrigen Medien mit anorganischen und organischen Bestandteilen und organischen Phasen (Öl, CKW) sowie gegenüber Gasen erreicht wird,
- die abdichtende Wirkung auf lange Zeit erhalten bleibt,
- Leckagen durch Kontrolle oder Überwachungssysteme schnell erkannt werden,

Abbildung 4.4

**Oberflächenabdichtungssysteme am Beispiel der Deponie Hamburg-Georgswerder:  
Schichtaufbau der Testfelder**



Quelle: MELCHIOR und MIEHLICH, 1988

- die bautechnisch ordnungsgemäße Ausführung sich auch bei großen Einbautiefen überprüfen läßt,
- eine Wartung und Reparatur möglich ist.

Aus diesen Gründen sind die herkömmlichen Systeme des Tiefbaus nicht oder nicht ohne weiteres auf die Einkapselung von Altlasten übertragbar.

Weitere Einzelheiten und den Stand der Technik der verschiedenen Bauarten und Dichtwandmassen beschreiben unter anderem ARZ (1988), EHRESMANN und STROH (1988), HURTIG et al. (1986), JESSBERGER und GEIL (1988), MESECK und KNÜPFER (1989), MÜLLER-KIRCHBAUER et al. (1988), NUSSBAUMER (1987), STIEF (1988a) und THOMÉ-KOZ-

MIENSKY (1988). Über den Einsatz von Schmalwänden berichtet ARZ (1987) und über den Einsatz von Stahlpundwänden ROTH (1987 und 1988).

**514.** Vorzugsweise wird bei der vertikalen Abdichtung nach dem Schlitzwandverfahren gearbeitet, das als Einmassenverfahren oder als Zweimassenverfahren ausgeführt werden kann (GÜNTHER und BÖCKMANN, 1989; MURL NW, 1987). Im Zweimassenverfahren wird mit einem Schlitzwerkzeug ein Bodenschlitz entsprechender Stärke ausgehoben. Der entstehende Graben wird durch eine Tonsuspension in Wasser gestützt. Anschließend wird die Stützsuspension von unten nach oben durch die Dichtmasse unter Aufbau der Schlitzwand verdrängt. Das Einmassenverfahren stellt eine Weiterentwicklung und Verbilli-

gung des Zweimassenverfahrens dar. Hier wird eine fertige Dichtwandmasse selbst als Stützflüssigkeit für den Schlitz verwendet. Der Bodenaushub erfolgt durch die Masse hindurch. In der Bundesrepublik wird das Einmassenverfahren aufgrund praktischer und ökonomischer Gesichtspunkte bevorzugt.

**515.** Die Weiterentwicklung der Dichtwandtechnik befaßt sich mit der Optimierung der Herstellungsverfahren und der Dichtwandmassen. MESECK und HERMANN (1988) beschreiben entsprechende Prüfverfahren und Prüfergebnisse über das Verhalten von Dichtwandmassen gegenüber chemischen Stoffen, wobei besonders der Angriff von Sickerwasser eine entscheidende Rolle spielt.

Höhere Durchlässigkeiten treten besonders dann auf, wenn Kohlenwasserstoffe oder andere organische Stoffe in flüssigen Medien, z. B. im Sickerwasser, enthalten sind, da dann die Permeation mit Diffusions- und chemischen Potentialausgleichsvorgängen zur bestimmenden physikalischen Einflußgröße wird. Eine solche Permeation kann sogar entgegengesetzt zum hydraulischen Gradienten erfolgen und findet auch statt, wenn keine Porenwasserströmung im Dichtungskörper vorhanden ist (GLÄSER und BEITINGER, 1987).

**516.** Zur Beurteilung der Abdichtung gegenüber flüssigen Schadstoffen dienen der Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  und die Permeationsrate  $q$ . Über Durchlässigkeitsbeiwerte erhärtender Dichtwandmassen

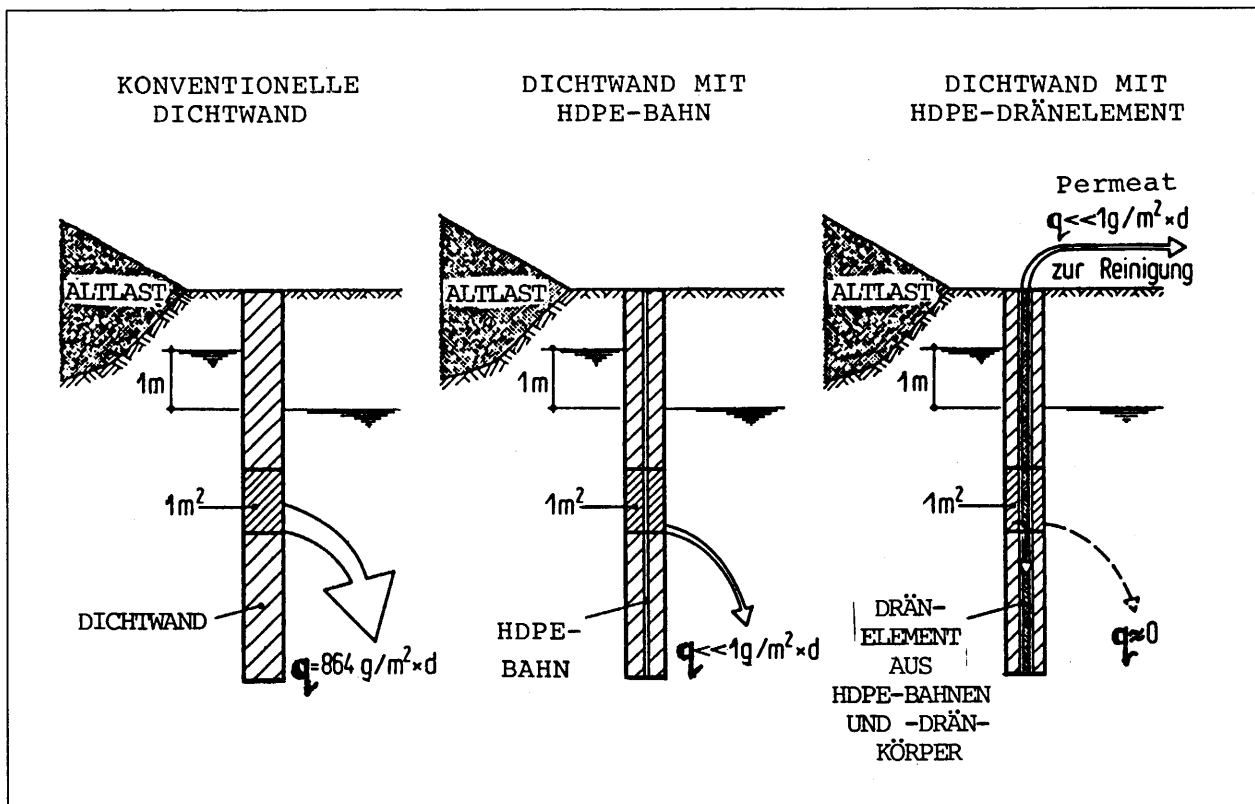
bei der Durchströmung mit verschiedenen Prüfflüssigkeiten und Sickerwässern berichten unter anderem JESSBERGER und GEIL (1988). Permeationsraten werden von AUGUST und TATZKY (1987) sowie von FINSTERWALDER (1989) mitgeteilt. Für die fertige Dichtungswand sollten nach MESECK und HERMANN (1988) Durchlässigkeitsbeiwerte  $k < 1 \cdot 10^{-9}$  m/s gefordert werden.

Zur besseren Beherrschung der Abdichtung sind spezielle chemikalienresistente Materialien für Ein- und Zweiphasenschlitzwände sowie Injektionslösungen entwickelt worden, die hinsichtlich ihrer Durchlässigkeit für organische Stoffe in Sickerwässern den oben geforderten  $k$ -Wert erreichen (HASS, 1985; HITZE, 1987; HASS und HITZE, 1987).

**517.** Darüber hinaus sind Mehrschichtdichtwände, auch Kombinationsdichtwände genannt, in der Langzeiterprobung, die durch zusätzlichen Einbau einer synthetischen Schicht, z. B. Polyethylen, wasserundurchlässig werden und für Kohlenwasserstoffe sehr geringe Permeationsraten aufweisen (GLÄSER und BEITINGER, 1987; KNIPSCHILD, 1986; NUSSBAUMER, 1985). Man verspricht sich von den Mehrfachdichtungen, wenn sie mechanisch nicht zu stark beansprucht werden, eine jahrzehntelange Dichtwirksamkeit (AUGUST und TATZKY, 1987). Die Mehrschichtdichtwände mit doppellagigen Kunststoffbahnen und Dränelement können gut kontrolliert werden. Abbildung 4.5 zeigt einen Vergleich der Permeationsraten von Dichtwänden mit und ohne Dichtungsbahnen.

Abbildung 4.5

Vergleich der Permeationsrate von Dichtwänden mit und ohne Dichtungsbahnen aus Polyethylen hoher Dichte (HDPE) (Dichtwand:  $k = 10^{-8}$  m/s; Medium: kohlenwasserstoffhaltiges Wasser)



Quelle: SRU, in Anlehnung an NUSSBAUMER, 1985

**518.** Wenn auch die Durchlässigkeit für kohlenwasserstoffhaltige Sickerwässer durch eine mehrschichtige Dichtwand extrem verringert werden kann, ist darauf hinzuweisen, daß es äußerst schwierig ist, eine totale Sperre für wasserlösliche organische Verbindungen auf Dauer zu garantieren (ALYANAK und BIHLMAIER, 1988). Es laufen deshalb weitere Entwicklungen und Langzeiterprobungen mit Dichtelementen, z. B. Kunststoffbahnen mit hochmolekularen Sperrschichten (GLÄSER und BEITINGER, 1987), mit schadstoffresistenten Stoffkombinationen als Injektionsgelen und Suspensionen (HITZE, 1987).

Eignungsprüfungen von Dichtwandmassen und die damit verbundenen Probleme beschreiben JESSBERGER (1988), MESECK und HERMANN (1988) sowie STIEF (1988 a). Eine besondere Schwierigkeit ist die Voraussage der Langzeitstabilität der Dichtmaterialien im Hinblick auf die Alterungsbeständigkeit unter Praxisbedingungen. Nach heutiger Kenntnis muß davon ausgegangen werden, daß die Alterungsbeständigkeit nur eingeschränkt im voraus ermittelt werden kann.

**519.** Neben der Eignung der Dichtwandmassen und -systeme ist ihre ordnungsgemäße Bauausführung vor Ort bzw. deren Überprüfbarkeit von besonderer Bedeutung (EHRESMANN und STROH, 1988). Über ein gut überprüfbares Kammerwandssystem berichtet WEBER (1988).

#### Untergrundabdichtungen (Basisabdichtungen)

**520.** Wenn unter der Altlast die Dichtwirksamkeit natürlich vorhandener Tonschichten nicht ausreicht oder keine natürliche Abdichtung vorhanden ist, können nachträglich eingebrachte horizontale Abdichtungssysteme notwendig werden. Zur Zeit sind verschiedene Verfahren zur nachträglichen Herstellung einer Untergrundabdichtung in der Entwicklung (MURL NW, 1987).

Zur horizontalen Abdichtung im Untergrund dienen Dichtungsmittel, die mit Hilfe der Injektionstechnik unterhalb der Altlast in den Boden gepreßt werden. ACHAKZI et al. (1988) beschreiben verschiedene Injektionsmassensysteme auf organischer, teilorganischer oder kombinierter Basis; HASS und HITZE (1987) berichten über ein organisch modifiziertes anorganisches Dichtmassensystem.

**521.** Beim Durchteufen der Altlast können die Schadstoffe mobilisiert, und durch die Injektionsmassen kann das Grundwasser kontaminiert werden. Dies bedingt die Notwendigkeit hydraulischer und eventuell weiterer Begleitmaßnahmen.

Es kann mit einer völligen Dichtheit der durch Injektionen nachträglich eingebrachten horizontalen Untergrundabdichtungen nicht ohne weiteres gerechnet werden, da nicht kontrolliert werden kann, ob durch Inhomogenitäten des Untergrundes die Kontinuität der Dichtungssohle auch wirklich erreicht worden ist.

**522.** An weiteren Verfahren zur Untergrundabdichtung wird gearbeitet, wobei bergmännische Verfahren nach der Stollenbauweise oder nach dem Schwert-

einbauverfahren sowie Robotereinsatz vorgeschlagen werden (JESSBERGER, 1985; MESECK und GLÄSER, 1987; NUSSBAUMER, 1987; RICHTER, 1988; WIEMER und WIEMER, 1987). Nachträgliche Untergrundabdichtungen sind bisher aus Kostengründen in der Praxis noch nicht ausgeführt worden.

**523.** Nach wie vor ist die Beantwortung der Frage nach der Dauer der Funktionsfähigkeit der Einkapselung, das heißt dem Langzeitverhalten, noch offen. Auch muß das Problem der Kontrolle, Leckagedetektion und Reparatur beachtet werden. Um diese Fragen besser beantworten zu können, fördert das BMFT eine Reihe von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die sich mit den Eigenschaften und dem Verhalten von Dichtwandmassen und Abdichtsystemen befassen, sowie Vorhaben zur Leckagedetektion (ACHAKZI et al., 1988; ARZ, 1988).

**524.** Der Rat unterstützt diese Forschungsförderung, da auch in Zukunft Einkapselungsmaßnahmen zu den Sicherungsmaßnahmen bei Altlasten aus Altablagerungen gehören, die im Rahmen einer schnellen Gefahrenabwehr und innerhalb von Gesamtkonzepten der Sicherung und Dekontamination notwendig sein werden. Die Forschungen sollten sich auf robuste und wenig Unterhaltungsarbeiten und Kontrollen benötigende Oberflächenabdecksysteme und Dichtwandssysteme konzentrieren (vgl. STIEF, 1988 a).

#### Qualitätssicherung

**525.** Bei allen flächigen Abdichtungen ist eine Qualitätssicherung bei der Ausführung der Arbeiten, die auf der Grundlage von Qualitätssicherungsplänen (EPA, 1986) unter anderem die Materialkontrolle, die Überwachung des Herstellungsvorgangs und die Endabnahme beinhalten sollte, eine wichtige Voraussetzung für die Güte der bautechnischen Maßnahmen. Hierbei ist die Eigen- bzw. Fremdüberwachung notwendig, die sicherstellen soll, daß die Arbeiten ohne Herstellungsmängel und unter Einhaltung aller Auflagen durchgeführt werden. Besondere Bedeutung besitzen hier die Prüfungen auf der Baustelle. Empfehlungen zur Qualitätskontrolle sind vom Arbeitskreis „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau ausgearbeitet worden (JESSBERGER, 1988).

#### 4.3.2.1.4 Verfahren zur Immobilisierung von Schadstoffen

##### Zielsetzung

**526.** Zur Sicherung dienen auch Maßnahmen, die den Kontaminationskörper derartig beeinflussen, daß die Verfügbarkeit der Schadstoffe für Emissionsvorgänge, wie Auslaugung und Gasbildung, herabgesetzt wird. Ziel dieser Maßnahmen ist somit die Verhinderung des Schadstoffaustritts durch Verringerung der Mobilität und der Mobilisierbarkeit der kontaminierten Materialien, zum Beispiel der abgelagerten Abfälle mit ihren Sickerflüssigkeiten, oder des kontaminierten Erdreiches. Hierdurch kann unter Umständen eine zumindest temporäre Verringerung der Toxizität erreicht werden (WILES et al., 1988).

Diese Maßnahmen werden oft als „Stabilisierung“ bezeichnet (THOMÉ-KOZMIENSKY, 1987 a). Der Rat wählt den Begriff „Immobilisierung“ im Zusammenhang mit Sicherungsmaßnahmen bei Altlasten als Oberbegriff für alle mobilitätshemmenden Maßnahmen, die am Kontaminationsherd ansetzen (SRU, 1987, Tz. 1008). Zur Schadstoff-Immobilisierung werden in der Regel spezielle Hilfsstoffe wie Bindemittel, Härter, Aktivatoren, Abbinderegulierungsmittel, aber bei Bedarf auch Wasser zum Abbinden von Zement, Kalk oder Gips eingesetzt.

**527.** Im neueren Schrifttum wird zunehmend die Ansicht vertreten, daß einheitliche Definitionen für die Art der Immobilisierung sowie einheitliche Standards und Prüfverfahren für deren Wirksamkeit fehlen (siehe z. B. THIES, 1986; WILES et al., 1988). Diesem Mangel steht die Vielfalt der angebotenen Verfahren gegenüber, die ursprünglich für die Verfestigung von Sonderabfällen, z. B. Schlamm, Filterstäube und dergleichen, sowie von lockerem Baugrund entwickelt wurden, viele davon in den USA. Nach WIEDEMANN (1986) handelt es sich hierbei lediglich um Konditionierungsverfahren. Die ursprünglichen Zwecke der Konditionierung – die Handhabung der Stoffe zu erleichtern, eine Ablagerungsfähigkeit („Stichfestigkeit“) zu erreichen bzw. eine Bebaubarkeit zu gewährleisten – wurden auf das Problem der Gefährdungsreduzierung übertragen.

**528.** Bei der Immobilisierung sind folgende Effekte unter Langzeitaspekten anzustreben:

- Verminderung der Eluierbarkeit bzw. Löslichkeit, z. B. durch chemische Umwandlung oder physikalische Einschließung
- Verminderung der spezifischen Oberfläche, z. B. durch Agglomeration
- Verminderung der Staubbildung, z. B. durch Pelletierung, Verfestigung, und der Erodierbarkeit, z. B. durch Verfestigung
- Reduzierung der Wasserdurchlässigkeit (Porosität), z. B. durch Injektion, Verdichtung
- Verbesserung der Druckfestigkeit und der Lager- und Tragfähigkeit, z. B. durch Verfestigung, Injektion, Verdichtung
- Überführung von fließfähigen Stoffen in den festen Aggregatzustand.

Je nach veränderter chemischer Bindungsform kann außerdem die Toxizität des Stoffgemisches beeinflusst werden. Nach der Behandlung soll das Produkt der Immobilisierung in fester Form vorliegen (JESSBERGER, 1986; THIES, 1986; WIEDEMANN, 1982).

#### Mechanismen der Schadstoff-Immobilisierung

**529.** Immobilisierungsmittel werden meist auf der Basis von entweder anorganischen oder organischen Bindern aufgebaut; es sind jedoch auch Kombinationen bekannt. Die Immobilisierung beruht darauf, daß reaktive Komponenten eingeführt werden, die unter den Bedingungen des Einsatzortes zu polymeren, vernetzten, festen Körpern erstarren und die Schadstoffe

umschließen. Andere Immobilisierungsmittel bilden durch Verfestigung und Vernetzung eine Matrix, die Schadstoffe festhält. Die Grundlagen der Schadstoffbindung bei Verfestigungsverfahren wurden von WIENBERG und CALMANO (1989) dargestellt.

In Tabelle 4.2 ist eine Auswahl der Verfahrensprinzipien mit Beispielen aufgeführt. Die Vielzahl der Verfahren und die zwangsläufig noch kurzen Erfahrungszeiträume lassen Vorsicht als geboten erscheinen.

Es ist zu unterscheiden, ob die Maßnahme an dem gesamten Kontaminationskörper, d. h. Abfall und Erdreich, oder selektiv an den Schadstoffen ansetzt. Bestimmte Verfahren sind nur für hochkonzentrierte Abfallgemische, andere nur für relativ niedrig kontaminiertes Erdreich einsetzbar.

**530.** Immobilisierungsmaßnahmen können „on site“ oder „in situ“ durchgeführt werden. Bei „in situ“-Maßnahmen können nur die erreichbaren Hohlräume mit einer sich später verfestigenden Masse verpreßt, mit Chemikalien getränkt oder auf mechanischem Wege verringert werden (s. Tab. 4.2). Für Sonderfälle ist sogar vorgeschlagen worden, einen kontaminierten Bodenkörper elektrolytisch, d. h. unter Starkstromzufuhr, zu einem Glasblock zu verschmelzen (elektrolytische „in situ“-Verglasung, HAMPEL und FITZPATRICK, 1988). Wegen der dabei auftretenden Entgasungs- und Verbrennungsprozesse ist dieses Verfahren jedoch auch als thermische Behandlung anzusehen (s. Abschn. 4.3.2.2.4). Von solchen Spezialfällen abgesehen muß der kontaminierte Bereich zur Behandlung immer ausgehoben, mit den Behandlungsmitteln intensiv vermischt und wieder eingebaut oder abgelagert werden, während die Reaktionen beginnen und ablaufen.

**531.** Die Immobilisierungsvorgänge lassen sich auf die Bildung von verschiedenen stofflichen Barrieren zurückführen:

- Barrierebildung aus den Schadstoffen durch Herabsetzung der Mobilität und oft auch der Toxizität: „chemische Immobilisierung“ der Schadstoffe selbst
- Barrierebildung aus Bindemitteln: „physikalische Immobilisierung“ durch Verringerung der Mobilität mittels Aushärtung von Bindemittelkomponenten untereinander unter physikalischer Einschließung von Kontamination und Bodenmatrix/Abfallkörper
- Barrierebildung aus Bindemitteln, Kontamination/Abfallkörper und Bodenmatrix: „chemisch-physikalische Immobilisierung“ durch Verringerung der Mobilität und der Mobilisierbarkeit mittels chemischer Reaktionen der Bindemittelkomponenten mit der Kontamination; chemische Umwandlung und physikalische Einschließung
- Barrierebildung aus dem Kontaminationskörper durch mechanische Verdichtung.

**532.** Die Reaktionen, die das Abbinden oder Festhalten der Kontamination herbeiführen, sind von der Zusammensetzung des Systems Bindemittel-Schadstoff abhängig (WIENBERG und CALMANO, 1989). Dementsprechend sind die immobilisierenden Bindungs-

Tabelle 4.2

## Verfahrensprinzipien und Beispiele zur Immobilisierung bei der Altlastensanierung

Verfahrensprinzip	durch/mittels	Maßnahme setzt an: an ...	Ziel	Ort des Eingriffs	Beispiele
Verfestigen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bindemittel- und Feststoffzugabe, Mischen</li> <li>– physikalische Einschließung in Bindemittel</li> <li>– chemische Reaktion mit Bindemitteln und physikalische Einbindung</li> </ul>	Abfallkörper (flüssige und pastöse Abfälle, lose Schüttung fester Abfälle), Erdreich (Matrix und Kontamination)	Festkörper, Verminderung der Auslaugbarkeit	„in situ“	Injektion/Verpressen erreichbarer Hohlräume mit Zement, Bentonitsuspension, Wasserglas, Polymerlösung
				„on/off site“	Verfestigung von Schlämmen und Erdreich mit hydraulischen Bindemitteln
Stabilisieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reagenzienzugabe, Mischen</li> <li>– chemische Reaktion (pH-Verschiebung, Fällung, Oxidation-Reduktion)</li> </ul>	Kontamination (Abfallkörper, Schadstoffe im Erdreich)	verminderte Löslichkeit	„in situ“	Fällung im Erdreich mittels Reagenzieninjektion
				„on/off site“	Hydroxid-, Sulfidfällung
Umschließen/ Einkapseln	<p>Durchgehende Hüllschicht um:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– grobe Körner oder Brocken (Makro-einkapselung)</li> <li>– Partikeln (Mikro-einkapselung, auch „Mikroverfestigung“)</li> </ul>	Abfällen, kontaminiertem Erdreich und Abbruchmaterial	verminderte Auslaugbarkeit	„on/off site“	Umhüllen von Mauerbrocken mit Polyethylenschmelze (Makro-einkapselung)
					Umhüllen von feindispersierten Flüssigabfällen (PCB-haltigen Ölen, Säureteer) in Kalk oder Gips (Mikro-einkapselung)
Fixieren	Verteilen in großen Massen von Zuschlagstoffen oder Adsorbentien	flüssigen und pastösen Abfällen	Festhalten	„on/off site“	Öl in Asphalt/Sägemehl/ Diatomeenerde
Verdichten	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reduzieren des Porenvolumens, der Durchlässigkeit und der spezifischen Oberfläche</li> <li>– Pressen/Gewicht, Rütteln, Agglomeration</li> </ul>	verdichtbaren Feststoffschüttungen (Erdreich, Abfälle, Stäube)	niedrige Durchlässigkeit	„in situ“ (evtl. „on site“ bei Rückbau)	Ramm-, Stampfgeräte, Flächenrüttler, Schockgeber, statisch und dynamisch wirkende Walzen, Pelletieren von Stäuben
Verglasen	Strom (Elektrolyse-, Lichtbogeneffekt, Bodenschmelze) (auch thermisches Verfahren)	Bodenmatrix, Metallen, Abfallkörper (flüchtige Stoffe werden ausgetrieben)	Festkörper, niedrige Auslaugrate f. geolog. Zeiträume	„in situ“ (mit „on site“-Abgasreinigung)	USA: radioaktiv kontamin. Gelände und Abfälle zu obsidianartigen Glaskörpern erschmolzen
Verziegeln	Kalzinieren (Einbrennen in Ton) (überwiegend thermisches Verfahren)	kontaminiertem Erdreich, Schlamm, Rauchgasreinigungsrückstand		„on/off site“	Filterstäube, Galvanikschlämme, Hafensedimente in Backstein eingebunden

Quelle: SRU



kräfte ganz unterschiedlich und sogar innerhalb eines Stoffgemisches stark schwankend. Daraus folgt, daß der Immobilisierungseffekt, zwar in unterschiedlichem Maße, prinzipiell reversibel ist. Selbst wenn eine chemische Umwandlung der Schadstoffe stattfindet, muß auf die allgemeine Reversibilität chemischer Reaktionen geachtet werden; unter veränderten Umweltbedingungen kann auch diese immobilisierende Wirkung wieder aufgehoben werden (THIES, 1986), ohne daß die verfestigte Struktur des Materials verlorengelht. Das bedeutet, daß Verfestigungsmaßnahmen die spätere Reparatur, das heißt die erneute Sanierung, verhindern oder wesentlich verteuern können.

Die Verfahrensprinzipien sowie die Beispiele der Schadstoffimmobilisierung beruhen auf den oben beschriebenen Mechanismen. Tabelle 4.2 zeigt diese Zusammenhänge im Überblick.

**533.** In der Praxis stellen die oben geschilderten Vorgänge Referenzfälle dar. Bei der Vielfalt der Abfall-, Erdreich- und Zuschlagstoff-Kombinationen, die auf den jeweiligen Einzelfall abgestimmt werden, ist oft nicht zu entscheiden, ob und in welchem Maße es sich im Einzelfall um ein bestimmtes Prinzip bzw. eine bestimmte Bindungsform handelt. Diese Vielfalt macht es sehr schwierig, das Langzeitverhalten der Immobilisierungsprodukte zu beurteilen (THIES, 1986; WIEDEMANN, 1982). Die Aussagekraft hängt davon ab, inwieweit die Prüfbedingungen praxisnahe Verhältnisse simulieren können, z. B. Belastungen in Zeitraffer. Den Prüfverfahren kommt im Rahmen der Machbarkeitsstudie (Abschn. 4.3.1.3) entscheidende Bedeutung zu. Sie müssen die Rolle evtl. notwendiger Vorbehandlungsmaßnahmen und von Zuschlagstoffen abklären. Auch die Risiken unerwarteter chemischer Reaktionen müssen angegeben sein. Bei „in situ“ durchgeführten Immobilisierungsmaßnahmen, z. B. Injizieren, müssen die standortgegebenen Bodenstrukturen oder die Deponiegutstruktur zusätzlich hinreichend bekannt sein (MURL NW, 1987).

#### Immobilisierungsverfahren

**534.** Angebotene bzw. angewandte Immobilisierungsverfahren sind in der Literatur beschrieben (BÖLSING, 1986 und 1987; ENSELING und KRINGS, 1988; FÖRSTNER, 1987; HAMPEL und FITZPATRICK, 1988; KHORASANI et al., 1988; KÜGLER, 1986; THIES, 1986; WIEDEMANN, 1982; WILES et al., 1988; s. auch Tab. 4.3). Wegen der vielen verfahrenstechnischen Einzelheiten muß hier auf eine detaillierte Erörterung verzichtet werden. Die Verfahren werden in der Regel an ausgehobenem Material angewendet. Für diese Fälle kann der Prozeßablauf vereinfacht wie folgt dargestellt werden:

1. Aushub; Befördern zur Anlage
2. Vorbehandlung des Materials (Brechen, Klassieren, evtl. Magnetscheiden)
3. Aufbereiten der Bindemittel und der Zuschlagstoffe
4. Dosieren des kontaminierten Materials und der Zuschlagstoffe

5. Mischen, Formen, evtl. Aushärtenlassen
6. Fördern/Befördern, Ablagern/Rückbau, Aushärtung.

**535.** Im Anschluß an die Immobilisierung ist unter Umständen statt des Rückbaues eine gesonderte Lagerung zweckmäßig, die geeignet ist, die reaktive Oberfläche klein zu halten (ENSELING und KRINGS, 1988). Durch eine solche Lagerung der Immobilisierungsprodukte wird jedoch die Rückholbarkeit und die Wiederverarbeitbarkeit des Materials eingeschränkt. Einmal verfestigte große Massen können in absehbarer Zeit nicht wieder aufgearbeitet werden. Es besteht die Gefahr, daß eine für begrenzte Zeit geplante Maßnahme eine notgedrungen endgültige wird, obwohl das Gefährdungspotential der Altlast langfristig erhalten bleibt und es erneute Sanierungsarbeiten erfordern kann.

**536.** In der Mehrzahl der Verfahren wird von den Anbietern eine unbedenkliche Wiederverwendbarkeit der Verfestigungsprodukte, z. B. als Straßenbaumaterial (s. BÖLSING, 1986 und 1987), zugesichert. Neben der Heterogenität der Abfälle sowie des kontaminierten Erdreiches und der Vielzahl der möglichen Reaktionen erschwert das Fehlen geeigneter Prüfverfahren die Abschätzung der Immobilisierungswirkung. Erfahrungen über das Langzeitverhalten der Produkte liegen oft nicht vor. Stellt sich bei einer Beprobung heraus, daß die immobilisierende Wirkung des Bindemittels auch bei Bewahrung der verfestigten Struktur unzureichend ist, müßten aus verfestigtem Material bestehende große Blöcke bergmännisch abgetragen oder bautechnisch zusätzlich eingekapselt werden. Bei der Mikroinkapselung muß berücksichtigt werden, daß sie die spezifische Oberfläche der Schadstoffe vergrößert; beim Wegfallen der Schutzhülle stehen die Schadstoffe mit erhöhter Reaktivität weiteren Prozessen zur Verfügung (BÖLSING, 1986; WIEDEMANN, 1982). Weiterhin kann erhöhte Temperatur als Folge chemischer Abbindereaktionen leichtflüchtige Schadstoffe in die Gasphase überführen. Eine exakte Mengenbilanzierung der Prozesse ist derzeit nicht üblich, ihre Erstellung sollte jedoch im Rahmen der Machbarkeitsstudie angestrebt werden.

**537.** Ferner ist nicht hinreichend bekannt, daß die Immobilisierung verunreinigten Erdreiches um so schwieriger ist, je mehr verschiedene Schadstoffkomponenten vorliegen, denn ein Binder kann den einen Schadstoff zwar immobilisieren, den anderen aber gleichzeitig mobilisieren (ACHAKZI et al., 1988). Leider wird diesen Fragestellungen nicht genügend Raum gewidmet. Es ist zwar üblich, vor der Immobilisierungsmaßnahme Eignungsversuche durchzuführen, nach denen die Rezepturen erarbeitet werden; es bleibt aber unbekannt, ob die gewählte Rezeptur den genannten Problemen auf lange Zeit auch gerecht wird. Bei „in situ“ durchgeführten Maßnahmen, wenn die Bindemittel in den Untergrund injiziert werden, können sekundäre Umweltkontaminationen infolge der Maßnahmen besonders leicht entstehen. Die bisherigen Prüfverfahren testen allerdings vorwiegend die mechanischen Eigenschaften der Immobilisierungsprodukte. Es besteht immer die Gefahr, das sehr komplexe Problem zu vereinfachen. Dabei ist zu be-

Tabelle 4.3

## Übersicht über einige Immobilisierungsmittel und -verfahren

Mittel	Zuschlagstoffe	Einbinde-mechanismen	Anwendungsbeispiele (Abfälle, Schadstoffe)	Literatur
<i>A. Anorganische Bindemittel</i>				
Zement (Portlandzement)	Wasser, evtl. Bentonit	Verfestigung, z. T. Fixierung Verdichtung	wäßrige Schlämme (ölige Subst. stören), Untergrundinjektion	WIEDEMANN (1982)
Wasserglas (Na-Silicat), pulverförmige Silicate	k. A.	Verdichtung	„Bodenverdichtung“ (Baugrund aus Altlast)	KÜGLER (1986)
Braunkohle-kraftwerksasche	nicht genannt; vermutlich Kalk	Verfestigung, Verdichtung in Deponie-Polder	kokereispezifische Altlasten	HÖFER (1988)
Glas (elektr. Strom)	Elektrolyt-Salz	Verglasung	„in situ“-Verglasung (ISV) von Abfällen und Böden	HAMPEL und FITZPATRICK (1988)
<i>B. Organische Bindemittel</i>				
Bitumen/ Asphalt, Paraffin	organische und anorganische (mineralische) Füllstoffe, Adsorbentien (Kohlenstaub, Kalk, Koks, Tone, Kreide usw).	Fixierung	organische Schadstoffe, z. B. Sickeröle aus Altlasten; schwermetallhaltige Schlämme	FÖRSTNER (1987), KHORASANI et al. (1988)
Polyethylen/ Polybuten-1	k. A.	Makro-einkapselung	kontaminiertes Abbruchmaterial	WIEDEMANN (1982)
Epoxyharze, ungesättigte Polyesterharze	k. A.	Verfestigung, Verpressung, Einkapselung	Abfallstoffe, kontaminierter Untergrund	WILES et al. (1988)
<i>C. Anorganisch-organische Bindemittel</i>				
Flugasche, Zement und Kunststoff-Bindemittel	Wasser, sonstige: bei Bedarf und nach Vorversuch	Verfestigung	Teerschlämme, verschiedene Abfälle in Altdeponien	ENSELING und KRINGS (1988)

Quelle: SRU, eigene Zusammenstellung

denken, daß die zufriedenstellende Lösung eines Teilproblems noch nichts über die Lösung des Gesamtproblems aussagt.

**538.** Zusammenfassend stellt der Rat fest, daß die Immobilisierungsmaßnahmen für Altlasten zu den Sicherungsmaßnahmen zählen und es in der Praxis Möglichkeiten gibt, die Mobilität und die Mobilisierbarkeit der Schadstoffe in Altlasten herabzusetzen. Die Langzeitwirksamkeit dieser Maßnahmen ist jedoch nicht hinreichend bekannt, und eine künftig unter Umständen notwendig werdende erneute Sanierung kann durch die heutige Immobilisierungspraxis erheblich erschwert werden. Nach Auffassung des Rates müssen Immobilisierungsprodukte, die im Rahmen von Sicherungsmaßnahmen an Altlasten anfallen, so verbleiben, daß sie einer späteren Dekontamination zugänglich sind. Für eine Verwendung bei Baumaßnahmen kommen sie nicht in Frage.

#### 4.3.2.2 Maßnahmen und Verfahren zur Dekontamination

##### 4.3.2.2.1 Überblick über den Charakter von Dekontaminationsmaßnahmen

**539.** Dekontaminationsmaßnahmen sollen die von der Altlast ausgehenden Gefahren an der Quelle und im kontaminierten Umfeld möglichst vollständig und endgültig beheben. Hierzu kommen sowohl Ausräumen des Kontaminationskörpers mit weiteren Behandlungsschritten als auch „in situ“-Behandlung ohne wesentliche Störung des Bodengefüges in Frage (vgl. Abb. 4.1).

Die Dekontaminationsmaßnahmen sind besonders für Altstandorte geeignet. Bei Alttablagerungen kommen sie nur in Spezialfällen, z. B. bei kleinerem Ausmaß oder bei Großdeponien als Teilmaßnahme, zum Einsatz.

**540.** Ziel der Dekontaminationsmaßnahmen ist die Reinigung der Altablagerung oder des verunreinigten Erdreiches von möglichst allen Schadstoffen. Hochkonzentrierte Schadstoffphasen, wie z. B. flüssige Sonderabfälle, können nicht dekontaminiert, sondern müssen zerstört oder anderweitig, jedenfalls umweltverträglich, umgewandelt werden. Die grundsätzlichen Überlegungen zur Ausarbeitung der alternativen Strategien zur Dekontamination sind Gegenstand der Machbarkeitsstudie (Abschn. 4.3.1.3).

**541.** Die „stofflichen“ Dekontaminationsstrategien, die an den Schadstoffen ansetzen, berücksichtigen den chemischen Charakter der Schadstoffe, ihre Bindungsformen und ihre Konzentrationen. Es sollte angestrebt werden, daß die Schadstoffe möglichst auf kurzem Wege weitgehend zerstört oder, wenn dies wie bei Schwermetallen aus naturgesetzlichen Gründen nicht möglich ist, in aufkonzentrierter Form endgelagert werden. Es ist verfahrenstechnisch meist unvermeidbar, daß Schadstoffe, ihre Reste bzw. Umwandlungsprodukte als Sekundärschadstoffe in andere Phasen übergehen (sog. Medienwechsel) und dort verdünnt werden. Diesem Phänomen kann – wenn notwendig – durch weitere Separations- oder Zerstörungsprozesse begegnet werden. Wirkungsgradbedingt müssen jedoch nicht konvertierte bzw. nicht abgeschiedene Schadstoffrestmengen mit dem Abwasser oder mit der Abluft aus dem System „Altlast“ ausgetragen, das heißt verdünnt und verteilt werden. Hierbei müssen grundsätzlich die Vorsorgewerte des Rechts der Wasser- und Luftreinhaltung eingehalten werden. Letzten Endes sollte die Dekontaminationsstrategie dazu führen, daß nur zwei Produkte, nämlich gereinigte Kontaminationskörper einerseits sowie verwertbare oder deponiefähige Rückstände andererseits entstehen.

**542.** Für die Dekontamination stehen aktive hydraulische und pneumatische Maßnahmen, thermische sowie chemisch-physikalische Behandlung und biologische Verfahren zur Verfügung (s. Abb. 4.1). Diese lassen sich vier Strategien zuordnen:

- Verfahren nach der Zerstörungsstrategie: thermische, einige chemische sowie biologische Verfahren
- Verfahren nach der Separationsstrategie: Extraktion, Adsorption, Fällung, Ionenaustausch- und Redoxreaktionen; Sicker-, Abwasser-, Abgas- und Abluftbehandlung zur Schadstoffabscheidung aus sekundär erzeugten Stoffströmen (Sekundärkontamination)
- Verfahren nach der Verteilungsstrategie: Bodenspülung mit Spülkreisläufen, Bodenluftabsaugung, Entgasung, Stripping, Ein-/Ableitung von Restkontaminationen mit Abwasser- und Abluft-/Abgasströmen
- Verfahren mit Verlagerungsstrategie: Umlagerung auf Deponien.

**543.** Die auf den Einzelfall abgestimmten Sanierungskonzepte bestehen in der Regel aus Verfahrenskombinationen, die die Schadstoffe nach den drei erstgenannten Prinzipien wechselweise bearbeiten

und zwischen den drei Aggregatzuständen verschieben (Abb. 4.6). Dadurch entstehen sekundär kontaminierte Stoffströme. So erzeugen beispielsweise Bodenwaschverfahren Abwässer bzw. Schlämme, die Bodenluftreinigungsverfahren beladene Aktivkohle, die Verbrennung Rauchgase sowie Gasreinigungsrückstände. Bei Verfahren mit Separationscharakter sowie bei der Rauchgasreinigung entstehen allerdings Rückstände, die als Sonderabfälle behandelt werden müssen. In diesen Fällen ist von einem potentiellen Verteilungscharakter durch ihre möglichen Emissionen auszugehen, die es mittels einer geeigneten Behandlungs- und Deponietechnik zu minimieren gilt.

Hinsichtlich der Verwendung des gereinigten Kontaminationskörpers gelten die jeweiligen behördlichen Bescheide, die entweder auf die künftige Nutzung oder auf die weiteren Entsorgungswege abgestellt sind. Gereinigtes Erdreich wird – je nach Restkontamination, Beleb- und Bebaubarkeit bzw. Nutzungsziel – als Rückfüllgut, Baugrund, Lärmschutzwall-Baumaterial oder sogar als Park-, Acker-, Gartenboden eingesetzt. Gereinigter Bauschutt kann verwertet oder, wenn kein Bedarf besteht, auf Bauschuttdeponien verbracht werden. Gereinigtes Grund- bzw. Einstauwasser wird unter Beachtung geltender Vorschriften entweder in den Untergrund infiltriert, in einen Vorfluter direkt eingeleitet oder einer Kläranlage zugeleitet.

#### 4.3.2.2.2 Aushub, Transport und Aufbereitung

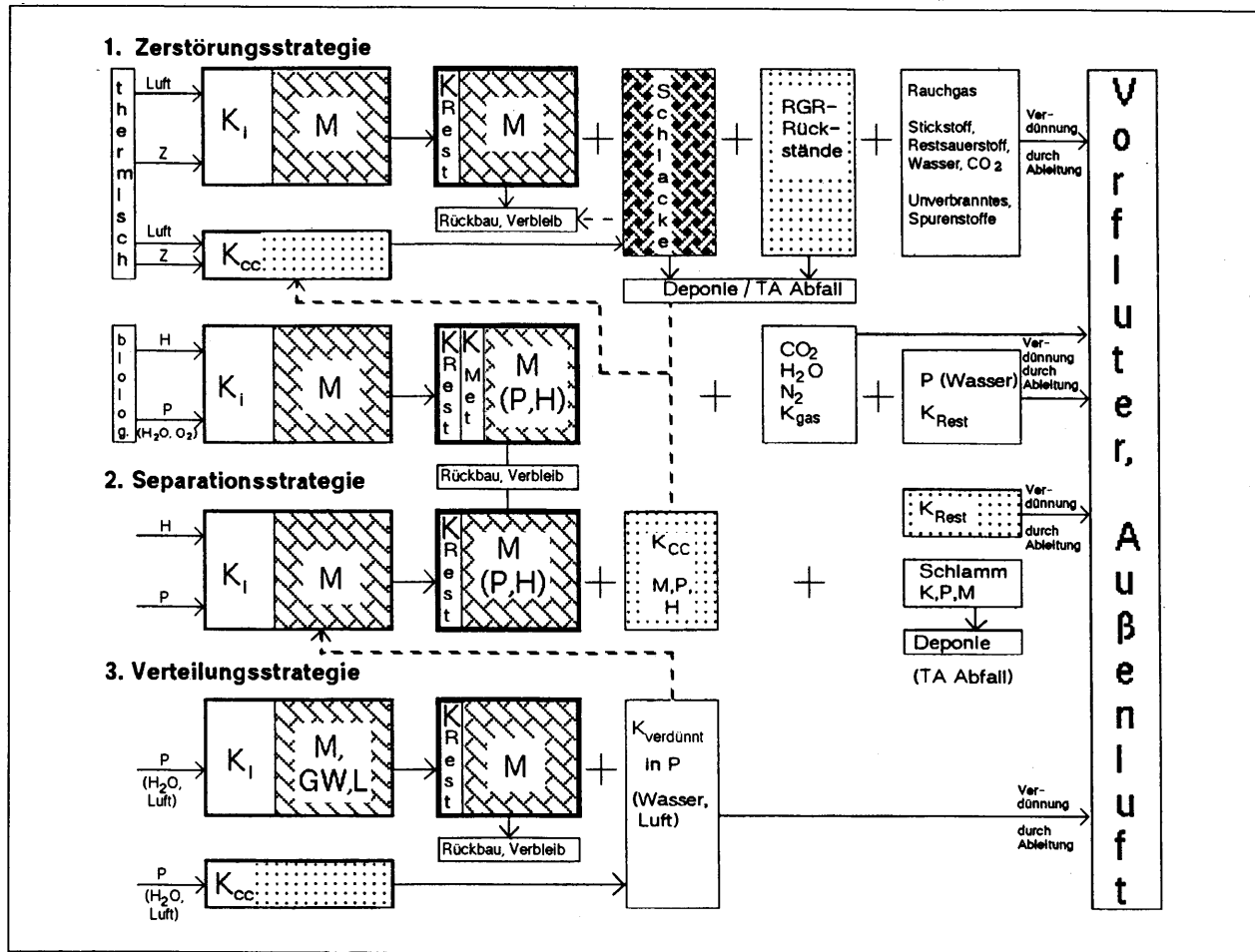
**544.** Wenn Sanierungsmaßnahmen nicht als „in situ“-Maßnahmen vorgesehen sind, muß der kontaminierte Untergrund für die Dekontaminationsmaßnahmen ausgehoben („ausgekoft“) und gegebenenfalls transportiert werden. Die benötigten erdbautechnischen Verfahrensschritte sind Entnahme, das heißt Lösen, Fördern und Laden an der kontaminierten Fläche, Transport, eventuell Umladen mit Weitertransport sowie Abladen an der Behandlungsanlage bzw. am Zwischen- oder Endlager (SIMONS, 1986; SIMONS et al., 1988). Sie müssen auf die stofflichen und toxikologischen Eigenschaften, insbesondere auf die akuten Gefahren durch die Freilegung, sowie die bodenphysikalischen Eigenschaften des Untergrundes Rücksicht nehmen. Diese Parameter werden das bautechnische Abbauverfahren sowie die Schutzmaßnahmen entscheidend beeinflussen; sie können sich, wenn sie nicht in der Machbarkeitsstudie geprüft worden sind, hinsichtlich der Freilegungsentscheidung auch prohibitiv auswirken.

#### Aushub

**545.** Es müssen sehr unterschiedliche Materialien ausgehoben werden. Neben dem ganzen Spektrum von gewachsenen Böden unterschiedlichster Beschaffenheit und Korngrößenzusammensetzung kommen gemischte Aufschüttungen natürlicher Böden, verschiedenartige Abfälle sowie Auffüllmaterialien aller Art vor. Behältnisse wie Fässer und Tanks sind zusätz-

Abbildung 4.6

## Dekontaminationsstrategien für Schadstoffe in Altlasten



zu Abbildung 4.6: Legende

- K : Kontamination  
 $K_i$  : i-ter Schadstoffe in K (Primärschadstoff)  
 $K_{cc}$  : Schadstoffkonzentrat oder mit Schadstoffen hochgradig belastete Abfälle  
 $K_{Rest}$  : restliche Kontamination nach erfolgter Dekontamination (Einleitewert/Bodenwert nach Auflage)  
 $K_{gas}$  : gas-, dampfförmige ausgetretene Schadstoffe  
 $K_{verdünt}$  : verdünnte Kontamination  
M : Matrix (Erdreich, Inertmaterial)  
Z : Zusatzbrennstoff  
P : Prozeßstoff, z. B. Prozeßwasser  
H : Hilfsstoffe  
Met : Metaboliten  
 $K_{Met}$  : Kontamination durch Metaboliten  
RGR : Rauchgasreinigung  
GW : Grundwasser  
L : Luft (z. B. Bodenluft)

Quelle: SRU

liche, latente Gefahrenquellen, ebenso mit schadstoffhaltigen Flüssigkeiten und Schlämmen gefüllte Polder und Blasen innerhalb einer Altablagerung. Solche Bereiche sind vorsichtshalber in Handarbeit freizulegen (HURTIG et al., 1986).

Das Ab- und Ausgraben kontaminierten Erdreichs sowie das Abtragen kontaminierter Bauwerksteile (Fundamente, Mauerwerk) führt zu gas- und staubförmigen sowie gegebenenfalls Geruchsemissionen in die Luft. In kritischeren Fällen werden diese Bereiche überdacht. In einem Verbund-Forschungsvorhaben der Stadt Dortmund (FKZ 145 05 89, Beginn: 1989) soll die „emissionsfreie Auskofferung“ in unter leichtem Unterdruck stehenden Hallen entwickelt werden (Umweltmagazin, Heft 3/1989, S. 53). Flüssige Emissionen entstehen oft durch Hantieren mit flüssigkeitsgetränkten Materialien oder befüllten Behältnissen. Toxizität und Entzündbarkeit der Stoffe stellen für die Sanierungsmannschaft und für die Umgebung ein ernstes Risiko dar. Unerwartete chemische Reaktionen können weitere Gefahren, z. B. heftige Reaktionen, Hitzeentwicklung, Explosion, Brand, Intoxikation, hervorrufen; sie können auch während des Transportes auftreten (SIMONS, 1986).

**546.** Zum Schutz der an der Baustelle Beschäftigten sind neben allgemeinen Arbeitsschutzvorschriften besondere Anforderungen der Berufsgenossenschaften zu erfüllen, die einen entsprechenden Aufwand bewirken (BURMEIER, 1987; ZARTH, 1988). Ohne diesen Auflagen entsprechende Schutzeinrichtungen darf mit dem Aushub nicht begonnen werden; dies gilt auch für Bohrungen und Schürfen (BURMEIER, 1988). Es sind spezielle Geräte bzw. Vorschriften entwickelt worden (Baubehörde Hamburg, 1986; GANSE, 1988; SIMONS et al., 1988; s. Tab. 4.4). Die Berufsgenossenschaften erarbeiten derzeit Sicherheitsregeln für Bauarbeiten in kontaminierten Bereichen (BG, 1989).

**547.** Beim Ausheben mit den Verfahrensschritten Lösen, Fördern und Laden ist darauf zu achten, daß keine neuen Kontaminationswege ermöglicht werden sowie unterschiedlich kontaminierte Materialien nicht vermischt werden sollten (s. Forschungsprojekt Nordhorn-Povel, ARSU/NWP-Bericht, 1989). Diese Forderung macht Begleitmaßnahmen oder besondere Ausführungen der Arbeiten erforderlich. Beim Freilegen versiegelter Flächen wird zur Vermeidung von Sickerwasserneubildung das Gelände überdacht; in Erwartung oder beim Vorhandensein von Fässern im Untergrund wird das Erdreich schichtweise abgetragen. Wegen starker Schadstoff-Kontaminationen von Gebäudeteilen wird z. B. der Mauerputz vor dem Abbruch des Gebäudes entfernt und entsorgt (PETER, 1988).

**548.** Altlasten besonderer Art und ganz besonderen Gefährdungspotentials sind die mit chemischen Kampfstoffen möglicherweise kontaminierten Standorte. Das Vorgehen in solchen Fällen wird von SPYRA (1989) und STOCKMANN (1989) beschrieben. Diese Probleme beziehen sich auch auf Altstandorte mit Spreng-, Kampf- und Nebelstoffproduktion sowie Munitionsanstalten und -ablagerungen.

## Transport und Aufbereitung

**549.** Nach dem Ab- bzw. Aufbruch sowie Ausheben erfolgen die Teilprozesse Fördern, mechanische Aufbereitung, Laden und Transport zur Behandlungsanlage, Zwischen- oder Endlagerung. Bei hoher Kontamination sind Aufwendungen notwendig, wie sie in Produktionsstätten von hochtoxischen Stoffen in der chemischen Industrie üblich und erforderlich sind. Die Getrennthaltung unterschiedlich kontaminierter Ausbaumassen erfordert ein sorgfältig geplantes und funktionierendes Meß-, Transport- und Lagerwesen; auch die entsprechenden Geräte müssen nach Art und Grad der Verunreinigung getrennt vorgehalten, betrieben und gereinigt werden. Dieses System soll für jede Altlast individuell geplant werden (s. Abschn. 4.3.1.3; BURMEIER, 1988). Um die Transportkosten zu minimieren, sollten die Menge des zu dekontaminierenden Materials sowie die Transportentfernungen möglichst gering gehalten werden. Gering bzw. nicht kontaminierte Grobstoffe werden deshalb schon vor Ort entfernt. Bei größeren zu reinigenden Stoffmengen kommt deren Transport zur zentralen Reinigungsanlage nicht mehr in Frage. In solchen Fällen müssen mobile oder umsetzbare Anlagen zum Sanierungsgelände transportiert werden.

**550.** Als besonders schwieriges Fallbeispiel kann hier die Sanierung der Deponie Hamburg-Georgswerder angeführt werden. Angesichts der Größe der Altlast ist nur eine Teildekontamination möglich. Dabei fallen flüssige und feste bis pastöse, stark kontaminierte und toxische Deponieinhaltsstoffe an, über deren Weiterbehandlung noch nicht endgültig entschieden worden ist. Daher müssen Zwischenlager für 20 000 m<sup>3</sup> feste und 2 000 m<sup>3</sup> flüssige Stoffe errichtet werden. Es ist vorgesehen, die Stoffe in bis zu 1 m<sup>3</sup> großen, extrem sicheren Lagerbehältern zwischenzulagern, wobei die festen Stoffe einer Entwässerung, Siebung und ggf. Zerkleinerung unterzogen werden. Für die Weiterbehandlung war zunächst eine Hochtemperaturverbrennungsanlage (Investition: 200 Mio. DM, s. AHRENS, 1989) bestimmt, inzwischen wird jedoch die Dehalogenierung erwogen (Chem. Rundschau Nr. 50/1988, S. 10).

**551.** Für die Errichtung von Bauwerken wie Zwischenlagern auf dem Sanierungsgelände, für den Transport von ausgebauten Materialien zu zentralen Zwischenlagern oder zu Behandlungsanlagen, z. B. in „Sanierungszentren“, und für weitere Transportvorgänge, z. B. Antransport von Abdeckmaterial, müssen leistungsfähige Transportwege für den Schwerlastverkehr vorhanden sein oder gebaut werden. Übergabestationen, die für die Trennung von kontaminierten und nicht kontaminierten Bereichen sorgen, müssen in das Transportsystem eingebunden werden.

### 4.3.2.2.3 Aktive hydraulische und pneumatische Maßnahmen

**552.** Die Grundlagen dieser Sanierungsverfahren wurden in Abschnitt 4.3.2.1.2 schon geschildert. Zu den Dekontaminationsverfahren werden danach die aktiven hydraulischen und pneumatischen Sanierungsverfahren (JESSBERGER, 1987; MURL NW,

Tabelle 4.4

**Baubetriebliche Gefährdungsabstufung und beispielhafte Zuordnung  
von Sicherheits- und Verfahrensanforderungen**

Gefährdungsstufe	Kontaminationsbeispiel	Sicherheitsanforderungen		Verfahrensanforderungen		
		Mensch	Maschine	Lösen und Laden	Transportieren	Abladen und Einbauen
I. Geringe Gefährdung	z. B. Reizstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Atemschutz</li> <li>– Gesichtsschutz</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>– offener Baustellentransport</li> <li>– Abdeckung für den Straßentransport</li> <li>– flüssigkeitsdichte Lade- fläche</li> <li>– Reinigung durch Abspritzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Grundwasserschutz</li> <li>– Entwässerung von wasserhaltigen bindig-plastischen Böden</li> </ul>
II. Leichte Gefährdung	z. B. ätzende Stoffe, leicht giftige Substanzen	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Handschuhe</li> <li>– Stiefel</li> <li>– ständige Messungen</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– luftdichte Kabinen mit Aktivkohlefilter</li> <li>– Korrosionsschutz</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kleinflächiges Aufnehmen</li> <li>– Abdecken des Aushub- oder Aufbruchbereichs</li> <li>– Beladen nicht direkt an der Entnahmestelle</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– allseitig abdichtbare Laderäume</li> <li>– Trennen der Baustr. vom kontaminierten Bereich</li> <li>– Fahrzeugreinigungsanlage</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– kleinflächiges Einlagern in Mietern oder Kassetten</li> <li>– sofortiges Abdecken zur Vermeidung gas- oder staubförmiger Emissionen</li> </ul>
III. Mittlere Gefährdung	z. B. brennbare und explosive Stoffe	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Feuerverbot</li> <li>– Löscheinrichtungen</li> <li>– Schutzzäune</li> <li>– Warntafeln</li> <li>– Unterteilung in Sicherheitszonen</li> <li>– Sanitätseinrichtungen</li> <li>– Bergegeräte</li> <li>– feuerfeste Schutzanzüge</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– drucksichere Fahrerinnen</li> <li>– Sicherheitsglas</li> <li>– Abgasabzugsvorrichtung</li> <li>– Vermeidung von elektrostatischen Aufladungen</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– geringe mechanische Beanspruchung des Untergrundes</li> <li>– schonendes Aufnehmen (Kunststoffschutzeinrichtungen für Greifwerkzeuge)</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Baustellentransport mittels abgedeckter Förderbänder</li> <li>– Siloanlage/Umfüllstation</li> <li>– hochdruckfeste Containers für den Straßentransport</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Aufbringen geringer Verdichtungsenergien</li> </ul>
IV. Schwere Gefährdung	z. B. giftige Feststoffe und Flüssigkeiten und schwer flüchtige toxische Substanzen	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Vollbekleidung</li> <li>– Arbeiten in Kleingruppen</li> <li>– kurze Arbeitszeiten</li> <li>– Schnellanalyse-Meßgeräte</li> <li>– Rettungsfahrzeuge</li> <li>– Fremdbeatmung</li> <li>– Dekontaminations-schleusen</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– luftdicht ab-geschlossene Kabinen mit Fremdbeatmung</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– schichtweises Abtragen</li> <li>– Einrichtung geschützter Ladestationen bzw. Verfestigungsanlagen</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verfestigung des Materials</li> <li>– Umladestation an der Baustellenausfahrt</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Abladen und Einbauen an der Lagerstätte, abhängig von der Betriebsart der Deponie oder von den Reinigungstechnologien</li> </ul>
V. Sehr schwere Gefährdung	z. B. hochgiftige und explosive, flüchtige Substanzen		<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– fernbediente Geräte</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– sofortiges Einfüllen in geschlossene Transportbehälter</li> </ul>	<p>zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Transport in geschloss. Behältnissen auf der Baustelle</li> </ul>	<p>– Einlagerung in stapelbaren Behältnissen in Sondermüll- oder Untertagedeponien</p>

Quelle: SIMONS et al., 1988

1987) gerechnet, die dazu dienen, den Standort durch Entnahme von schadstoffbelasteten flüssigen oder gasförmigen Phasen zu reinigen (Stufe 1). In weiteren Prozeßschritten (Stufe 2) müssen die entnommenen Phasen gereinigt werden. Die eingehende Erörterung der Verfahren findet sich bei BUSS (1986), MELUF BW (1985) sowie VREEKEN und SMAN (1988); die Arbeiten beziehen sich teilweise auf Schadensfälle mit leichtflüchtigen CKW. Die Verfahren bestehen aus folgenden Schritten:

- Mobilisierung und Transport der Schadstoffe im Untergrund durch Erzeugung eines Konvektionsflusses
- Fassung der zu entnehmenden Stoffe („in situ“)
- Ableitung der entnommenen Stoffe zur Dekontaminationsanlage („on site“, „off site“)
- Schadstoffabscheidung in der Dekontaminationsanlage
- Ableitung der dekontaminierten Phasen, z. B. in die Luft, in einen Vorfluter, ggf. in den Untergrund als Infiltration.

Die Schadstoffabscheidung aus dem Förderstrom selbst wird als Stufe 2 betrachtet und unter den Behandlungsverfahren (Abschn. 4.3.2.2.4 bis 4.3.2.2.6) beschrieben, weil sie nicht nur im Zusammenhang mit hydraulischen und pneumatischen Maßnahmen erfolgen muß, sondern auch bei anderen Verfahren, bei denen sekundär kontaminierte Prozeßstoffe Wasser und Luft anfallen.

Bei „in situ“-Maßnahmen können die aufgezählten Schritte in ein Kreislaufsystem zusammengefaßt werden. Das anfallende gereinigte Grundwasser kann dem Untergrund zugeleitet werden, wenn die Restkontamination dies erlaubt. Eine Hilfsstoffzugabe zum Infiltrationswasser erfolgt in der Regel dann, wenn biologische Prozesse im Untergrund beschleunigt werden sollen (s. Abschn. 4.3.2.2.6).

**553.** Hinsichtlich ihrer Zielsetzung sind die aktiven hydraulischen und pneumatischen Sanierungsverfahren als Elemente komplexer Grundwassersanierungsmaßnahmen einzuordnen. Die häufigsten Ausführungsformen der Maßnahmen sind:

- Fördern kontaminierten Grundwassers zur Reinigung („on site“) und zur Stimulierung des biologischen Abbaus („in situ“)
- Abpumpen kontaminierten Einstauwassers aus Altablagerungen
- Bodenbe- bzw. -entlüftung durch Stripping oder Bodenluftabsaugung
- Deponieentgasung unter Unterdruck.

Die Förderung kontaminierten Grundwassers erfolgt im wassergesättigten Untergrund. Die pneumatischen Verfahren sind zum Teil im ungesättigten Bereich (Absaugung), zum Teil im gesättigten Bereich (Stripping) anwendbar.

Aktive hydraulische Maßnahmen

**554.** Die Erfordernisse einer gezielten Schadstoffentnahme aus dem Kontaminationskörper sind schon in der Planungsphase (s. Abschn. 4.3.1.3) zu beachten.

Die in der Machbarkeitsstudie festgelegten Parameter,

- Ort und Anzahl der Entnahme- bzw. Infiltrationsbrunnen,
- Pumpraten und Fördertiefe,
- Ausbau der Brunnen (z. B. Verfilterung),

die die Grundlage des Sanierungskonzeptes bilden, müssen konsequent eingehalten werden (HURTIG et al., 1986).

**555.** Die Planung der Ausführung und der Betrieb von Einrichtungen zur Fassung und Entnahme kontaminierter Flüssigkeiten setzen Kenntnisse über den geologischen Aufbau, die Durchlässigkeit des Untergrundes, die Grundwasserfließrichtung und -geschwindigkeit sowie über Art, Mobilität und Verteilung der Schadstoffe voraus. Diese sind im Rahmen der Sanierungsuntersuchung zu ermitteln und gegebenenfalls mathematisch zu modellieren. Darüber hinaus ist zu klären, ob und inwieweit mit dem Vorhandensein mehrphasiger Stoffgemische, z. B. wäßrige/organische Phasen mit suspendierten Feststoffen und freiem oder gelöstem Deponiegas, zu rechnen ist. Die Auslegung der Einrichtungen muß diese Gegebenheiten bzw. die Gesetze mehrphasiger Strömungen (RÜDDIGER, 1987a) berücksichtigen, um beispielsweise zu verhindern, daß stark kontaminierte organische Phasen im Untergrund zurückbleiben (GÜNTHER und MESCHÉDE, 1988).

**556.** Das Ergebnis dieser Untersuchungen entscheidet über die Komponenten der hydraulischen Sanierungsanlage. Es kann sich um folgende Einrichtungen handeln:

- Entnahmebrunnen (Sanierungs-, Abzugs-, Extraktionsbrunnen) für
  - Wasser mit gelösten Stoffen (s. Abb. 4.7 Beispiel a und b)
  - leichte organische Stoffe, d. h. leichter als Wasser, z. B. Öl (s. Abb. 4.8a)
  - schwere organische Stoffe, d. h. schwerer als Wasser, z. B. CKW (s. Abb. 4.8b)
- Drainagegräben, sog. Rigolen, offene Sickergräben (s. Abb. 4.7, Beispiel c und d)
- Entnahmeschächte (s. Abb. 4.7, Beispiel c)
- Sicker-, Injektionsbrunnen
- Kontrollpegel

(HURTIG et al., 1986; MURL NW, 1987).

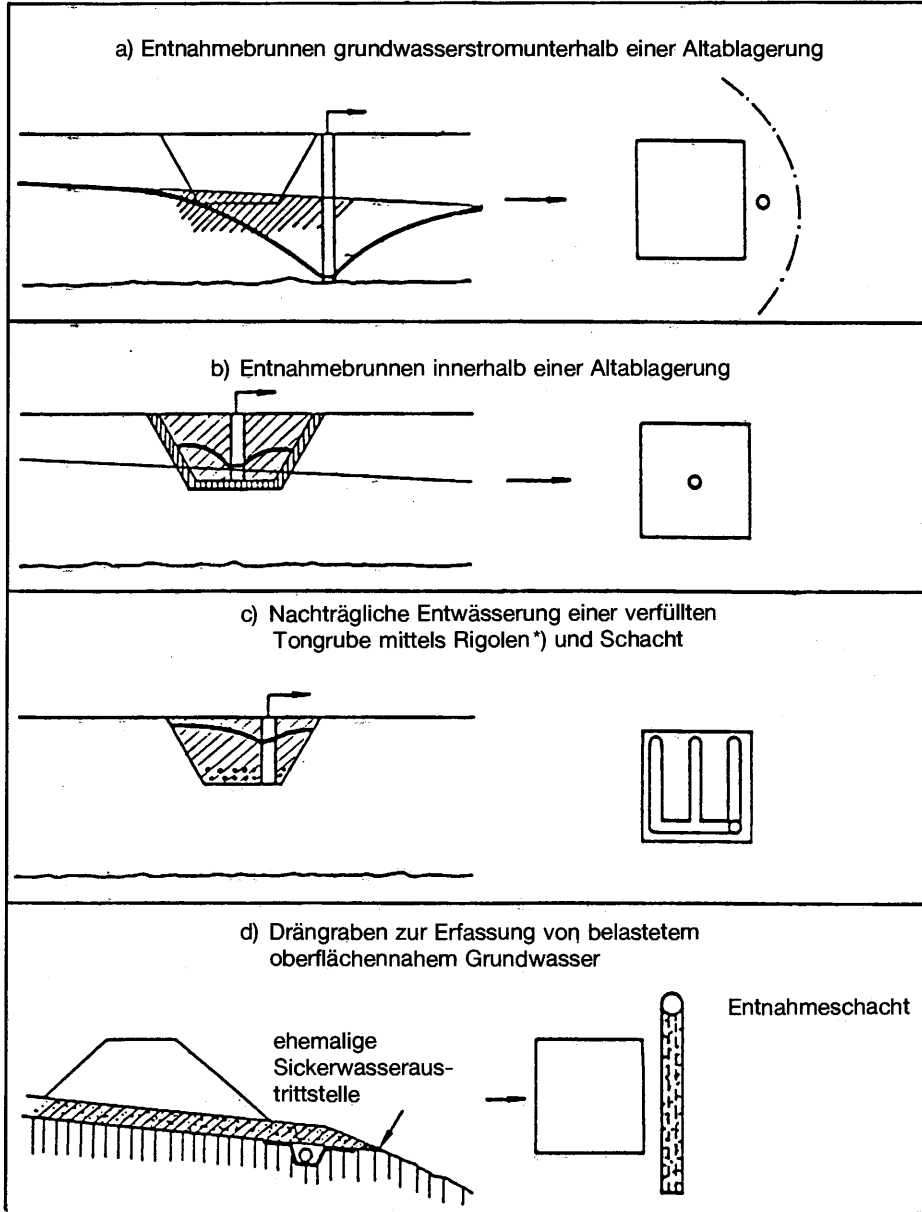
**557.** Abbildung 4.7 skizziert einige Beispiele für die Fassung und Ableitung kontaminierter Flüssigkeiten (MURL NW, 1987). Abbildung 4.8 zeigt, wie organische Flüssigkeitsphasen entsprechend ihrer Dichte getrennt von kontaminiertem Grundwasser gefördert

Abbildung 4.7

**Aktive hydraulische Maßnahmen (Prinzipskizze)**

Schnitt

Draufsicht



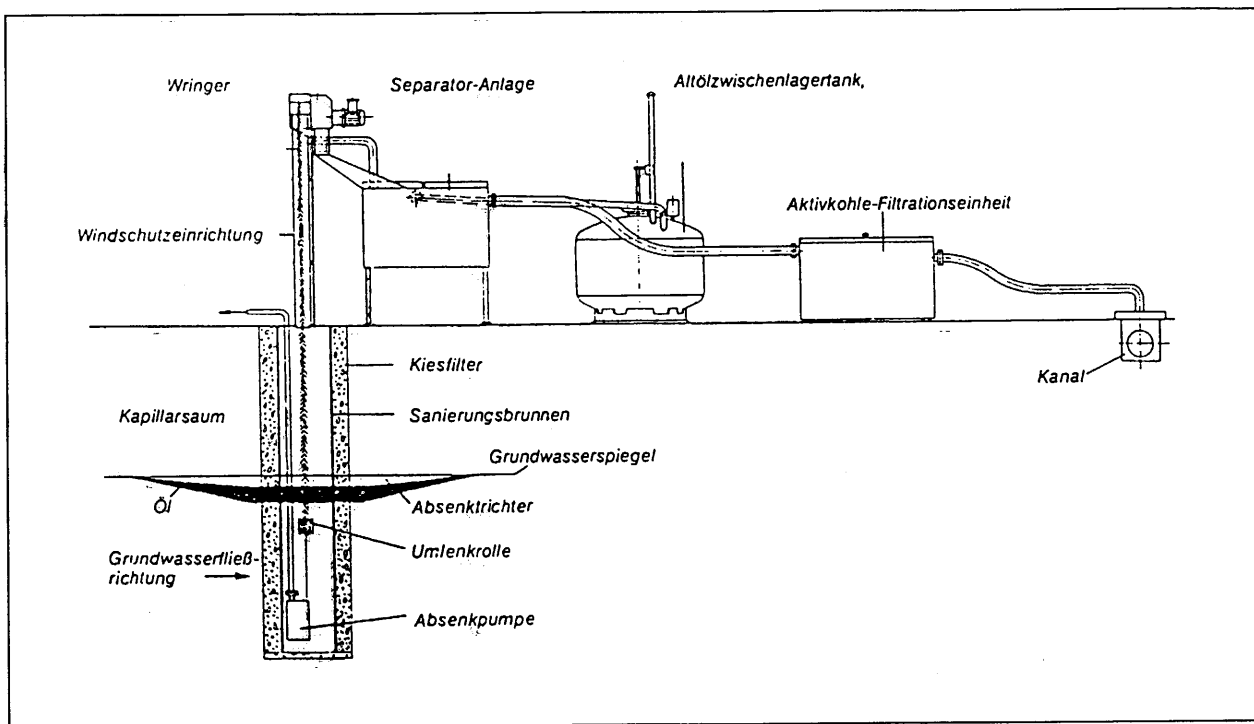
- künstliche Wasserscheide
- Grundwasserfließrichtung
- /// Kontaminationsbereich
- \*) Rigolen = tiefe Entwässerungsgräben
- ||| Barriere
- Entnahmeschacht

Quelle: MURL NW, 1987, verändert

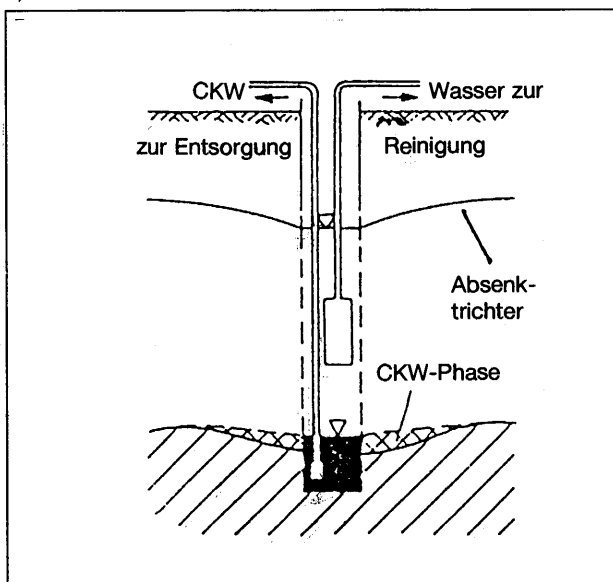


Beispiele getrennter Förderung

a) Grundwasser und Öl



b) Grundwasser und Chlorkohlenwasserstoff (CKW)



Quelle: THOMÉ-KOZMIENSKY, 1987 b, verändert

werden können. Für die Entfernung besonders schwierig zu fassender Schadstoffe, z. B. Öllachen, wurde eine besondere Fördereinrichtung entwickelt (s. Abb. 4.8a). In dem Maße, wie die Durchlässigkeit des Untergrundes und die Viskosität der Förderflüssigkeiten bei den gewöhnlich niedrigen Temperaturen im Grundwasserleiter ein Nachfließen erlauben, kann die Dekontamination fortgeführt werden. Mit

fortschreitender Erschöpfung des Schadstoffgehalts der Altlast sinkt normalerweise die Schadstoffkonzentration im gefördertem Wasser ab. Reißt der Förderstrom der organischen Phase ganz ab, so muß deshalb unter Umständen mittels Kontrollpegel genau überprüft werden, ob der Schadstoffgehalt wirklich erschöpft ist (GÜNTHER und MESCHÉDE, 1988).

**558.** Die Grenzen der dargestellten Verfahren liegen naturgemäß in Standortfaktoren, nämlich dem untere oberirdischen Wasserdargebot, in der Durchlässigkeit und Rückhaltefähigkeit des Untergrundes sowie in der Mobilität der Schadstoffe. Bei zu geringer Grundwasserzuströmung und Niederschlagsinfiltrationsrate sowie stärkerer Schadstofffixierung an Bodenpartikeln werden nur niedrige Schadstoffentnahmeraten erreicht. Auch in Klüfte eingesickerte oder anderweitig eingeschlossene Schadstoffphasen (CKW, Öle) sind mit Hilfe geänderter Strömungsverhältnisse durch Grundwasserabsenkung unterschiedlich faßbar. Für solche Fälle sind Verfahren zur Intensivierung des Stoffüberganges und des -austrages entwickelt worden.

**559.** Bei dem Verfahren „Auswaschen“ des kontaminierten Untergrundes mit infiltriertem Wasser zur Erhöhung der Sickerrate und der Schadstofförderrate (COLLINS, 1986) wird der Schadstoff aus der ungesättigten Zone mit dem Infiltrationswasser ins Grundwasser transportiert und mit diesem aus dem Untergrund gefördert.

Diese Methode stellt einen Grenzfall zwischen „Grundwasser“- und „Boden“-Sanierung dar. Auch kann sie zu den chemisch-physikalischen „in situ“-

Extraktionsmethoden gezählt werden (s. Abschn. 4.3.2.2.5). Es ist sicherzustellen, daß das kontaminierte Infiltrationswasser vollständig vom Entnahmebrunnen erfaßt wird. Eine erzwungene Fließrichtung zum Förderbrunnen wird erreicht, wenn die Förderrate größer ist als die Einsickerungsrate (ACHAKZI et al., 1988, nach MELUF BW, 1985). Darüber hinaus muß der Absenk-(Entnahme-)trichter größere Ausmaße haben als die Sickergalerie. Aus Gründen der Bauwerksstandsicherheit auf Nebengrundstücken wird diese Forderung nicht immer eingehalten werden können (s. Umweltmagazin Heft 9/1988, S. 126). Die Methode kann mit hohen Umweltrisiken verbunden sein.

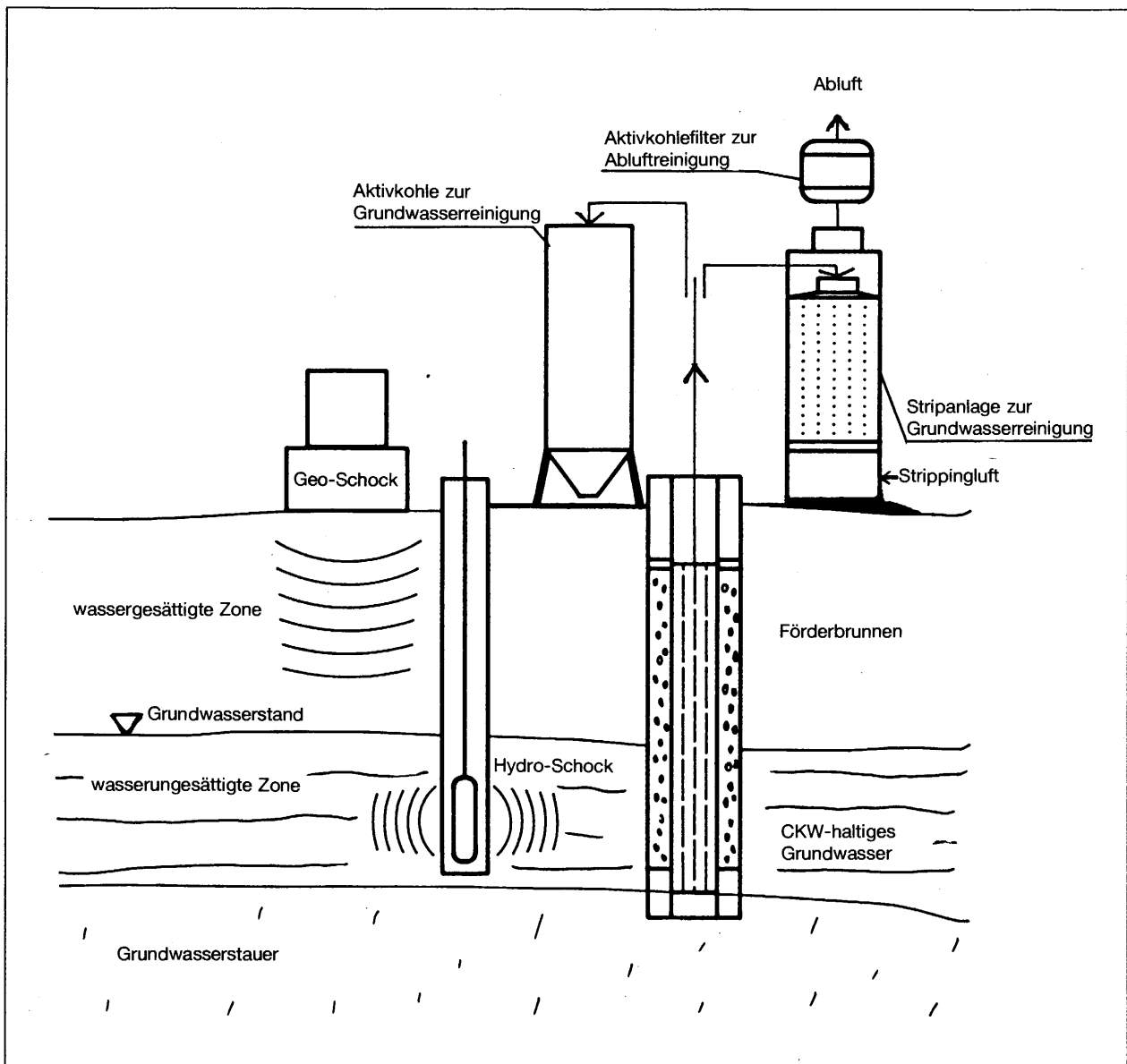
560. Bei einem weiteren Verfahren wird ein Energieeintrag in den Untergrund mittels seismisch wir-

kender Schwingungsgeber herbeigeführt (Hydro-Schock-, Geo-Schock-Verfahren; s. FABRICIUS, 1988, HOLZWARTH, 1988). Abbildung 4.9 zeigt schematisch die Wirkungsweise dieser Verfahren; das verunreinigte Förderwasser wird wahlweise in Strippingkolonnen oder in Aktivkohlefiltern, die Strippingluft in Aktivkohlefiltern gereinigt.

Diese sogenannten Schock-Verfahren werden zur Mobilisierung von eingeschlossenen CKW empfohlen; sie befinden sich noch in der Erprobung. Beim Hydroschock wird der Schwingungsgeber in einem Grundwasserpegel bis nahe der Aquifersohle eingehängt, um in der wassergesättigten Zone eine Mobilisierung der schweren CKW-Phase zu erreichen. Der Geoschock-Geber soll von der Oberfläche aus den gleichen Effekt in der ungesättigten Zone erreichen.

Abbildung 4.9

Hydro- und Geo-Schock zur Mobilisierung von CKW-Verunreinigungen



Quelle: HOLZWARTH, 1988, verändert

Bei der Anwendung beider Techniken muß eng mit Geologen und Hydrogeologen zusammengearbeitet werden, weil diese Schwingungen zur Bodenverdichtung und dadurch zur Immobilisierung, aber auch zu Setzungserscheinungen führen können, die Bauwerksschäden nach sich ziehen (THOMÉ-KOZMIENSKY, 1987b).

#### Aktive pneumatische Maßnahmen

**561.** Einer aktiven pneumatischen Maßnahme sind nur leichtflüchtige Substanzen, z. B. leichtflüchtige Aromaten und sonstige leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe sowie leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe, zugänglich. Es handelt sich dabei um „in situ“-Maßnahmen, die ohne Bodenaushub arbeiten. Die Bodenluftabsaugung ist prinzipiell in der ungesättigten Bodenzone einsetzbar; mit Hilfsmaßnahmen – durch Druckluft- oder Dampfblasen bewirktes Strippen – können auch leichtflüchtige Schadstoffe aus der gesättigten Zone sowie weitere, „wasserdampflichtige“ Schadstoffe, z. B. Naphthalin oder Phenole, mobilisiert werden.

**562.** Im Erdreich können dort vorhandene Gase und Dämpfe hohe Partialdrücke entwickeln und dadurch die Zusammensetzung der Bodenluft wesentlich verändern oder sie gänzlich verdrängen. Hierbei handelt es sich um Primärkontaminationen. Die darüber hinaus vorwiegend in Altablagerungen in mikrobiologischen und chemischen Umsetzungsprozessen entstehenden Gase Methan ( $\text{CH}_4$ ), Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) sind sekundäre Bodenkontaminationen. Wegen ihrer relativ hohen Dampfdrücke werden alle leichtflüchtigen Stoffe durch Diffusion verteilt und von der Bodenluft transportiert.

**563.** Anhand geologischer, hydrogeologischer und bodenkundlicher Untersuchungen sowie bei Saugversuchen gewonnener Erkenntnisse muß die Machbarkeit der Sanierung im Rahmen der Machbarkeitsstudie (Abschn. 4.3.1.3) vorgeprüft und demonstriert werden. Unter anderem muß es aus den gewonnenen Daten möglich sein, die Wirkungsradien der Saugbrunnen abzuschätzen und die Elemente des Verfahrens nach Boden- und Schadstoffeigenschaften zu optimieren. Bei sehr heterogenen Untergrundverhältnissen oder bindigen, feuchten Böden erfordert die Auslegung der Anlage weitaus mehr Wissen, Erfahrung und Untersuchung der Einflußfaktoren als für Standorte mit Sanden und Kiesen (ACHAKZI et al., 1988).

#### Bodenluftabsaugung

**564.** Über Vakuumbrunnen wird im Boden im wasserungesättigten Bereich eine Luftströmung erzeugt, von der die gas- und dampfförmig vorliegenden Schadstoffe mitgerissen werden. Durch diesen Saugvorgang werden die Phasengleichgewichte „flüssig/gasförmig“ bzw. „fest/gasförmig“ ständig gestört; die Schadstoffe werden durch Konvektionsprozesse nachgeliefert. Der laufende Abtransport der Gasphase bewirkt das Erschöpfen der flüssigen oder ad-

sorbierten Phase (WESSLING, 1988). Nach WICHERT (1989) werden in der abgesaugten Luft auch Metaboliten des mikrobiologischen Abbaus gefunden. Die Schadstofffracht der Förderluft klingt mit der Zeit ab (Abb. 4.10). In der Praxis werden Reinigungsgrade bis über 90 % erreicht. Die geförderten Schadstoffe müssen den Vorschriften der TA Luft entsprechend aus dem Abluftstrom abgeschieden werden.

Abbildung 4.11 zeigt eine Bodenluft-Absauganlage mit den üblichen Komponenten des Systems. Das technisch kaum lösbare Problem ist die gleichmäßige Durchströmung des gesamten Kontaminationskörpers und nicht nur der durchlässigeren Schichten. HAHN (1988) gibt bei ca. 200  $\text{m}^3/\text{h}$  Absaugleistung eine Reichweite von 10 bis 20 m in einer Altdeponie an. Bei Absaugraten von 150 bis 250  $\text{m}^3$  Luft/h und einem Einzugsbereich eines Bohrlochs von maximal 50 bis 80 m im Radius (THOMÉ-KOZMIENSKY, 1987b) können sich bei unterschiedlicher Bodendurchlässigkeit leicht von der Strömung bevorzugte Bahnen ausbilden („Luftkurzschluß“); auch Falschlufzutritt ist möglich. Eine Oberflächenabdeckung ist unumgänglich, wenn sie als verfestigte Oberfläche nicht vorhanden ist. Die Bodenbelüftung bzw. -absaugung läßt sich auch in bebautem Gelände ohne Auf- bzw. Abbruch durchführen (FRANZIUS, 1988). Zur Schonung des Sauggebläses und der Aktivkohle-Kapazität muß ein Wasserabscheider eingebaut werden. Die technische Ausführung bzw. die Leistung der Absaugvorrichtung richtet sich nach den zu erreichenden Unterdrücken im Vakuumbrunnen.

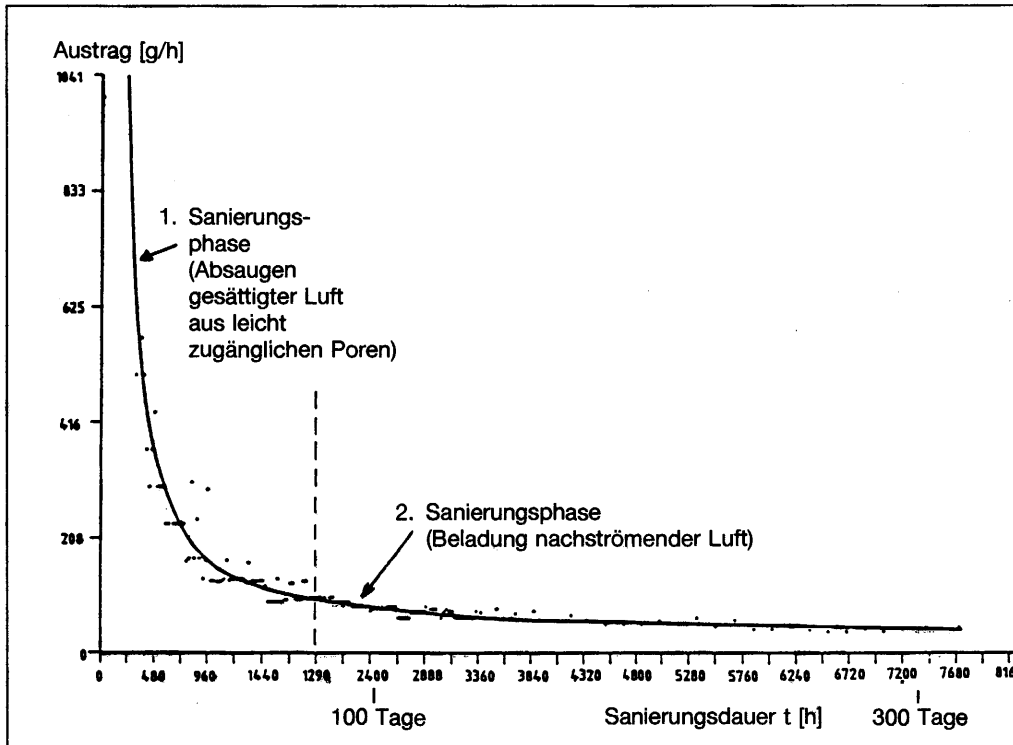
#### Strippen (Luft-, Dampfstripfen)

**565.** Zur Erhöhung der Effektivität der Bodenluftabsaugung bzw. zur Ausdehnung des Einwirkungsbereichs auf die wassergesättigte Zone kann Druckluft bzw. Sattdampf (130 °C – 180 °C) eingeblasen werden. Durch die pneumatische Absaugung und weitere begleitende hydraulische Maßnahmen muß sichergestellt werden, daß sich die so mobilisierten Schadstoffe nicht ausbreiten. Der Reinheit der eingebrachten Stoffe wie Luft und Wasserdampf muß besondere Beachtung beigemessen werden. Während das Drucklufteinblasen eine Intensivierung nur für dieselbe Stoffgruppe erbringt, die beim Absaugen erfaßt wird, werden mit dem Dampfstripfen auch wasserdampflichtige Schadstoffe und Stoffe mit erhöhtem Siedepunktbereich, d. h. zwischen 100 °C und ca. 280 °C, erfaßt. Dadurch können auch höhersiedende Halogenkohlenwasserstoffe, aromatische Kohlenwasserstoffe und Phenole sowie PAH aus dem Untergrund mit sehr unterschiedlichen Geschwindigkeiten entfernt werden. Je nach Untergrundverhältnissen, Grad der Wasserdampflichtigkeit der Schadstoffe und adsorptiver Immobilisierung können Reinigungsgrade zwischen 20 und 99 % erreicht werden (HURTIG et al., 1986).

Die Druckluft bzw. der Wasserdampf wird mit Lanzen bis in den Grundwasserleiter eingebracht. Da die eingeblasene Luft das Porenwasser ganz verdrängen sowie durch die Fällung von Eisen- und Mangansalzen (Verockerung) eine Untergrundverstopfung bewirken kann, müssen die Risiken dieses Eingriffs genau ab-

Abbildung 4.10

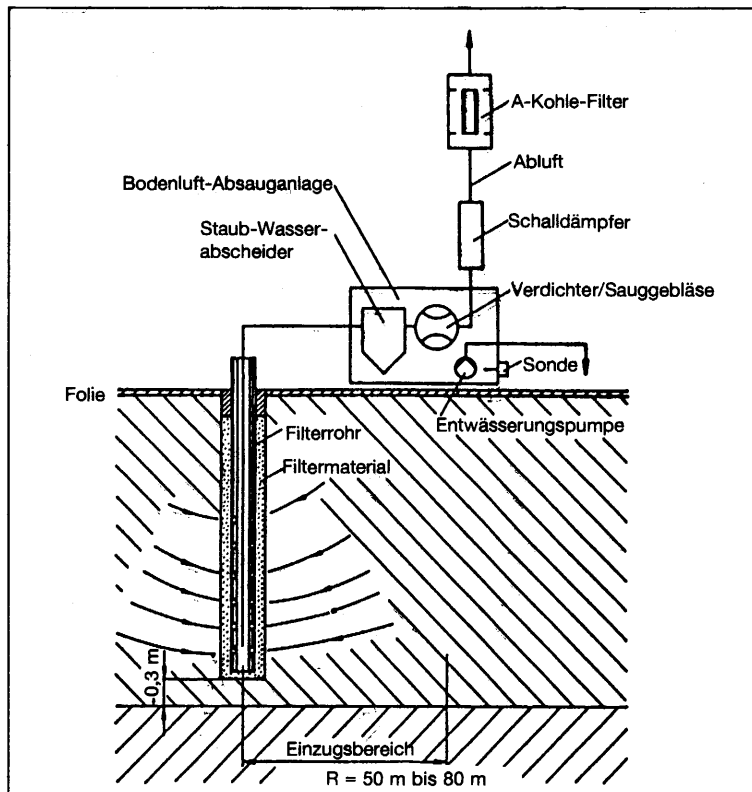
**Abklingen der Schadstofffracht bei Bodenluftabsaugung**



Quelle: BRUCKNER, 1988

Abbildung 4.11

**Bodenluftabsauganlage**



Quelle: FABRICIUS, 1988, verändert

geschätzt werden (WICHERT, 1989). Diese Phänomene sind für Dampfstrippen nicht zu erwarten. Verdrängtes verunreinigtes Grundwasser ist durch hydraulische Begleitmaßnahmen zu fassen und zur Reinigung abzuleiten; Setzungsschäden von Bauwerken ist vorzubeugen.

#### 4.3.2.2.4 Thermische Behandlung

##### Grundlagen

**566.** Das Prinzip der thermischen Dekontamination besteht in der Destabilisierung von adsorptiven und chemischen Bindungskraften auf thermischem Wege. Die Schadstoffe können anschließend oxidativ zerstört oder in die Rückstände eingebunden werden. Je nach Wahl der verfahrenstechnischen Einflußgrößen kann die thermische Dekontamination als Entgasungs-, Vergasungs- bzw. Verbrennungsprozeß geführt werden (THOMÉ-KOZMIENSKY, 1987b), wobei die Abgrenzung zwischen diesen Grundformen unter Praxisbedingungen nicht immer möglich ist. Das kontaminierte Material muß in den meisten Fällen in die thermische Behandlungsanlage eingebracht werden; sie kann vor Ort („on site“) oder zentral („off site“) aufgestellt werden. In Spezialfällen könnten künftig „in situ“-Behandlungen eine Bedeutung erlangen; entsprechende Entwicklungen sind im Gange.

##### Eignung für Einsatzstoffe

**567.** Die thermische Dekontamination von Altlasten wird nahezu ausnahmslos für kontaminiertes Erdreich angewendet. Die thermische Umsetzung bzw. Zerstörung großer Volumina von Altablagerungsmaterial ist bei entsprechender Energiezufuhr technisch zwar ebenfalls möglich. Es besteht jedoch Furcht vor Folgekosten aus dem bekannten oder unbekanntem toxischen Potential der Altablagerung. Daher wird diese Behandlungsmethode von weiten Teilen der Bevölkerung nicht akzeptiert; konsequenterweise fehlen dann auch die Behandlungskapazitäten. Außerdem wird ein hoher Preis der thermischen Behandlung weit über DM 200,-/t erwartet. Die Rückstände aus der Abgasreinigung sind Sonderabfall und als solcher zu behandeln. Derzeit werden lediglich aus Altablagerungen erhaltene Teilstoffströme (z. B. Sickeröle) thermisch umgesetzt oder in Erwartung einer späteren thermischen Umsetzung zwischengelagert.

Die thermische Dekontamination muß auf die Eigenschaften der Matrix, z. B. auf die Bodenart, und auch auf die Bindungsform der Kontamination Rücksicht nehmen.

Der brennbare Anteil im Erdreich wird, vom Humusanteil oder Holzstücken abgesehen, von den Schadstoffen geliefert; dieser liegt selten höher als 20%, vielmehr bei 1 bis 2% und darunter. Kontaminiertes Erdreich liefert nicht genügend Energie zur Aufrechterhaltung des Erwärmungsprozesses und der Schadstoffzerstörung.

##### Eignung für Schadstoffe

**568.** In jeder thermischen Behandlungsanlage laufen, wie schon eingangs erwähnt, zwei Prozeßschritte ab:

1. Schadstoff-Freisetzung aus der Matrix durch Verdampfen, Ausdampfen, pyrolytische Zersetzung und Austritt der freigesetzten Stoffe
2. thermisch-oxidative Zerstörung der Stoffe aus Stufe 1 (gleichzeitig oder nachgeschaltet) oder Einbindung in die Rückstände.

Demnach ist das Ziel der thermischen Bodenbehandlung die Verdampfung und Verbrennung organischer Schadstoffe (UBA, 1988). Um der Verteilung von Sekundärschadstoffen (s. Abb. 4.6) aus Stufe 2 entgegenzuwirken, muß auf der Abgasseite eine entsprechende Rauchgasreinigung konzipiert werden (s. Abb. 4.12).

Es ist zweckmäßig, die Schadstoffe im Erdreich im Hinblick auf die thermische Sanierbarkeit in folgende vier Gruppen einzuteilen:

Gruppe 1: flüchtige, halogenfreie organische Verbindungen, z. B. Lösungsmittel, mineralöl- und kohlestämmige Kohlenwasserstoffe wie Benzin, Heizöl, BTX-Aromaten, PAH

Gruppe 2: flüchtige Elemente bzw. anorganische Verbindungen wie Hg, Cd, Zn, Sb, As, F, Cl, N, P, Cyanide

Gruppe 3: halogenierte organische Verbindungen wie leichtflüchtige CKW, chlorhaltige Pflanzenschutzmittel (HCH-Isomere, 2,4,5-T), „Natur“-PVC; PCB, PCDD, PCDF (als Verunreinigung vieler Produkte und Abfälle)

Gruppe 4: nichtflüchtige Elemente und Verbindungen, z. B. zahlreiche Schwermetalle.

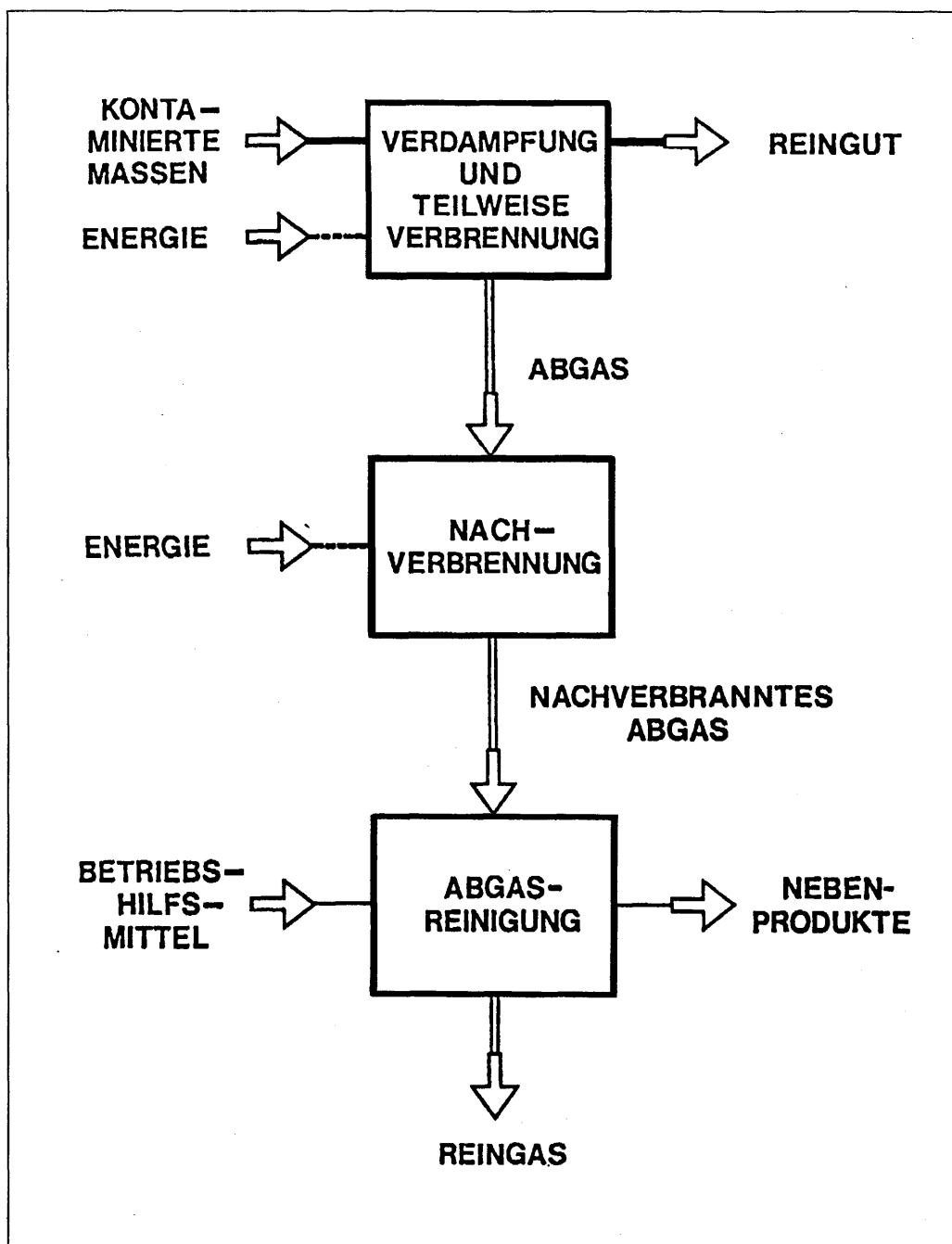
**569.** Stoffe der Gruppe 1, das sind flüchtige halogenfreie Verbindungen, gehen bei Temperaturen bis 550 °C in die Dampfform über und werden teilweise zersetzt. Thermische Dekontaminationsanlagen, mit denen mindestens diese Temperaturgrenze und eine ausreichende Verweilzeit der Matrix erreicht werden können, eignen sich zur Freisetzung der Schadstoffe dieser Gruppe. Dies gilt auch für flüchtige metallorganische Verbindungen sowie für Cyanokomplexe; letztere werden zwischen 450 °C und 500 °C in gasförmige Cyanwasserstoffe umgewandelt. Die vollständige Zerstörung der organischen sowie Cyanoverbindungen erfolgt in einer Nachverbrennungszone bei Temperaturen zwischen 800 °C und 1400 °C bei Verweilzeiten von ca. 0,3 bis 0,5 s. Je nach Schadstoffnatur sind an die Rauchgasreinigungsanlage spezielle Anforderungen zu stellen.

**570.** Die flüchtigen anorganischen Elemente und Verbindungen der Gruppe 2 können nur ausgetrieben, aber nicht zerstört werden; sie müssen durch nachträgliche Abgasreinigung abgeschieden und als Rückstand behandelt werden.

**571.** Stoffe aus Gruppe 3, das sind halogenhaltige Verbindungen, bedürfen einer besonderen Beach-

Abbildung 4.12

## Blockschema der thermischen Reinigung kontaminierter Massen



Quelle: HARTMANN und NEHRING, 1988

tung. Bei den schwerflüchtigen Vertretern erfolgt eine Freisetzung aus der Matrix erst bei höheren Temperaturen als bei Stoffen der Gruppe 1. Außerdem besitzen Stoffe der Gruppe 3, wie z. B. PCB, eine ausgeprägte Affinität zu der organischen Substanz des Bodens (LORENZ, 1983). Das Verhalten höherchlorierter PCDD/F im Boden wurde als hochgradig immobil bezeichnet (UBA, 1985), wobei die lipophilen PCDD/F wiederum an organischen Bodenbestandteilen stark gebunden sind (NEIDHARD und HERRMANN, 1987). Für mit Aldrin und Dieldrin kontaminierte Böden gibt DE LEER (1988) Freisetzungstemperaturen von 400 °C bis 600 °C an.

Weiter ist bekannt, daß aus Stoffen dieser Gruppe PCDD und PCDF neu gebildet werden können (DE LEER, 1988; FORTMANN, 1987; VOGG und STIEGLITZ, 1986; VOGG et al., 1987). Solche Bedingungen können in der Abkühlzone der Rauchgase von thermischen Behandlungsanlagen auftreten. Nach HAGENMAIER et al. (1987) besteht jedoch die Möglichkeit, die neugebildeten PCDD/F über eine katalytische Nachbehandlung der Rückstände bei 600 °C – unter Sauerstoffabschluß und genügend langer Verweilzeit – weitestgehend zu zerstören. Hinsichtlich der PCDD/F-Bildung und -Zerstörung wird auf die Ausführungen im Umweltgutachten 1987 verwiesen

(SRU, 1987, Tz. 743 ff.). Die Werte aus kommunalen Müllverbrennungsanlagen sowie aus der Verbrennung dioxinhaltiger Abfälle aus Seveso (BUS, 1986) lassen sich jedoch nicht ohne weiteres auf die thermische Dekontamination von Erdreich übertragen. Im Einzelfall sind die Betriebsbedingungen im Rahmen der Rechtsvorschriften zu ermitteln (vgl. auch: Verordnung über Abfallverbrennungsanlagen — Regierungsentwurf vom 30.06.1989, siehe Bundesrats-Drucksache 360/89).

Neben den erforderlichen Betriebstemperaturen sind noch verschiedene Mindestverweilzeiten für Feststoffe im Ofen und in der Abkühlzone sowie für Abgase in der Nachverbrennungszone zu gewährleisten. Die Verweilzeiten für das Eingangsgut im Ofen betragen verfahrens- und stoffabhängig ca. 15 bis 180 Minuten bei den jeweils erforderlichen Temperaturen. Bei der Abgasnachverbrennung bestehen relativ große Unterschiede in den Angaben:

- 1200 °C bis 1300 °C mit Verweilzeiten einiger Zehntelsekunden, bei Dioxinen bis 1,5 Sekunden (ACHAKZI et al., 1988),
- etwa 1100 °C und 1,5 Sekunden Verweilzeit (FORTMANN, 1987),
- 1150 °C bis 1230 °C und 2,4 bis 3,0 Sekunden Verweilzeit (DE LEER, 1988)

werden als erforderlich und ausreichend angesehen. Ferner wird an Hochtemperaturbehandlungsanlagen gearbeitet, in denen der Abfallstoff bei Temperaturen bis zu 1500 °C mineralisiert wird; die Gase sollen in einer Nachbrennkammer bei Temperaturen von mindestens 1300 °C bei einer Verweilzeit von etwa einer Sekunde behandelt werden (ACHAKZI et al., 1988).

**572.** Stoffe der Gruppe 4, das sind die nichtflüchtigen Elemente und ihre Verbindungen, können thermisch weder entfernt noch zerstört werden. Diese Schadstoffe können jedoch durch Sinterung über 1200 °C in die Matrix, z. B. Ton, eingebunden und dadurch deponiefähig gemacht werden (HARTMANN und NEHRING, 1988).

**573.** Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß thermische Verfahren grundsätzlich für alle organischen sowie für flüchtige anorganische Verunreinigungen einsetzbar sind (UBA, 1988). Die Arbeitstemperaturen und die Verweilzeiten richten sich nach Art und Konzentration der Schadstoffe sowie Art und später beabsichtigter Verwendung des gereinigten Materials. Prinzipiell gibt es keine Obergrenze für die Konzentration organischer Schadstoffe im Einsatzgut; die höchsten bekannten Werte für kontaminiertes Erdreich liegen bei ca. 30 Gew.-%. Die Verbrennung abgeschöpfter öligler Phasen mit oft über 80 Gew.-% Schadstoffgehalt entspricht den Bedingungen einer Sonderabfallverbrennung.

#### Verfahrenskonzepte

**574.** In die thermische Behandlung kontaminierten Materials gehen folgende Parameter ein:

- Temperaturbereich

- Verweilzeit für Feststoffe und Abgase in bestimmten Temperaturzonen
- Sauerstoffangebot
- Angebot reaktiver Gase zur Vergasung
- Inertgas-Angebot
- Art der Wärmezufuhr und der optimalen Wärmenutzung
- Ofentyp und -anzahl
- Strömungsverhältnisse.

Dies hat zu einer Fülle von Verfahrenskonzepten mit unterschiedlichen Parameterkombinationen geführt. Für Schadstoffe der Gruppe 1 und 2 werden indirekt befeuerte Anlagen konzipiert, in denen das Erdreich im mittleren Temperaturbereich, d. h. schonend, ohne Erweichung und Sinterung der Tone behandelt wird. In Anwesenheit von Stoffen der Gruppen 3 und 4 werden höhere Behandlungstemperaturen durch Direktbeheizung angestrebt, bei denen aus dem Erdreich eine Art Schlacke, der sogenannte totgebrannte Boden, entsteht. Das thermisch behandelte Material ist entsprechend dem Konzept der Machbarkeitsstudie zu untersuchen und hinsichtlich der weiteren Verwendbarkeit und Behandlung zu klassifizieren.

**575.** Die thermischen Reinigungsverfahren haben nach THOMÉ-KOZMIENSKY (1987b) den höchsten Wirkungsgrad — zumindest für halogenfreie organische Kontaminationen —, sind aber auch am teuersten, weil durch nachgeschaltete Reinigungsstufen auf der Gasseite ein hoher Aufwand zur Zerstörung oder Aufkonzentrierung der Schadstoffe (Nachverbrennung und mehrstufige Gaswäsche) betrieben werden muß. Abbildung 4.13 zeigt das Verfahrensschema einer Anlage mit einem Durchsatz von 5 t/h.

**576.** Es ist zweckmäßig, die verfügbaren Verfahren in

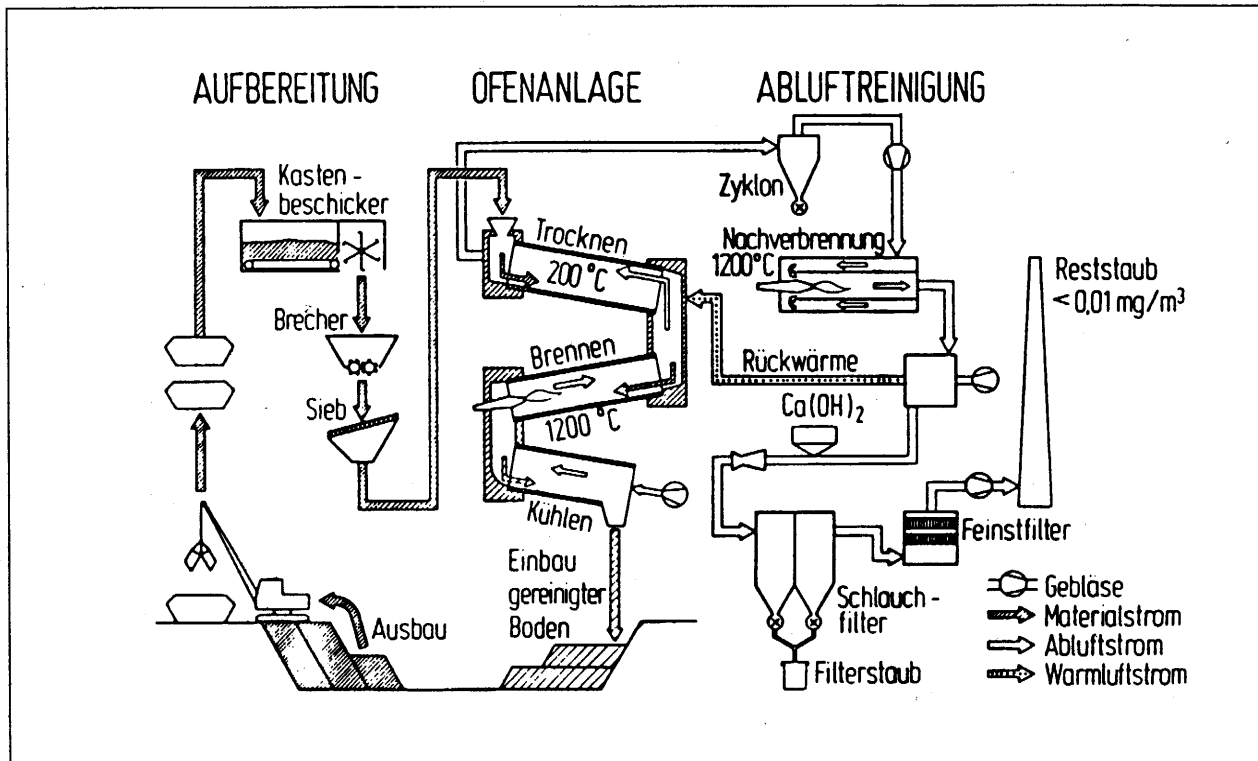
- Entgasungs-,
- Vergasungs- bzw.
- Verbrennungsverfahren einzuteilen.

Tabelle 4.5 faßt die Prozesse mit ihren wichtigsten Verfahrenskriterien zur thermischen Dekontamination von Erdreich mit den Zielprodukten zusammen. Hierin sind Verziegelung und „in situ“-Verglasung, die bei der Immobilisierung schon erwähnt wurden, wegen der verfahrenstechnischen Überschneidung noch einmal aufgeführt. Die „in situ“-Verbrennung, die sich in der Entwicklung befindet, wird ebenfalls genannt. Alle thermischen Behandlungsverfahren sind durch Zufuhr von Zusatzenergie, z. B. Heizöl, Erdgas oder Strom, gekennzeichnet.

**577.** Die verfahrenstechnischen Einzelheiten sind in der Literatur hinreichend beschrieben (FORTMANN, 1987; FRANZIUS, 1988; FRANZIUS et al., 1988; THOMÉ-KOZMIENSKY, 1987b; Vorträge anlässlich des 2. Internationalen TNO/BMFT-Kongresses über Altlastensanierung 1988, s. WOLF et al., 1988). Im Vorgriff auf das „Technologieregister Altlasten“, das als Datensammlung ab Ende 1989 verfügbar sein soll, hat der Statusbericht zur Altlastensanierung 1988 ei-

Abbildung 4.13

## Verfahrensschema einer Anlage zur thermischen Bodenreinigung



Quelle: FRANZIUS, 1988, nach GLÄSER, 1988

nige Ergebnisse der Befragung von Anbietern mitgeteilt (ACHAKZI et al., 1988). Weitere Konzepte wurden bei der ENTSORGA-Messe im September 1988 vorgestellt. Danach gibt es eine Vielzahl von geplanten und verfügbaren Lösungen für die thermische Dekontamination, die sich neben den konzeptionellen Merkmalen (Entgasung, Vergasung oder Verbrennung) auch in ihren Gasreinigungssystemen, Durchsatzleistungen, ihrem Mobilitätsgrad und den Preisen stark unterscheiden. In ihren Reinigungsleistungen sind die Anlagen dagegen sehr ähnlich; relative Reinigungsleistungen von mindestens 98 %, maximal bis 99,5 %, werden üblicherweise angegeben, wobei sich diese meist auf leichtsiedende Kohlenwasserstoffe bei einem vorgegebenen Konzentrationsbereich und bei optimalen Rahmenbedingungen in der Korngrößenverteilung und im Wassergehalt des Erdreichs beziehen. Die Nutzungsmöglichkeiten thermisch behandelten Materials sind bei GOETZ (1988) detailliert beschrieben.

Über den derzeitigen Stand der Entwicklung von Pilot- und Betriebsanlagen berichtet FRANZIUS (1989). Die Leistung der realisierten Pilotanlagen liegt unter 1 t/h, die der größeren Anlagen unter 10 t/h; in Kürze sollen auch Großanlagen im Leistungsbereich von 10 bis 50 t/h realisiert werden. Bei den Entwicklungen überwiegt das Entgasungs- und Vergasungsprinzip mit nachgeschalteter Nachverbrennung, aber auch das Prinzip der direkten Verbrennung wird verfolgt. Mobile bzw. umsetzbare Anlagen werden bis maximal 10 t/h Leistung geplant; für darüber hinaus-

gehende Leistungen kommen nur stationäre Anlagen in Betracht.

**578.** Aus der Fülle verfahrenstechnischer Einzelheiten sind die konzeptionellen Unterschiede hinsichtlich der

- Verarbeitbarkeit verschiedener Böden und Kontaminationen,
- Lösung verfahrenstechnischer Probleme, z. B. Staubaustrag, Nachverbrennung, Gasreinigung, Energieträger bzw. -nutzung, sowie
- Verwendbarkeit des gereinigten Materials, z. B. als Rückfüllmaterial oder als Kulturboden,

hervorzuheben, denn diese sind von erheblicher Umweltrelevanz.

**579.** Der 2. TNO/BMFT-Altlastenkongreß im April 1988 hat die Erkenntnis erhärtet, daß die Entwicklung der thermischen Dekontamination in den Niederlanden und den USA am weitesten fortgeschritten ist. Eine Anlage in den Niederlanden mit einer Durchsatzleistung von 35 bis 50 t/h hat sich in über 10 000 Betriebsstunden und bei etwa 500 000 t Gesamtdurchsatz von kokerei- und gaswerksspezifischen Altlasten mit einer Kontamination  $\leq 1\%$  bewährt (s. FORTMANN, 1987). Hinsichtlich der Behandlung PCB- und PCDD/F-kontaminierter Böden sind hingegen die USA führend, allerdings erst in Pilotmaßstab (< 10 t/h, vgl. DE LEER, 1988; HILL und OLEXSEY, 1989). Diese Anlagen im Ausland entsprechen nicht den höheren



Tabelle 4.5

## Prozesse bei der thermischen Dekontamination von Erdreich

Verfahrensbezeichnung, Temperaturbereich °C (Feststoff)	Zweck	Zielprodukt(e) 1 = Feststoffe 2 = Gase	Beheizung/ Wärmeübergang; Ofentyp	
<b>Entgasung</b> Nieder- temperatur- Entgasung	Austreiben flüchtiger Ausgangsstoffe oder Zersetzungsprodukte (Ver-/Ausdampfen, Gasdestillation)	1) abgereinigtes Material: Gemisch aus anorganischen Bodenbestandteilen und Pyrolysekoks; biologisch inaktiv, aber mit Zusätzen revitalisierbar (nur bei Niedertemperatur- Verfahren) 2) Nachverbrennung	indirekt; in Drehrohr oder Schweltschichtofen	
bis 500				
Mittel- temperatur- Entgasung				
Schwelung, Hoch- temperatur- Entgasung	>800 bis 900			
Verglasung	bis 2 000	Einschluß in Glas; Aus- treiben flüchtiger Stoffe	1) „in situ“ Glaskörper 2) ausgetriebene Stoffe zur Nachverbrennung	Lichtbogeneffekt („in situ“)
Spülgas- destillation	300 bis 800	Austreiben durch Spülung; behutsamere Boden- behandlung; durch Reduktion weniger PAH-Reste	1) belebbarer Boden 2) ausgetriebene Stoffe zur Nachverbrennung in Stützflamme	direkt; in Schacht- oder Drehrohrföfen
<b>Vergasung</b> Mittel- temperatur- Vergasung	600	Austreiben flüchtiger Stoffe (s. o.)	1) abgereinigtes Material (s. o.) wie oben 2) Brenngas (mit geringem Heizwert) bei ca. 1 000 bis 1 200 °C verbrannt und anschließend gereinigt	indirekt; in Drehrohrföfen
Hoch- temperatur- Vergasung	1 100 bis 1 600	Umsetzung von 20 bis 30% Ölkontamination zu Brenngas	1) deponiefähige Schlacke 2) Brenngas bis >1 000 °C verbrannt	direkt in Vergasungs- reaktorschacht
<b>Verbrennung</b> Mittel- temperatur- Verbrennung	300 bis 900	Ausdampfung, Verbrennung	1) belebbarer Boden bzw. Bett- asche (je nach Temperatur) 2) Rauchgas (zur Reinigung)	indirekt oder di- rekt; in Drehrohr- oder Wirbel- schichtofen
	500 bis 1 000	Ausbrennen von flüchti- gen oder zersetzbaren Schadstoffen; Fixieren von Schwermetallen in gesinterten Matrices	1) „totgebrannter“ Boden (Schlacke, „Backstein“), nicht belebbar; deponiefähig 2) Rauchgas (zur Reinigung)	indirekt; durch Strahlung in Infrarot-Durch- lauföfen; oder mittels „in situ“ - Wärmestrahlföfen
Hoch- temperatur- Verbrennung	bis 1 200, evtl. 1 500			direkt; in Dreh- rohr- oder Wirbel- schichtofen

Quelle: SRU

abgasseitigen Anforderungen in der Bundesrepublik; sie wären deshalb hier nicht genehmigungsfähig. Die hohen Genehmigungsanforderungen haben die Entwicklung von Anlagen vergleichbarer Leistung bisher verhindert. Derzeit stehen jedoch verschiedene Eigenentwicklungen sowie Lizenzübernahmen in der Bundesrepublik kurz vor dem Durchbruch zur großtechnischen Anwendung (Energiespektrum, Heft 10/1988, S. 15–22; FRANZIUS, 1988 und 1989). Dadurch soll eine sinnvolle Kombination bewährter, modernster Techniken der Boden- und Gasreinigung erreicht werden.

#### Bewertung

**580.** Nach Einschätzung des Umweltbundesamtes (UBA, 1988) können die thermischen Bodenreinigungsverfahren vorwiegend im Bereich starker und schwer abbaubarer organisch-chemischer Bodenverunreinigungen wie polyaromatischer und polyhalogener Kohlenwasserstoffe eingesetzt werden. Eine Reinigung des Bodens von Schwermetallen ist mit thermischen Verfahren nur in speziellen Fällen möglich. Werden flüchtige Schwermetalle, insbesondere Quecksilber und Cadmium thermisch ausgetrieben, bedarf es besonderer Abscheidvorrichtungen.

Durch die thermische Belastung des Erdmaterials werden neben den synthetischen organischen Verunreinigungen auch die natürlichen organischen Bodenbestandteile zersetzt. Behandelte Böden aus Anlagen mit Direktbeheizung („totgebrannte Böden“) können daher nur bedingt, nach zusätzlicher Aufbereitung, als Pflanzensubstrate genutzt werden, wenn dem nicht Schwermetallgehalte entgegenstehen. Bei indirekter Beheizung bei niedrigeren Temperaturen kann davon ausgegangen werden, daß ein Teil der organischen Bodenbestandteile erhalten bleibt und der Boden leichter wiederbelebbar ist.

Es muß im Einzelfall abgewogen werden, ob Art und Umfang der Bodenverunreinigungen den Einsatz eines thermischen Verfahrens rechtfertigen. Fallweise wird sich das Ziel hoher Dekontamination nur durch eine Kombination aus Extraktionsverfahren, zum Beispiel Bodenwaschverfahren, und thermischen Verfahren erreichen lassen.

#### 4.3.2.2.5 Chemisch-physikalische Behandlung

##### Methodische Grundlagen

**581.** Alle Sanierungsverfahren, mit deren Hilfe Schadstoffe aus einer Matrix, z. B. Erdreich oder Grundwasser, entfernt, umgewandelt oder zerstört werden, ausgenommen die thermischen und biologischen Methoden, werden als chemisch-physikalische Verfahren definiert. Bei den hydraulischen und pneumatischen Dekontaminationsmaßnahmen (s. Abschn. 4.3.2.2.3) schließt sich einem Entnahmeschritt ein Dekontaminationsschritt an. Bei diesen Dekontaminationsschritten handelt es sich um Reinigungsverfahren für entnommene Grund-, Sicker-, Stauwasser sowie kontaminierte Bodenluft.

Die chemisch-physikalischen Verfahren wurden in erster Linie als Reinigungsverfahren für die Matrices konzipiert; sie eignen sich nur in Ausnahmefällen für die Verarbeitung konzentrierter Abfallstoffe aus Altanlagen.

**582.** Mit chemisch-physikalischen Methoden können nach EHRESMANN (1988) und SONNEN (1988) grundsätzlich zwei unterschiedliche Strategien verfolgt werden (s. Abb. 4.6):

- Erzeugung relativ kleiner Mengen von Schadstoffkonzentraten durch Umwandlung und Separation
- Erzeugung relativ großer Mengen von verdünnten Schadstoffströmen, aus denen vor ihrer Verteilung unter Umständen wieder Schadstoffkonzentrate abzuscheiden sind.

Das Kernstück beider Varianten bilden verfahrenstechnische Trennoperationen mit Stoffübergang, in denen die Matrices von der Schadstofffracht befreit werden.

Typische Beispiele für die Separationsstrategien sind die Wasch- und Extraktionsverfahren mit Anfall von relativ konzentrierten zu entsorgenden Flüssigkeiten und Schlämmen. Endprodukte der Reinigung sind in der Regel Schlämme, beladene Adsorbentien oder Destillationsrückstände aus der Regenerierung von Extraktionsmitteln.

Typische Beispiele für die Verteilungsstrategie sind das „Luft-Stripping“ (Verdünnung der Bodenluft) mit anschließender adsorptiver Reinigung oder die Auslaugung („Leaching“) aus anstehendem Boden („in situ“) mit Anfall relativ schwach belasteter reinerungsfähiger Abwässer. Als Endprodukte der Reinigung entstehen ähnliche Stoffe wie bei der Konzentrierung.

**583.** In beiden Strategien beinhaltet die Behandlung des kontaminierten Materials jeweils zwei Schritte, die der Zufuhr von Energie und/oder Hilfsstoffen bedürfen:

- Aufhebung der Bindungskräfte zwischen Matrix und Kontamination mit anschließendem Abtransport der Schadstoffe von der Oberfläche mit Hilfe eines Transportmediums (Schadstoffaustrag mittels eines Prozeßstoffes P nach Abb. 4.6: „Medienwechsel“)
- Abscheiden der Schadstoffe aus dem Transportmedium.

Aus diesem Grunde ist die Kenntnis der Bindungsform der Schadstoffe (Tab. 4.1) zur Verfahrensplanung (s. Abschn. 4.3.1.3) unerlässlich (BINDER, 1986). Der Bindungsmechanismus wird bei Böden durch sorptive Kräfte bestimmt; die Adsorptionskapazität der Bodenaggregate für einen Schadstoff hängt in erster Linie von der Korngröße und der mineralogischen Zusammensetzung und der dadurch gegebenen Oberflächenstruktur sowie der chemischen Natur der Oberfläche ab. Das bedeutet, daß Fein- und Feinstkornfraktionen mit besonders hoher spezifischer Oberfläche wie Schluff oder Ton wesentlich mehr Schadstoffe binden können als das Grobkorn (GEBHARD, I., 1988). Die Bindungskräfte zwischen den feinen Bo-

denpartikeln und dem Schadstoff können so hoch sein, daß es nicht oder nur teilweise gelingt, die Partikeln von den Schadstoffen zu befreien (SONNEN, 1986). Alle Verfahren zielen daher direkt daraufhin ab, die stark schadstoffhaltige Feinkornfraktion von der übrigen Bodenmatrix abzutrennen, wie z. B. die Hochdruckwäsche mit Wasser, wobei auch gröbere Bodenfraktionen zerkleinert und ausgetragen werden können. Während der Transportvorgänge treten Wechselbeziehungen zwischen den Schadstoffen, Prozeß- und Hilfsstoffen sowie Bodenpartikeln auf (ASSINK, 1988).

**584.** Aus den aufzuarbeitenden Fluiden, die als wäßrige Lösung, Emulsion, Dispersion sowie als nichtwäßrige Phasen oder Gase vorliegen können, sind die Schadstoffe mechanisch nicht abtrennbar; es müssen bei Bedarf entsprechend ausgewählte chemisch-physikalische Trennverfahren eingesetzt werden (EHRIG, 1988; GOTTSCHLING, 1988; KILGER, 1988).

Die verfahrenstechnische Aufgabe ist im wesentlichen, den Stoffübergang erst zu ermöglichen oder zu beschleunigen (VREEKEN und SMAN, 1988). Der Stoffübergang wird durch eine große spezifische Oberfläche, die Oberflächenenergie, große Konzentrationsgradienten, geeignete Temperatur und eine schnelle Phasentrennung begünstigt.

**585.** Aus dieser kurzen Aufzählung der verfahrenstechnischen Optimierungskriterien ist leicht ersichtlich, daß sich chemisch-physikalische Sanierungsmethoden bevorzugt an ausgehobenem Erdreich bzw. an entnommenen Fluiden durchführen lassen. Nach Einschätzung von ACHAKZI et al. (1988) wird dies wohl der Regelfall bleiben. In bestimmten Fällen, zum Beispiel bei einem einfachen Schadstoffspektrum in leicht zugänglichen Matrices, und bei bestimmten organisatorischen Vorgaben wie niedriger Preis und ausreichend Zeit können chemisch-physikalische Verfahren auch „in situ“, ohne Bodenaushub, zu akzeptablen Endergebnissen führen (COLLINS, 1986). Die Verfahrensauswahl wird deshalb in Abhängigkeit vom Schadstoffspektrum, der Art des Erdreiches, dem Verwendungsziel des gereinigten Materials und den Zeit- und Preisrelationen getroffen werden müssen. Im Hinblick auf die gesamte Umweltbelastung der Sanierungsmaßnahme erscheinen jedoch vor allem diejenigen Verfahren interessant, die den Schadstoffübergang in das schließlich zu behandelnde Medium ohne Zugabe von chemischen Substanzen, das heißt allein durch Eintrag mechanischer Energie, durchführen; dies ist nur bei „on/off site“-Verfahren und bei der Bodenluftabsaugung möglich. Ist der Einsatz von Hilfsstoffen zur Verbesserung des Stoffübergangs und der Phasentrennung unvermeidlich, sollten diese umweltverträglich, insbesondere bioabbaubar sein.

#### Eignung für Matrices

**586.** In der Praxis muß mit einer großen Vielfalt von zu dekontaminierendem Erdreich und Abbruchmaterial gerechnet werden. Wegen der verfahrenstechnischen Forderung des innigen Kontaktes und der Rolle der Oberflächenphänomene (s. Tz. 583) wurden die Verfahren zuerst auf die Behandlung von Mittelgrob-

fraktionen, z. B. Kies, Sand, zerkleinerte Abbruchmaterialien mit Kornfraktionen von 25 bis 0,1 mm, ausgelegt. Heute können sie auch für Böden mit hohem Fein- und Feinstkornanteil angewandt werden (FRANZIUS, 1988). Freilich hat dies die Folge, daß nicht nur die Schadstoffe und ihre Umwandlungsprodukte, sondern auch die gesamte Feinkornfraktion als Schlamm zu entsorgen sind. Bei feinkörnigen Böden sind es üblicherweise 5 bis 25 % der Matrix, während es sich bei grobkörnigem Material um einen Anteil bis zu 5 % handelt. Es wird angestrebt, die Menge der abgeschiedenen Feinkornfraktion durch Verschiebung der Trenngrenze zum Feinstkorn, z. B. von 60 µm auf 15 µm, zu reduzieren (GEBHARD, I., 1988), damit diese Bodenfraktionen nicht als Schlamm ausgeschleust werden müssen, sondern gereinigt zurückgebaut werden können.

#### Verfahrenskonzepte

**587.** Die chemisch-physikalischen Trennverfahren für die Behandlung von festen Matrices wie Erdreich oder Abbruchmaterial und von kontaminierten Fluiden wie Grund-, Sickerwasser und Abluft sind in Tabelle 4.6 mit weiteren Angaben zusammengestellt. Danach sind die Extraktions- und Waschverfahren von besonderer Bedeutung.

#### – Extraktions- und Waschverfahren

**588.** Die realisierten Konzepte zur chemisch-physikalischen Behandlung von kontaminierten Feststoffen basieren größtenteils auf dem Extraktions- bzw. Waschprinzip an ausgehobenem Material. Abbildung 4.14 zeigt den Verfahrensablauf.

Die Verfahren haben folgende Schritte:

1. Das zu reinigende Material wird vorbehandelt, indem grobe und sperrige Bestandteile wie Holzstücke, Fundamenteile, Steine und dergleichen ausgesondert, abgesiebt bzw. bei Bedarf gebrochen werden. Der Siebrückstand wird separat abgespült oder auf andere Weise gereinigt. Bei Extraktionsverfahren mit organischen Lösungsmitteln muß der zu reinigende Feststoff zuvor getrocknet werden.
2. Der vorbehandelte Feststoff wird zum Lösen, Dispergieren und Abtrennen der Schadstoffe bzw. der Feinkornfraktion mit dem Extraktionsmittel intensiv vermengt. Dieser Prozeß kann je nach Verfahren durch mechanischen Energieeintrag, z. B. durch Einspeisung des Extraktionsmittels unter hohem Druck als Hochdruck-Wasserstrahl, pulsierende Extraktorteller und -schnecken usw., unterstützt werden.
3. Feststoff und Extraktionsmittel werden voneinander getrennt.
4. Der Feststoff wird mit sauberem Extraktionsmittel bzw. Wasser nachgewaschen.
5. Bei einigen Verfahren wird das in Schritt 3 nicht abgeschiedene und in der Waschflüssigkeit verbliebene Feinkorn nachträglich separiert und gegebenenfalls nachgewaschen.

Tabelle 4.6

## Verfahren bei der chemisch-physikalischen

Behandlungsverfahren	Behandeltes Medium	Ort der Behandlung	Transportmedium/ Prozeßstoff	Reagenzien, Hilfs- stoffe (bei Bedarf)	
A) Extraktions- und Waschverfahren	kontaminiertes Untergrundmaterial (Boden, Baugrund), mit oder ohne Bodenaushub	„in situ“ (Auswaschen, Leaching), „on/off site“	Wasser	Tenside, Dispergierung, Säure/Basen, Pufferung (pH-Reg.), Komplexbildner	
		„on/off site“	organische Lösungsmittel (Solvent-Extraktion)	Tenside	
B) Weitere chemisch-physikalische Dekontaminationsverfahren	Gasaustausch (Stripping)	kontaminierter Untergrund	Dampf; Druckluft (heiß/kalt)		
		kontaminiertes Wasser			„in situ“, „on site“
	Adsorption	ausgestrippte Gas- phasen, kontami- niertes Grund-, Pro- zeßwasser	„on site“	Aktivkohle, Molekularsiebe, Adsorberharze	
	Ionenaustausch	kontaminiertes Wasser (Grund-, Prozeßwasser)	„on site“	Ionenaustausch- harze	Pufferung
	Membran- trennverfahren	kontaminierte Flüssigkeiten	„on site“	Wasser	
	Sedimentation, Flotation	Prozeßabwasser, Dünnschlämme	„on site“	Wasser	Flockungs-, Flotationsmittel
	Eindampfung	Sickerwasser	„on site“	Wasser	
	Fällung/Flockung, Kolloidwirkung	Prozeßabwasser	„on site“	Wasser	Fällungsmittel, Hilfsstoffe
	chemische Umwandlung  (Oxidation, Reduktion, Dehalogenierung)	wäßrige Phasen	„on site“	Wasser	Reagenzien
		ölige Phasen (Sickeröle)	„on site“, „off site“	bei Bedarf organi- sche Lösungsmittel	metallisches Natrium; H <sub>2</sub>
	Boden	„in situ“	Luft	Ozon	

Quelle: SRU

6. Das Extraktionsmittel wird gereinigt und regeneriert. Hierbei fallen die Schadstoffe und die Feinbestandteile des Eingangsmaterials als Schlamm an; das Extraktionsmittel wird nach eventueller Chemikalienzugabe wiederverwendet (Schritt 2).

**589.** Die schon geschilderte Anreicherung der Kontamination in der Feinkornfraktion und die damit einhergehende kinetische Hemmung des Lösens, die Brennbarkeit der organischen Lösungsmittel, die Explosivität ihrer Dämpfe mit Luft und nicht zuletzt die Gefahr der Versickerung des Extraktionsmittels in

den Boden (Sekundärkontamination) dürften dazu geführt haben, daß weitgehend wäßrige Systeme benutzt werden. Hinzu kommt, daß die zu reinigenden Materialien oft nicht nur mit organischen, sondern auch mit anorganischen Schadstoffen belastet sind. In Extraktions- und Waschverfahren mit wäßrigen Extraktionsmitteln (reines Wasser oder Wasser mit Zusätzen, s. Tab. 4.6) werden die organischen Schadstoffe in erster Linie dispergiert und nur begrenzt gelöst, während die anorganischen Komponenten leichter in Lösung gehen. Tabelle 4.7 faßt einige großtechnisch realisierte Verfahren zusammen.

Tabelle 4.6

## Behandlung von festen Matrices sowie Fluiden

Energieeintrag in das System	Trennung des gereinigten Stoffstroms vom Prozeßstoff	Allgemeine Beschränkungen/Probleme
Zerkleinern, Fördern, Mazerieren, Extrahieren, Vibrieren, Abspalten (Hochdruckwasserstrahl, Zentrifugalbeschleunigung), Wärme	Hydrozyklon, Separator, Aufströmkolonne, Multizyklon, Wellplattenabscheider, Entwässerungssieb, Siebbandpresse, Flockung, Ionenaustausch; chemische Behandlung (s. u.)	Kontaktzeit/Anzahl der Extraktionsschritte, Resorption an Bodenpartikeln, Erhöhung der Bioverfügbarkeit (Rest), adsorbierte Schadstoffe, Schlammabeseitigung, Heterogenität des Bodens, Rest von Chemikalienzusätzen im Boden oder Grundwasser, Explosionsgefahr (bei organischen Lösungsmitteln)
Wärme, Druck	Adsorption Druckluft	lange Behandlungszeit, Setzungen, bevorzugte Strömungsbahnen im Boden
(exothermer Prozeß)	Sieb Fördern	Adsorptionsgleichgewichte (Adsorbierbarkeit, Desorption) Entsorgung beladener Adsorber
Fördern	Sieb	nur für bestimmte Ionen
elektrisches Feld, Druck	Membran	Belastbarkeit der Membransysteme; Schwebstoffgehalt (Porenverstopfung)
Zentrifugalkraft, Strömung	Hydrozyklon Zentrifuge, Flotationsbett, Kolonnen	Korngrößenabhängigkeit, Rückstände
Wärme	Sieb Filter	Rückstandsentsorgung
chemisch	Sieb Filter	toxische Nebenprodukte, Rückstände
chemisch	z. B. Sedimentation	
Mischen + exotherm; gasf. H <sub>2</sub> , hohe T, P (Dehydrochlorierung)	Destillation, Waschen	n. b.
Oxidation (Zerstörung)	Fördern (Druckluft)	Bodenverhältnisse; toxische Metaboliten

Die meisten in Tabelle 4.7 aufgeführten Verfahren haben schon Anwendungsreife in industriellem Maßstab bei Durchsatzleistungen zwischen 3 und 40 t Eingangsmaterial pro Stunde und bei organisch-ölgigen Kontaminationen erreicht. Sie unterscheiden sich im wesentlichen in der Lösung der verfahrenstechnischen Einzelheiten, die in Abbildung 4.14 angegeben sind. Der gereinigte Boden kann je nach Reinigungserfolg wieder verwendet werden; er ist in jedem Fall biologisch aktiv oder aktivierbar.

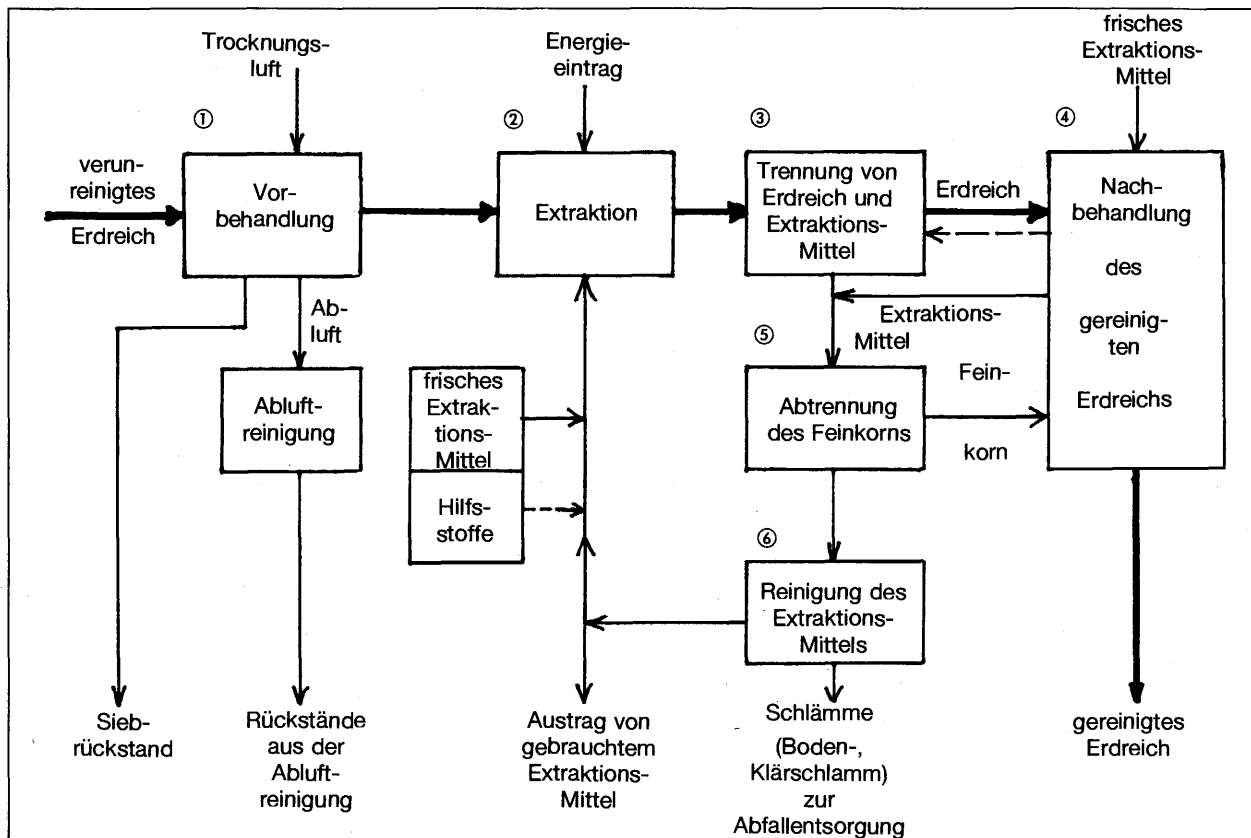
**590.** Unter Gesichtspunkten der Umweltverträglichkeit sollten die Verfahren nach der Bewältigung der

sekundär entstehenden Umweltprobleme bewertet werden. Diese sind, bei gleicher Reinigungsleistung, in gegebenenfalls erhöhter Bioverfügbarkeit der Restkontamination, im Schlammproblem und in den unterschiedlichen Einleitewerten hinsichtlich Abwasser-, Abluftkonzentrationen und -frachten zu sehen. Danach sind diejenigen Systeme günstig zu beurteilen, die nur mit reinem Extraktionsmittel und allenfalls mit biologisch abbaubaren Hilfsstoffen auskommen und die Schlammmenge durch mechanische Einwirkung auf die Bodenmatrix nicht unnötig erhöhen (EHRESMANN, 1988).

Abbildung 4.14

## Prozeßschema der Extraktions- und Waschverfahren

(Erklärung der Prozeßschritte ① bis ⑥: s. Tz. 588)



Quelle: SRU, nach ACHAKZI et al., 1988

**591.** In der Regel werden Extraktions- und Waschverfahren an ausgehobenem Material, meist „on site“, durchgeführt. Nach einem neuen Verfahren wurde jedoch auch der „in situ“-Einsatz mit Hochdruck-Wasserstrahl möglich; der auf diese Weise behandelte Untergrund und das Prozeßwasser müssen „on site“ aufbereitet werden (SONDERMANN, 1988). Das Verfahren wird in mobiler Ausführung konzipiert. Neuerdings wird wegen größerer Lösungsaffinität zu organischen Schadstoffen der Einsatz organischer Extraktionsmittel erprobt (s. Tab. 4.7).

**592.** Über einige Spezialfälle von „in situ“-Extraktion (Auswaschung, „Leaching“) berichten:

- URLINGS et al. (1988)  
(Extraktion von Cadmiumverbindungen mit schwachen Säuren)
- Umweltmagazin Heft 9/1988, S. 126f.  
(Extraktion von Chromatsalzen mit Wasser)
- KRUTZ (1989)  
(Extraktion von Chromatsalzen mit Wasser; Reinigung des Bodenspülwassers mit Ionenaustauscherharz)
- HURTIG et al. (1988)  
(Extraktion öligter Substanzen mit wäßriger Tensidlösung; in Verbindung mit mikrobiologischen Maßnahmen).

Diese Verfahren können sekundäre Umweltkontaminationen zur Folge haben. Ihre Anwendung setzt

sorgfältige Überlegungen, wenn möglich mit Modelluntersuchungen, und eine Abwägung der Vor- und Nachteile im Rahmen der Machbarkeitsstudie (Abschn. 4.3.1.3) voraus. Die Maßnahmen werden immer in Verbindung mit aktiven hydraulischen Maßnahmen durchgeführt (s. Abschn. 4.3.2.2.3).

– Weitere chemisch-physikalische Dekontaminationsverfahren

**593.** Die übrigen chemisch-physikalischen Dekontaminationsverfahren (Tab. 4.6) werden üblicherweise zur Behandlung von kontaminierten Fluiden angewandt.

Mit Hilfe chemischer Umwandlung, das heißt Zerstörung durch Oxidation/Reduktion oder Fällung, oder durch Maßnahmen zur Aufkonzentrierung mit Hilfe von Membrantrennprozessen, Ionenaustausch, Flotation, Stripping, Adsorption, Eindampfung und Solventextraktion oder physikalischer Abtrennung ungelöster Inhaltsstoffe durch Sedimentation und Filtration werden die Schadstoffe zerstört oder zur Ablagerung in Sonderabfalldeponien angereichert.

Weitere in Tabelle 4.6 angegebene Verfahren sind in der Literatur beschrieben:

BENDER und BÖHM, 1986; EHRIG, 1988; GOTTSCHLING, 1988; HILL und OLEXSEY, 1989; KERTESS, 1986; KILGER, 1988; KOLLBACH et al.,

Tabelle 4.7

## Überblick über einige großtechnisch realisierte bzw. geplante Extraktions- und Waschverfahren

Verfahren	Extraktionsmittel/ Zusätze/ Energieeintrag	Trennung des Bodens vom Schadstoff- Extraktions- mittel-Gemisch	Schadstoffeignung	Prozeßmittel- aufbereitung	Durchsatz t/h	Mobilitäts- grad
Waschen/Naßklassieren (auf Wasserbasis)	H <sub>2</sub> O/schwache Säuren, Laugen; biologisch abbaubare Tenside, Komplexbildner; Vibrations-schnecke	Mehrstufen-extraktor, Hydrozyklon, Well-plattenab-scheider	Schwermetalle und Cyanide: s. Zusätze; Mineralöl-derivate, PCB	Flotation, Flok-kung/Fällung, Stripping, Adsorption	20–30	umsetzbar
	H <sub>2</sub> O Hochdruck-Wasserstrahl	Hydrozyklon, Sedimentation im Absetzbecken	Schwermetalle, Cyanide, Mineralöl-derivate, PCB	Flockung/Fällung, Filtration	15–40	umsetzbar
	H <sub>2</sub> O/Demulga-tor; Waschspirale	Wasch- und Trenntrommel	Mineralöl-derivate	Ölabscheider, Gegenstrom-turboflotation	20	umsetzbar
	H <sub>2</sub> O Zentrifugal-wäscher	Sedimentation	Mineralöl-derivate	Flotation, Filtration	3,5	stationär
	H <sub>2</sub> O, Tenside, Schwertwellen-wäscher	Sedimentation	nicht genannt	nicht genannt	10	mobil
	H <sub>2</sub> O, Zusätze Rührwerk		nicht genannt	nicht genannt	3	mobil
	H <sub>2</sub> O/organische Säuren; Waschtrommel	Flotation	Schwermetalle	biol. Abbau und Transfer	nicht genannt	nicht genannt
Solvent-Extraktion (auf nichtwässriger Basis)	Pentan, Petrolether; Gegenstromextr.	Waschkolonne, Waschschncke	Mineralölderiv., evtl. PCB	Destillation	10	mobil
	Triethanolamin (TEA) Gegenstromextr.	Waschschncke	ölige Substanzen; mit Triethanol-amin komplexierbare Verbindungen	Extraktion, Destillation	nicht genannt	mobil
	Petrolether	Waschtrommel	Öle, Teere, PCB	Destillation	10	mobil

Quelle: SRU, nach BMU/UBA, 1988; EHRESMANN, 1988; FRANZIUS, 1988a; Umweltmagazin Heft 9/1988, S. 125 ff.

1988; KRUTZ, 1989; MICHEL-KIM und HOSSEIN-POUR, 1986; SCHAAF, 1988; WEIDNER, 1988; WIESMANN und WALTER, 1986.

#### Bewertung der chemisch-physikalischen Dekontaminationsverfahren

**594.** Die chemisch-physikalischen Behandlungsverfahren, insbesondere die Extraktions- und Waschverfahren für anorganische wie für organische Kontaminationen, haben in vielen Spezialfällen ihre Eignung sowie ihre großtechnische Anwendbarkeit bewiesen. Der Rat mißt diesen Verfahren unter dem Aspekt der

Umweltverträglichkeit eine große Bedeutung bei; sie dürften künftig eine zentrale Rolle bei der Dekontamination im „on site“- und „off site“-Betrieb spielen.

#### 4.3.2.2.6 Biologische Verfahren

##### Grundlagen

**595.** Als biologische Hilfsmittel für die Dekontamination von Altlasten kommen höhere Pflanzen und Mikroorganismen in Frage. Unter den höheren Pflanzen gibt es nur wenige spezialisierte Arten, die als Tiefwurzler sogar in über 2 m Tiefe vordringen kön-

nen. Die Mehrzahl der einheimischen Arten ist jedoch mit ihrem Hauptwurzelsystem auf die oberen Bodenschichten beschränkt. Sie können deshalb nicht aus tieferen Bodenschichten Chemikalien aufnehmen und speichern. Hinzu kommt, daß die Pflanzenverfügbarkeit der Stoffe vom Bodentyp und dem Aufschüttungsmaterial abhängt. Wegen dieser Grenzen und der langen Entwicklungszyklen sind höhere Pflanzen für die Dekontamination von Altlasten nur sehr begrenzt einsetzbar.

Dagegen werden an mikrobiologische Verfahren hohe Erwartungen geknüpft. Die Vorteile der mikrobiologischen Verfahren liegen in der Zerstörung der chemischen Struktur der organischen Schadstoffe und in der weitgehenden Erhaltung des Gefüges des zu sanierenden Bodens. Weiterhin von Vorteil sind im Hinblick auf die Vielfalt der Dekontaminationsaufgaben

- die große Anpassungsfähigkeit der Mikroorganismen,
- ihre kurzen Generationszyklen sowie
- ihre beachtlichen Stoffumsatzraten

(WERNICKE, 1988). Als Nachteil muß die mögliche Bildung von toxischen Metaboliten betrachtet werden (SRU, 1987, Tz. 1698).

**596.** Die mikrobiologische Zersetzung organischer Stoffe, auch Abbau genannt, ist ein natürlicher Prozeß, der aerob oder anaerob erfolgen kann. Der aerobe Vorgang, die mikrobielle Oxidation, ist elementarer Bestandteil der meisten funktionierenden Bodenökosysteme. In bezug auf anthropogene Kontaminationen kann dieser Prozeß mit sehr unterschiedlichen Geschwindigkeiten verlaufen, eventuell zu nicht weiter zersetzbaren Metaboliten führen oder sogar gänzlich ausbleiben. Die biotechnischen Reinigungsverfahren basieren meist auf dem oxidativen Prinzip sowie auf der Erkenntnis, daß die Zersetzung ermöglicht oder beschleunigt werden kann durch

- Aktivierung bereits vorhandener Mikroorganismen,
- Zugabe speziell adaptierter Mikroorganismen,
- Optimierung aller prozeßbeeinflussenden Parameter

(s. noch FILIP und MILDE, 1988).

Die in der Praxis angewandten mikrobiologischen Sanierungsverfahren beruhen auf der Metabolisierung organischer Schadstoffe. Ziel des Abbaus ist meist die Umwandlung von Kohlenwasserstoffgerüsten in Kohlendioxid und Wasser; die dabei freiwerdende Energie wird von den Organismen zum Biomasseaufbau verwendet (s. HANERT et al., 1987). Angelagerte Heteroatome wie Halogene, Metalle oder Metalloide, die grundsätzlich nicht zerstört werden können, werden entweder abgespalten, oder sie werden in die bakterielle Biomasse transferiert.

**597.** Wegen der relativ hohen Behandlungskosten bei thermischen und waschextraktiven Verfahren ist der Druck auf die Entwicklung und Anwendung von kostengünstigen biologischen Verfahren sehr stark. Neben den erhofften Kostenvorteilen spielen dabei

die Anwendbarkeit ohne Freilegung des Kontaminationskörpers („in situ“), die Erhaltung der Bodeneigenschaften und die Hoffnung, durch eine „sanfte Technologie“ die Schadstoffe ganz zu zerstören, eine maßgebliche Rolle. Während die biologische „on/off site“-Behandlung leicht abbaubarer organischer Schadstoffe bereits großtechnisch durchgeführt wird, müssen bei den „in situ“-Techniken generell sowie bei schwer abbaubaren Substanzen speziell noch große Anstrengungen in Forschung und Entwicklung unternommen werden (FRANZIUS, 1988). Die hierin gesetzten großen Hoffnungen sollten die natürlichen sowie verfahrenstechnisch vorgegebenen Grenzen nicht außer acht lassen. Ein im Jahre 1988 abgeschlossenes BMFT-Projekt „Untersuchung und Bewertung von 'in situ' biotechnologischen Verfahren zur Sanierung des Bodens und des Untergrundes durch Abbau petrochemischer Altlasten und anderer organischer Umweltchemikalien“ hat Grundlagenwissen zu den biologischen Fragestellungen zusammengetragen (FILIP et al., 1989), während bei den verfahrenstechnischen Fragen eine entsprechende ingenieurwissenschaftliche Durchdringung noch aussteht.

**598.** Vor dem Einsatz biotechnologischer Maßnahmen ist im Rahmen der Machbarkeitsstudie (Abschn. 4.3.1.3) eine Reihe von Grundfragen zu klären, vor allem

- die mikrobielle Abbaubarkeit durch Mikroorganismen oder Enzyme in verschiedenen Biozönosen unter Freilandbedingungen mit Fragestellungen über aerobe und/oder anaerobe Abbauewege, Grad der Abbaubarkeit, Milieubedingungen, Metabolismen, Störeffekte durch Konkurrenz, Hemmstoffe, anwesende leichter abbaubare Stoffe usw.,
- die verfahrenstechnischen Vorgänge des Stoffüberganges, ob und wie die Kontamination für den mikrobiellen Prozeß verfügbar gemacht werden kann (Fragestellungen über Stoffverteilung, Benetzbarkeit mit wäßrigen Lösungen, Löslichkeit, maximale Konzentrationen, oberflächenaktive Hilfsstoffe usw.).

Von vielen Autoren (u. a. FILIP et al., 1987) wird derzeit die Auffassung vertreten, daß kompakte Abfallkörper sowie undurchlässige, hochgradig kontaminierte Böden einer mikrobiologischen „in situ“-Dekontamination nicht zugänglich sind und mit vertretbarem Aufwand auch nicht zugänglich gemacht werden können. Die biotechnische Dekontamination ist bisher eine typische Maßnahme zur Sanierung organischer niedrig kontaminierter Untergrundmatrizes, z. B. 1% Mineralöl im Boden, gelöste Kohlenwasserstoffe im Grundwasser.

**599.** Zur Klärung der mikrobiologischen und verfahrenstechnischen Fragen, aber auch zur Klärung unerwünschter Nebenwirkungen auf die Umwelt sind ausführliche Laboruntersuchungen sowie Feldversuche im Rahmen der Sanierungsuntersuchung für die Machbarkeitsstudie durchzuführen. Hierbei ist auch festzustellen, ob sich Stoffe im zu behandelnden Erdreich bzw. Grundwasser befinden, die nicht abbaubar sind oder den Abbau inhibieren. Diese Ergebnisse entscheiden sehr oft, ob der Einsatz mikrobiologischer Verfahren überhaupt sinnvoll ist. Positive Ergebnisse



der Vorversuche können den Sanierungserfolg jedoch nicht garantieren (ARENDE et al., 1988; PÜTTMANN, 1988). Zu diesem Problem des „scale-up“ kommt noch ein analytisches. Bestimmte Analysemethoden (z. B. H 18 nach DEV) können einen Totalabbau vortäuschen, weil zum Beispiel die Metaboliten vor der Bestimmung abgeschieden werden. Die oft bakterientoxischeren Metaboliten, die den weiteren Abbau blockieren können, werden nur mit anderen, zum Teil aufwendigeren Methoden (GC/MS) erfaßt. Die gesetzlich vorgeschriebene Anwendung der breit akzeptierten DEV-Methoden darf nicht dazu führen, daß systematische Fehler produziert werden.

**600.** Die mikrobiologischen Fragestellungen beziehen sich neben der Abbaubarkeit (Tz. 603ff.) auf die Metabolisierung bzw. den Charakter der Abbauvorgänge, die aus einer Vielzahl miteinander eng vernetzter biochemischer Redoxreaktionen als Einzelreaktionen bestehen. Die Abbaureaktionen hängen von der Zusammensetzung der Organismengemeinschaft (Biozönose) ab, die ihrerseits von den Milieufaktoren Wasser-, Sauerstoff- und Nährstoffgehalt, Temperatur, pH-Wert sowie Redoxpotential gesteuert wird (KÄMPFER und DOTT, 1988).

**601.** Die Machbarkeitsstudie sollte die hier ange deuteten Zusammenhänge auf die Steuerbarkeit des Prozesses mit Ziel der vollständigen Mineralisierung aufklären. Dabei ist die Kenntnis des Abbauweges und dessen Beeinflussbarkeit, der Metabolismen sowie möglicher Hemmreaktionen von entscheidender Bedeutung. Nach KANNE (1987) und WICHERT (1989) sind es die Faktoren Bodenfeuchtigkeit, Form des Sauerstoff-Eintrags, Temperatur, pH-Wert sowie Schadstoffkonzentration in der wäßrigen Phase (Biofilm), die auf ihre Steuerungsfunktion hin überprüft werden müssen. Bei nicht allen Faktoren kann unter „in situ“-Bedingungen regelnd eingegriffen werden; eine Optimierung der prozeßbeeinflussenden Parameter ist an ausgekoffertem Erdreich – in Mieten oder Reaktorbehältern – leichter möglich (s. auch Tz. 609f.).

**602.** Am Abbau eines Stoffgemisches sind unter natürlichen Bedingungen zahlreiche Mikroorganismenarten mit verschiedensten Mechanismen und unterschiedlicher Spezifität beteiligt (KUTZNER, 1987), wobei die am Standort natürlich vorhandene, sog. autochthone Mikroflora auf ihre Zusammensetzung, Lebensfähigkeit und Abbauleistung hin besonders überprüft werden muß (HANERT, 1986). Es handelt sich um komplexe, derzeit oft noch weitgehend undurchschaubare Systeme.

In der Praxis werden aerob wirkende Bakterien favorisiert. Durch erfolgreiche Beschleunigung des aeroben Abbaus (Oxidation) kann der Sauerstoffvorrat im Boden verbraucht werden. Es besteht dann die Gefahr eines reduzierenden Milieus mit Sauerstoffmangel, in dem strikt aerobe Mikroorganismen nicht überleben und dann anaerobe Prozesse mit ganz anderen Reaktionen bzw. Produkten ablaufen (SCHMIDT und SCHÖTTLER, 1985). Es laufen auch Verfahrensentwicklungen, anaerobe Abbaubedingungen in speziellen Bioreaktoren gezielt herzustellen und aufrechtzuerhalten (SOCZÓ und STAPS, 1988).

#### Abbaubarkeit der Schadstoffe

**603.** Anhand einer großen Zahl von Untersuchungen über die mikrobiologische Abbaubarkeit verschiedener Schadstoffe kommen der „Statusbericht zur Altlastensanierung 1988“ (ACHAKZI et al., 1988) sowie FILIP et al. (1989) zu dem Schluß, daß die Mehrzahl der Stoffe in folgenden Stoffgruppen im wesentlichen auf aerobem Wege im Boden abbaubar sind:

- Cyanide einfacher Struktur (komplexe Cyanide sind nicht abbaubar)
- Nitril-Verbindungen, z. B. Acetonitril
- kurzkettige n-Alkane, z. B. n-Dekan
- einfache Cycloalkane, z. B. Cyclohexan
- einfache aromatische Kohlenwasserstoffe, z. B. Benzol, Toluol, Xylole, Ethylbenzol, Styrol, Naphthalin
- einfache Phenole, z. B. Phenol, Kresole
- einige Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe
- einige einfache CKW, z. B. Dichlormethan.

Der Abbau von Kohlenwasserstoffen kann durch die Anwesenheit von Schwermetallen jedoch blockiert werden (RIPPER und RISS, 1988). Kurzkettige bzw. einfache mineralöl- und kohlestämmige Kohlenwasserstoffe werden im allgemeinen als leicht abbaubar eingestuft (GEBHARDT, K.-H., 1987 und 1988; GOLWER und WALLHÄUSSER, 1985; RISS et al., 1988). In einem laufenden Sanierungsprojekt (Gaswerk Krefeld) wird die mikrobielle Zersetzung von PAH durch autochthone Mikroorganismen aktiviert; für diese „on site“ durchgeführte Dekontamination wird ein Zeitbedarf von ca. einem Jahr veranschlagt (FLEISCHMANN, 1988). Nach VALO und SALKINOJASALONEN (1988) endet der Kohlenwasserstoff-Abbau oft bei wachsartigen Metaboliten, die mit Humuspartikeln schwer zerstörbare Komplexe bilden können.

Tabelle 4.8 listet kohlenwasserstoffabbauende Mikroorganismengattungen auf. NICHOLAS (1987) engt diese Vielfalt dahingehend ein, daß von den ca. 40 Bakterienarten, die organische Umweltschadstoffe abbauen können, nur wenige eine praktische Bedeutung erlangen können, weil die Mehrzahl der befähigten Arten zu geringe Abbaugeschwindigkeiten aufweist.

**604.** Die für kokereispezifische Altlasten typischen polycyclischen Aromaten (PAH), weiterhin Chlorphenole, Nitrophenole und besonders die höhersubstituierten chlorierten Aromaten (PCB, PCDD/F) sowie weitere naturfremde Stoffe sind normalerweise weitgehend persistent. Nach ACHAKZI et al. (1988) werden sie selbst unter optimalen Abbaubedingungen von natürlichen Mikroorganismen nur sehr schwer und dann nur in sehr langen Zeiträumen biologisch abgebaut.

**605.** Es gibt jedoch neuere Hinweise, nach denen der mikrobielle Abbau solcher Verbindungen durch adaptierte natürliche oder genmanipulierte Mikroorganismen in relativ kurzer Zeit, meist unter optimalen Bedingungen, z. B. im Labor, gelingen soll:

- 2,4,5-Trichloressigsäure (2,4,5-T), chlorierte Dioxine, niedrigchlorierte Biphenyle, Polychlorphe-

Tabelle 4.8

**Kohlenwasserstoffabbauende  
Mikroorganismengattungen in Böden**

(ohne Angaben von den wirksamen  
Arten bzw. Stämmen)

A) Algen	
Prototheca	
B) Bakterien	
Achromobacter	Methanomonas
Acinetobacter	Methylococcus
Actinomyces	Micrococcus
Aeromonas	Microcystis
Alcaligenes	Micromonospora
Arthrobacter	Mycobacterium
Azotobacter	Nocardia
Bacillus	Proteus
'Bacterium'	'Pseudobacterium'
Brevibacterium	Pseudomonas
Caulobacter	Sarcina
Chromobacterium	Serratia
Clostridium	Sphaerotilus
Corynebacterium	Spirillum
Cytophaga	Streptomyces
Desulfovibrio	Thiobacillus
Erwinia	Vibrio
Flavobacterium	Xanthomonas
Hyphomicrobium	
Leptothrix	
Methanobacterium	
C) Hefen und Pilze	
Absidia	Cunninghamella
Acremonium	Cylindrocarpon
Aspergillus	Debaryomyces
Beauveria	Dematium
Botrytis	Endomyces
Candida	Epicoccum
Cephalosporium	Fusarium
Chaetomium	Geotrichum
Cloridium	Gliocladium
Chrysosporium	Graphium
Cladiosporium	Hansenula
Claviceps	Helicostylum
Cochliobolus	Helminthosporium
Colletotrichum	Humicola
Cryptococcus	Monilia

Quelle: AARTEN et al., 1987; ergänzt nach KÄMPFER und DOTT, 1988

nole durch genmanipulierte Bakterien (s. CHAKRABARTY, 1985 und 1986) und durch adaptierte Pseudomonas-Bakterien (BMFT-Projekt FKZ 0318896 A/8, s. BMFT-Journal Nr. 2/April 1989, S. 16)

- Pentachlorphenol durch das Dehalogenase-Enzym adaptierter Bakterien, wobei jedoch die Bildung toxischer Chloranisole möglich ist (s. OTTO, 1988
- Demonstration eines BMFT-Forschungsprojek-

tes auf der ACHEMA '88; VALO und SALKINOJA-SALONEN, 1988)

- leichtflüchtige CKW-Lösungsmittel sowie schwerflüchtige Chloraromaten und PAH durch adaptierte Bakterien (s. HANERT, 1989, pers. Mitt.; HANERT et al., 1987)
- HCH-Isomere durch adaptierte Bakterien im Bodenschlamm, in Bioreaktoren (BACHMANN und ZEHNDER, 1988)
- Phenole durch genetisch manipulierte Pilze (WÖSTEMEYER, 1987)
- 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT) und TNT-Produktionsrückstände durch adaptierte Bakterien (s. NEUMEIER et al., 1989).

Trotz dieser erfolgversprechenden Ansätze kann mit einem baldigen Einsatz dieser Verfahren in technischem Maßstab noch nicht gerechnet werden.

**606.** Der Einsatz standortfremder (allochthoner) und besonders der von genmanipulierten Mikroorganismen ist umstritten (FILIP et al., 1987 und 1988; TNO/BMFT-Altlastenkongreß 1988, s. WOLF et al., 1988), da sie entweder für entbehrlich (KANNE, 1987) oder wenig wirksam gehalten werden oder weil ihre Langzeitwirkungen noch nicht abschätzbar sind. Solange die ökologischen Fragen nicht beantwortet und Risiken nicht zuverlässig abgeschätzt werden können, lehnt der Rat den Einsatz gentechnisch veränderter Mikroorganismen im Freiland ab.

**607.** Eine andere Neuentwicklung basiert auf der Verwendung von Weißfäulepilzen auf dem Substrat Stroh im „on site“-Betrieb (HÜTTERMANN und TROJANOWSKI, 1986). Die Weißfäulepilze, die die Zellulose des Strohs als Kohlenstoff-Quelle benutzen, können komplizierte aromatische Verbindungen des Lignins unspezifisch und vollständig mineralisieren. Diese Eigenschaften sollen für die Mineralisierung schwer abbaubarer aromatischer und chloraromatischer Verbindungen nutzbar gemacht werden. Laufende Untersuchungen sollen den Weg und den Grad der Mineralisierung bzw. die Frage der Zwischenprodukte klären (HÜTTERMANN et al., 1988 und 1989).

**608.** Es ist offensichtlich, daß die meisten natürlichen Stoffe des Stoffkreislaufes relativ leicht abgebaut werden, während eine Reihe von Stoffen, besonders solche anthropogenen Ursprungs, persistent ist, und diese von derzeit bekannten Mikroorganismen nur sehr schwer abgebaut werden können.

Der Umstand, daß eine Anzahl solcher für persistent gehaltenen Stoffe durch adaptierte Mikroorganismen oder bei Einhaltung ganz bestimmter Verfahrensbedingungen doch abgebaut und mineralisiert werden kann, gibt Anlaß, Grundlagenarbeiten und Verfahrensentwicklungen zu fördern. Von diesen Forschungen können Fortschritte erwartet werden.

Zur Durchsetzung und Einführung mikrobiologischer Prozesse ist jedoch vor allen Dingen eine bioverfahrenstechnische Entwicklung notwendig. Zur Zeit fehlt

es an einer interdisziplinären Zusammenarbeit, um die mikrobiologischen Vorgänge richtig in die Praxis übertragen zu können (s. auch REHM, 1989).

#### Verfahrenstechnische Fragen

**609.** Die verfahrenstechnischen Fragestellungen beschäftigen sich mit den Vorgängen des Stoffüberganges und der Prozeßoptimierung. Zur Prozeßplanung ist die Kenntnis der mikrobiologischen Grundlagen des Prozesses unerlässlich. Die Umwandlungsrate der Schadstoffe wird bei den in Frage kommenden Metabolismen durch die Ausgangskonzentration der Schadstoffe, die Sorptionsneigung, die Induktion und Vermehrungsrate der abbauenden Mikroorganismen sowie durch die allgemeinen Milieubedingungen bestimmt. Daraus ergeben sich verfahrenstechnische Forderungen für einen technischen Prozeß:

- Schaffung optimaler Lebensräume, die durch Besiedelbarkeit, Flächenstruktur, Verteilung und Zerkleinerungsgrad bestimmt sind
- Schaffung von Milieufaktoren für optimales Wachstum, die von Wasser-, Wärme-, Nährstoff-, Sauerstoffhaushalt beeinflußt werden
- Anpassung an die gegebenen Schadstoffkonzentrationen, Vermeidung wachstumshemmender Konzentrationen und Zumischung von Stoffen, die Abbaureaktionen begünstigen
- Sicherung des Stoffüberganges zwischen Organismen, organischer Schadstoffphase und anorganischer Nährlösung sowie Gasphase durch Stoffverteilung/Homogenisierung, Kapillareffekte, eventuell Lösungsvermittler, Emulgator und durch Gewährleistung ausreichender Gaspermeabilität
- Verkürzung der latenten Phase, „lag-phase“, des Wachstums durch Animpfen oder Stoffrückführung
- Gewährleistung der Kontrollierbarkeit des Abbauvorganges zur Feststellung der Umweltauswirkungen (Prozeßüberwachung) inklusive Abluft- und Sickerwasserkontrolle
- Gewährleistung der Steuerbarkeit.

**610.** JAGER et al. (1988) folgern daraus, daß diese Kriterien der Verfahrenstechnik generell stärker als bisher im Vordergrund der Sanierung stehen sollten. Durch eine gründliche Durchmischung und damit Homogenisierung von kontaminiertem Erdreich mit den Prozeß- und Hilfsstoffen lassen sich wichtige Voraussetzungen für die mikrobiologische und verfahrenstechnische Steuerbarkeit schaffen. Daraus folgt, daß ohne diesen Verfahrensschritt keine befriedigenden Sanierungsergebnisse erwartet werden können. Das bedeutet, daß die biologische „in situ“-Sanierung nur dann zum Erfolg führt, wenn diese Voraussetzungen vorhanden sind. Es hat sich gezeigt, daß neben der ausreichenden Versorgung einer leistungsfähigen Mikroflora mit Nährstoffen die lokale Sauerstoffversorgung meist der limitierende Faktor beim aeroben Abbau ist (GEBHARDT, K.-H. und MATT, 1989). Dem

Eintrag des Sauerstoffs in Form von freiem oder chemisch gebundenem Sauerstoff kommt deshalb zentrale Bedeutung zu (KANNE, 1987).

#### Verfahrenskonzepte und ihre Bewertung

##### – „On site“/„off site“-Verfahren

**611.** Mikrobiologische „on site“/„off site“-Sanierungsverfahren werden großtechnisch für die Behandlung leicht abbaubarer Verbindungen – hauptsächlich bei Mineralölschäden – angewandt (FRANZIUS, 1988). Die kontaminierten Massen werden ausgehoben und „on site“ oder eventuell in den „off site“-Sanierungszentren zu Mieten („Biobeet“) aufgesetzt. Der Boden wird hierzu mechanisch voraufbereitet, mit Hilfs-, Nährstoffen, autochthonen oder allochthonen Bakterienkulturen sowie mit Wasser versetzt, belüftet oder direkt mit Sauerstoff begast. Es wurde vorgeschlagen, daß das Gemisch in einer beheizbaren-belüftbaren Rottetrommel behandelt werden soll („Altlastenkompostierung“, s. JAGER et al., 1988; KINNER, 1988). Normalerweise wird das so vorbereitete Material auf einem abgedichteten Planum aus Kies und Sand gelagert, befeuchtet und belüftet (Abb. 4.15). Das Lager sollte überdacht und beheizbar sein, und die mit der Belüftung ausgetriebenen leichtflüchtigen Komponenten sollten in Filtern abgeschieden werden. Die Stripping-Effekte der Belüftung können durch die Zufuhr reinen Sauerstoffs minimiert werden. Das Erdreich wird meist einige Jahre lang behandelt und während dieser Zeit auch mehrmals umgesetzt, z. B. mit Schaufelbaggern oder Spezialmaschinen. Der Endpunkt der Sanierung muß abgewartet und durch Kontrolluntersuchungen bestimmt werden; er kann nur grob vorausgesagt werden.

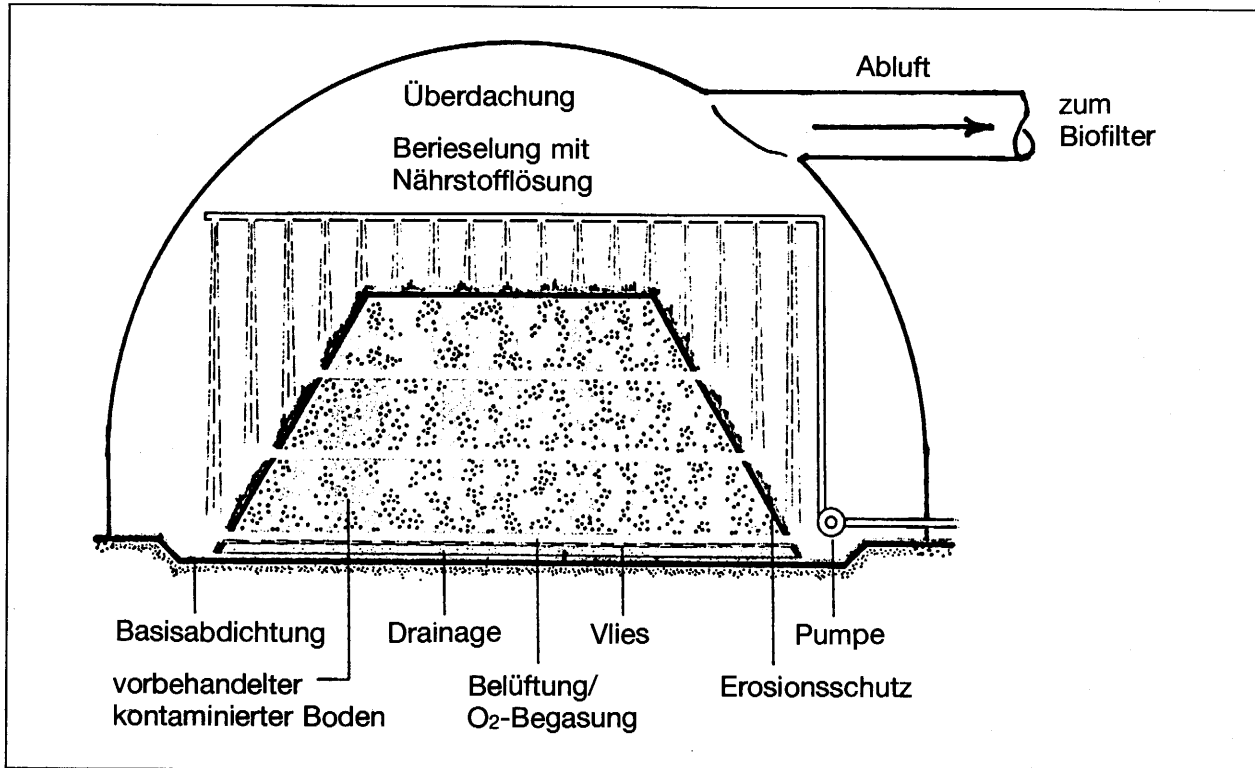
##### – Bewertung der „on site“/„off-site“-Verfahren

**612.** Die kommerziell verfügbaren Lösungen unterscheiden sich im wesentlichen in der Auswahl der Mikroorganismen sowie in der Art der Optimierung der beschriebenen Milieufaktoren und Stoffübergangparameter. Die Behandlungskosten hängen stark von vielen ortsspezifischen Rahmenbedingungen, letztlich von der erforderlichen Behandlungsdauer ab. Sie werden mit 150 bis 300 DM/t – bezogen auf 0,1 bis 1% Mineralölkontamination und 1 bis 4 Jahre Sanierungsdauer und ohne Aushubkosten – angegeben. Nähere Angaben sind bei ACHAKZI et al. (1988), FILIP et al. (1989) und FRANZIUS (1988) zu finden. Die „on site“/„off site“-Behandlung von mineralölkontaminiertem Erdreich mit maximal einigen Prozent Kontamination kann bei guter Verfahrensführung als erfolgversprechend und wenig problematisch, jedoch als zeitaufwendig betrachtet werden (ALTMANN et al., 1988).

**613.** Neuere Entwicklungen zielen auf die Erhöhung der Leistungsfähigkeit und letztlich auf Kostensenkung ab. Die Verkürzung der Behandlungsdauer kann durch Beschleunigung des Stoffübergangs mittels Verfahrenskombinationen zu diesem Ziel führen (ALTMANN et al., 1988). Eine dieser Entwicklungen

Abbildung 4.15

## Mikrobiologische „on site“/„off site“-Bodenreinigung in Mieten (Schema siehe Miete)



Quelle: BIENER, 1988, verändert

kombiniert die durch Zugabe von abbaubaren Emulgatoren unterstützte waschextraktive Abtrennung der öligen Schadstoffe, z. B. Mineralölkomponenten, in Intensivmischern mit dem mikrobiologischen Abbau. Der so erzeugte Schlamm wird mit auf hohe Abbauleistung selektierten, adaptierten Bakterien in Bioreaktoren aerob weiterbehandelt. Es wird berichtet, daß Emulgator und Schadstoffe innerhalb von 24 Stunden schon um bis zu 90 % abgebaut sind. Der gewaschene Boden wird anschließend zurückgebaut und gegebenenfalls mit Bakterien und Nährstoffen versetzt, damit ein weiterer „in situ“-Abbau stattfinden kann (PLAMBECK, 1988). Dieses Verfahren hat derzeit seine Grenzen in der Bodenart (Sand, Kies) und im Schadstoffspektrum (leichte Mineralölderivate).

Auch unvollständig ablaufende Abbauvorgänge können bei Verfahrenskombinationen Vorteile erbringen. So kann durch eine 60- bis 80%ige Mineralisierung auf biologischem Wege mit nachfolgenden chemisch-physikalischen Maßnahmen ein hoher Gesamtwirkungsgrad erreicht werden.

#### – „In situ“-Verfahren

**614.** Diese Verfahren zielen auf eine direkte Umwandlung der Schadstoffe im Untergrund ohne Ausräumung ab, indem die Um- und Abbauprozesse im Festbett-Bioreaktor „Untergrund“ beschleunigt und räumlich ausgedehnt werden sollen. „In situ“-Verfahren werden sowohl im ungesättigten Bereich zur Bo-

densanierung als auch im gesättigten Bereich zur Grundwassersanierung eingesetzt. Für beide Varianten gilt es, daß der Maßnahme die Klärung folgender hydrogeologischer, biologischer und chemischer Fragen vorausgehen muß:

- Art der autochthonen Mikroorganismen im Sanierungsgebiet
- Anpassungsfähigkeit der Mikroorganismen an das Milieu
- Veränderbarkeit des Milieus
- Beschaffenheit, Menge und räumliche Verteilung der Schadstoffe im Untergrund
- hydrogeologische Verhältnisse (s. Abschn. 3.5.3.3)
- Ablauf und Beeinflussbarkeit der physikalischen und biochemischen Reaktionen des zu induzierenden Sanierungseffektes unter Langzeitaspekten
- Abschätzung des Risikos der Maßnahme unter Berücksichtigung von Sekundäreffekten, Metaboliten, Betriebsstörungen und methodischen Fehlschlägen
- Ausschluß einer weiteren Beeinträchtigung des Aquifers durch die Sanierung

(nach ACHAKZI et al., 1988). In der Sanierungsuntersuchung und Machbarkeitsstudie muß die Klärung dieser Fragen erfolgen und im Sanierungskonzept umgesetzt werden.

**615.** Da diese Verfahren ohne Störung des Untergrundgefüges arbeiten, sind alle Prozeß- und Hilfsstoffe mit Hilfe von Infiltration (Versickerung), das heißt durch Strömungs- und Diffusionsvorgänge, an den Reaktionsort zu transportieren. Wegen der Sauerstoffarmut tiefer liegender Bodenschichten wird die Zugabe von Sauerstoffdonatoren, vor allem von Nitrat, empfohlen (BATTERMANN und WERNER, 1984; KANNE, 1987; RISS et al., 1988). Die physikalische Voraussetzung für den Stofftransport ist eine Mindest-Durchlässigkeit des Untergrundes, die nur bei sandig-kiesigen Lockersedimenten gegeben ist. Hier gelten die gleichen Grundsätze wie bei hydraulischen und pneumatischen Maßnahmen (vgl. Abschn. 4.3.2.1.2 und 4.3.2.2.3). Neben ausreichender Durchströmbarkeit des Untergrundes gelten die Benetzbarkeit von Boden- und Schadstoffpartikeln sowie eine Mindest-Wasserlöslichkeit der Kontaminanten als weitere wesentliche Randbedingungen für eine erfolgreiche Sanierung. Konzentrierte organische Schadstoffansammlungen wie Öl- oder Teerlinsen sind in ihrem Inneren weder besiedelbar noch durchströmbar (RÜDDIGER, 1987a), wodurch mikrobiologische „in situ“-Sanierungsverfahren an solchen Stellen nicht durchführbar sind (HANERT, 1986).

**616.** Über die physikalischen Voraussetzungen hinaus müssen, soweit nicht vorhanden, ein ausreichender Mikroorganismenbesatz sowie Prozeß- und Hilfsstoffe bereitgestellt werden (HANERT et al., 1987). Zur Verhinderung einer Ausbreitung der Primärkontamination bzw. der zugegebenen Stoffe, die als

Grundwasserschadstoffe gelten (z. B. Nitrat), müssen die Sanierungselemente zu einem Spülkreislauf zusammengeschaltet werden (BATTERMANN, 1987; s. Abb. 4.16). Der Rat weist auf die potentiellen Gefahren hin, die mit dem Eintrag und der Verlagerung von Grundwasserschadstoffen durch diese Verfahrenstechnik einhergehen.

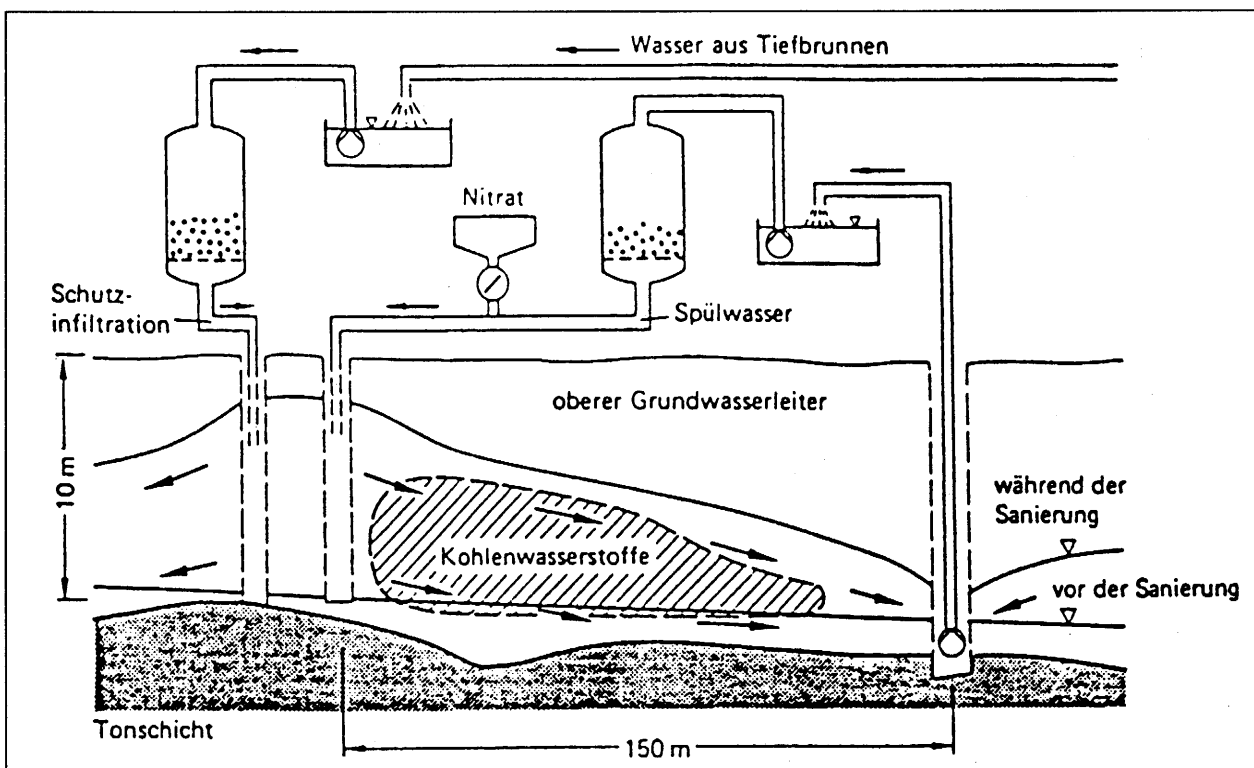
Die marktgängigen Verfahren werden als „Bodensanierung“ für die wasserungesättigte Zone bzw. als „Grundwassersanierung“ für den wassergesättigten Bereich/Grundwasserleiter konzipiert. Auch bei Sanierungen in der ungesättigten Zone ist eine Grundwasserhaltung notwendig, damit einer potentiellen Gefährdung des Grundwassers durch die Verunreinigungen und Hilfsstoffe vorgebeugt wird. Der Prozeß muß überwachbar und bilanzierbar sein (JAGER et al., 1988). Mit der Belüftung durch Luftzufuhr ausgelegene Schadstoffe sollten in der Bilanz nicht als „biologisch abgebaut“ gutgeschrieben werden. Diese Stripping-Effekte der Belüftung können minimiert werden, wenn anstelle des Luftsauerstoffs reiner Sauerstoff zudosiert wird.

– Bewertung der „in situ“-Verfahren

**617.** Nach Einschätzung des Rates fehlt es derzeit bei der mikrobiologischen „in situ“-Bodensanierung an überzeugenden Konzepten und tragfähigen Lösungen. Die vielfältigen Firmenangebote sind bei ACHAKZI et al. (1988) sowie FRANZIUS (1988) zu finden. Es dominiert die Zugabe von Bakterien, Nähr-

Abbildung 4.16

Prinzipskizze eines Spülkreislaufs bei der mikrobiologischen „in situ“-Untergrundsanierung (Kohlenwasserstoffe als Restsättigung im Porenraum)



Quelle: BATTERMANN, 1987

stoffen und Lösungsvermittlern, die das Problem der mangelnden Durchströmbarkeit des Untergrundes jedoch nicht beseitigen kann. Mit massiver Werbung für „Hochleistungsbakterien“ wird oft eine Leistungsfähigkeit des eigenen Verfahrens vorgetäuscht, die unter Feldbedingungen und bei sauberer Massenbilanzierung keineswegs nachzuweisen ist. Nicht selten fehlen Nachweise über die Metaboliten und deren Verbleib.

**618.** Hingegen sind die zur Grundwassersanierung mit Kreislauf konzipierten Verfahren in einem wesentlich fortgeschritteneren Entwicklungsstadium. Die in Tz. 615 genannten Voraussetzungen im Hinblick auf Durchströmbarkeit, Benetzbarkeit oder Wasserlöslichkeit gelten auch hier als Begrenzungsfaktoren. Da im Untergrund das Sauerstoffangebot fast immer ein limitierender Faktor ist, muß Sauerstoff in die tiefen Untergrundschichten durch Begasung oder in gelöster Form eingetragen werden. Dies erfolgt in Spülkreisläufen mit Bodenbelüftung, Ozonung oder anderen Sauerstoffträgern ( $H_2O_2$ , Nitrat). Lösungsvermittler, aber auch Sauerstoffträger können eine unterirdische Verstopfung bewirken, wenn die Intensivierung der mikrobiellen Aktivität zum übermäßigen Biomassezuwachs oder zur Ausgasung von Sauerstoff führt (WERNER und BRAUCH, 1988). Um solchen unerwünschten Nebenerscheinungen vorzubeugen und den Abbauprozess trotzdem zu beschleunigen, wurden Konzepte mit integrierten „on site“-Bioreaktoren entwickelt. Die Kontamination wird durch hydraulische Maßnahmen aus dem Grundwasserleiter ausgespült; der biologische Abbau läuft vollständig in den gut steuerbaren Bioreaktoren ab. Die Grenzen dieses Ansatzes liegen in der Erreichbarkeit und Ausspülbarkeit aller Kontaminationen aus dem Untergrund.

Die Kosten der Sanierung werden für beide Varianten mit 100 bis 200 DM/m<sup>3</sup> Untergrund angegeben, wobei die Preisermittlung sehr unsicher ist.

**619.** Mit Hilfe der biologischen Grundwassersanierung wurden in allen beschriebenen Sanierungsfällen Mineralöle, Benzol, Toluol und Xylol und – seltener – einfache aliphatische Chlorkohlenwasserstoffe nach verschiedenen Konzepten und mit wechselndem Erfolg eliminiert (s. ACHAKZI et al., 1988). Auch die Fallbeschreibungen bei FILIP et al. (1989) sprechen oft von 60% geschätztem Sanierungserfolg. Hingegen soll nach HANERT et al. (1988) ein über 90%iger Reinigungsgrad, zumindest im Laborexperiment, allgemein erreichbar sein. Die oft große Diskrepanz zwischen niedrigen Konzentrationen im Spülwasser und den hohen Restkonzentrationen im Untergrund (WERNER und BRAUCH, 1988) ist offensichtlich der geringen Wasserlöslichkeit und ungünstigen Schadstoffverteilung, z. B. durch Adsorption an Bodenpartikeln, zuzuschreiben, während Abbaubarkeit und Milieubedingungen ansonsten für einen raschen Abbau sprächen.

**620.** Nach den Untersuchungen von HANERT (1986), RÜDDIGER (1987b) und WERNER und BRAUCH (1988) kann festgehalten werden, daß die biologische „in situ“-Sanierung insgesamt nur dann Aussicht auf Erfolg hat, wenn die in Tz. 614 angegebenen Voraussetzungen hinsichtlich Hydrogeologie,

Mikrobiologie, Schadstoffverteilung und Schadstoffeigenschaften vorliegen. Die Nachteile der Verfahren – im Hinblick auf den nicht immer gesicherten Sanierungserfolg – überwiegen derzeit die meist finanziellen Vorteile ihres Einsatzes. Der Rat ist deshalb der Auffassung, daß die „in situ“-Ausführungen der biologischen Sanierungsmethoden auf die wirklich idealen Fälle beschränkt bleiben sollten. Weitere Einsatzmöglichkeiten bieten überbaute Flächen, wenn kein anderes Verfahren eingesetzt werden kann (THEISSEN, 1988), sowie Verfahrenskombinationen, in denen die biologische „in situ“-Sanierung als eine Zwischenstufe eingesetzt wird.

### 4.3.3 Überwachungsaufgaben bei der Altlastensanierung

#### 4.3.3.1 Allgemeine Aspekte

**621.** Die Sanierungsüberwachung muß einen essentiellen Bestandteil der Sanierungsarbeiten bilden, damit der ganze Sanierungsablauf beherrschbar und dokumentierbar wird und auch die Nachsorgeaufgaben erfüllt werden können. Ohne Überwachung kann eine Altlast nicht in einen beherrschbaren Zustand überführt werden.

Die Sanierungsüberwachung umfaßt organisatorisch-operative, kommunikative und meßtechnische Tätigkeiten, die ineinandergreifen müssen. Daher ist es unerlässlich – und heute weitgehend selbstverständlich sowie nach der Gefahrstoff-Verordnung zum Teil vorgeschrieben –, die Überwachung in die Sanierung von vornherein einzuplanen. Sie sollte aber auch bezüglich der Kosten hinreichend berücksichtigt werden, da diese im Extremfall in der gleichen Größenordnung liegen können wie die übrigen Betriebskosten der Sanierungsmaßnahme (EHRIG, 1987).

**622.** Organisatorisch-operative Überwachungsaufgaben beziehen sich auf die Einhaltung einschlägiger Vorschriften und die Erfüllung vertraglich zugesicherter Leistungen. Diese Funktion wird in der Regel von den Genehmigungsbehörden, den Berufsgenossenschaften, von Versicherungen sowie von beauftragten Dritten, z. B. TÜV oder Ingenieurbüros, wahrgenommen. Organisatorische und kommunikative Aufgaben ergeben sich beispielsweise in Notfällen bei der Heranziehung der Polizei, der Feuerwehren, der Rettungsdienste und des Technischen Hilfswerks im Falle von Geländesicherung, Rettung und Evakuierung. Diese organisatorischen Aufgaben sind nicht weiter Gegenstand der Betrachtungen.

**623.** Sowohl die organisatorisch-operativen als auch die kommunikativen Aufgabenbereiche stützen sich weitgehend auf meßtechnisch ermittelte Ist-Werte; dies bedingt eine umfangreiche chemisch-analytische Tätigkeit sowie EDV-gestützte Datenauswertung und Archivierung. Der Meßtechnik kommt somit eine entscheidungsvorbereitende Funktion zu; um diese zu erfüllen, wird hohe Zuverlässigkeit und, wenn möglich, eine Echtzeitauswertung, z. B. zur Alarmsignaleitung, von den Meßgeräten verlangt.

Im Rahmen dieses Gutachtens werden nur die Meß- und Überwachungstätigkeiten im Sanierungsprozess

und in der Nachsorgephase erörtert. Hinsichtlich des Arbeits- und Immissionssschutzes wird auf die Ausführungen in Abschnitt 4.3.2.2 verwiesen. Die Erhebung und Verwendung standortbezogener Wetterdaten kann in allen genannten Aufgabenbereichen relevant werden, wird aber als selbstverständlich betrachtet und nicht weiter behandelt. Als besonders schwere Fälle werden die erhöhte Quecksilberverdampfungsrate durch sommerliche Temperaturen (GANSE, 1988) und die windrichtungsabhängige Bergung von Giftgasmunition (SPYRA, 1988) genannt.

**4.3.3.2 Überwachung des Sanierungsprozesses**

**624.** Die Überwachung einer Altlast vor der eigentlichen Sanierung zwecks Abwehr unmittelbarer Gefährdung wird hier nicht erörtert. Die in Abbildung 4.1 angegebenen Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen werden meist anhand einzelner Messungen oder sensorischer Befunde angeordnet; die unter Umständen bis zum Beginn der Sanierung eingerichtete Zustandsüberwachung unterscheidet sich nicht wesentlich von der üblichen Emissionsüberwachung.

**625.** Die Überwachung der Sanierungsarbeiten sollte sich sinnvollerweise nach der Art der Sanierung (vgl. Abschn. 4.2.1, Abb. 4.1) richten. Aus der speziellen Aufgabenstellung von Sicherung und Dekontamination ergibt sich für die Überwachung der Unterschied, daß sich Sicherungsmaßnahmen langzeitwirksamer Einrichtungen zur Unterbindung von Emissionen bedienen müssen, während die Dekontamination durch die endgültige Beseitigung der Schadstoffe an sich langzeitwirksam ist. Dementsprechend beinhaltet die Überwachung von Sicherungsmaßnahmen unter anderem die Herstellungskontrolle (Qualitätssicherung) sowie die Vorbereitungsmaßnahmen für die im Rahmen der Nachsorge erforderliche langzeitwirksame Überwachung. Bei Dekontaminationsmaßnahmen konzentriert sich die Überwachung auf die Erfolgskontrolle der Maßnahme mittels Überwachung und Steuerung des Prozesses einschließlich der Emissionsüberwachung.

In der Praxis ist die Überwachung der Sanierung auf den jeweiligen Einzelfall abzustellen. In Abbildung 4.17 sind die wichtigsten Meß- und Überwachungsaufgaben stichwortartig angegeben. Im einzelnen kann es sich dabei beispielsweise um die nachfolgend

Abbildung 4.17

Meß- und Überwachungsaufgaben bei der Altlastensanierung



Quelle: SRU

aufgezählten Meß- und Auswertungsaufgaben handeln.

**626.** Bei der Dekontamination sind beispielsweise zu überwachen:

- Prozeßparameter wie Temperaturen, Volumenströme, Dosierung von Hilfsstoffen, Füllstände usw.
- Abnahme der Schadstoffkonzentration im kontaminierten Grundwasser, Sickerwasser oder Boden; Bildung von Metaboliten
- Veränderung der Bindungsform und der Mobilität/Mobilisierbarkeit der restlichen Schadstoffe
- Keimzahlen, Enzymaktivität im Grundwasser und Boden
- Grundwasserentnahme- und -infiltrationsraten, z. B. für den Betrieb von Spülkreisläufen
- Bodenluftentnahmeraten und -konzentrationen
- Abwasser-Parameter, z. B. BSB<sub>5</sub>, CSB, AOX, Salze, Schwermetalle
- Abluft-Parameter, z. B. Schadstoffkonzentrationen, Volumenströme
- Rückstandsmengen und -parameter zur Mengenzu- und -abfuhr
- Zustand der Notaggregate
- Zustand und Verwendbarkeit gereinigter Böden (Bodenbelebungsversuche, bautechnische Prüfungen).

**627.** Bei der Sicherung sind hauptsächlich zu überwachen:

- erfaßte Gas- und Wassermengen als Volumenströme, Förderraten
- Wirksamkeit von Abwehrbrunnen
- Kontaminationsgrad der Förderströme
- Herstellung der Einkapselungssysteme hinsichtlich des Schichtaufbaus, der Dichtwandmassen, der Kunststoffoliennähte, des Toneinbaus und der bautechnischen Ausführung
- Herstellung der Immobilisierungsmasse
- Funktionsfähigkeit fertiggestellter Sicherungselemente.

**628.** Die an dieser Stelle nur kurz angedeuteten Überwachungstätigkeiten führen derzeit zu einer kaum noch überschaubaren Vielfalt von fallspezifischen Lösungen, so daß hier auf die Praxis verwiesen werden muß. Unter Umweltschutzaspekten ist die Rolle einer schnellen, zuverlässigen und leistungsfähigen Überwachung der Sanierung besonders zu beachten.

#### 4.3.3.3 Überwachung in der Nachsorgephase

**629.** In der Nachsorgephase müssen Überwachungstätigkeiten in technischen Bereichen und im Rahmen der Gesundheitsfürsorge durchgeführt wer-

den (s. Abb. 4.17). Der Übergang zwischen Sanierungsüberwachung und Nachsorge ist oft fließend; Teilbereiche der Altlast können fertig saniert sein und in die Nachsorge übernommen werden, während in anderen Teilbereichen noch saniert wird. Bei langandauernden, zum Beispiel „in situ“ durchgeführten, biotechnischen Maßnahmen ist die Grenze zwischen Sanierung und Nachsorge oft nur von verwaltungstechnischer Natur, weil die Sanierung zwar behördlich als „beendet“ erklärt werden kann, der biologische Vorgang dennoch weiterläuft und gegebenenfalls überwacht wird.

Die medizinische Fürsorge erstreckt sich auf die Untersuchung von Beschäftigten und Anwohnern (Abb. 4.17), wenn das tatsächliche Schadstoffpotential dies notwendig macht. Hierzu wird auf die Ausführungen in Abschnitt 4.3.2.2.2 verwiesen.

**630.** Rein theoretisch ist ein mehrmaliges Durchlaufen von Sanierungs- und Überwachungszyklen über Jahrzehnte denkbar, bis der Sanierungsprozeß als beendet erklärt werden kann. In einzelnen Fällen muß die Überwachung auf unbestimmte Zeit weitergeführt werden. Nach derzeitiger Erkenntnis wird auf die Überwachung und gegebenenfalls spätere Reparaturen der Deponie Hamburg-Georgswerder „vermutlich nie“, das heißt in überschaubaren Zeiträumen nicht, verzichtet werden können (WOLF, 1987).

**631.** Ist keine Restbelastung mehr nachweisbar, erübrigt sich eine technische Nachsorge. Wurde die Altlast in Abhängigkeit von der späteren Nutzung nur teilweise dekontaminiert, sind die Mobilität und die Mobilisierbarkeit der Restbelastung sowie die Nutzung zu überwachen, wobei die Intensität und die Dauer der Überwachung fallspezifisch gestaltet werden müssen.

**632.** Demgegenüber gestalten sich die Überwachungsaufgaben nach einer Sicherungsmaßnahme wesentlich vielfältiger, intensiver und auch langfristiger, weil die Kontamination vorhanden ist, auf absehbare Zeit auch verbleibt und die verwendeten Sicherungselemente eine endliche Funktionsdauer aufweisen. Die Überwachung hat das Ziel, die Funktionsfähigkeit des Sicherungssystems sicherzustellen. Dazu gehören im einzelnen:

- Überprüfung der Langzeitstabilität von Bauwerken, z. B. Einkapselungssystemen, Zwischenlagern
- Funktionskontrolle von Sicherungselementen auf einwandfreies Funktionieren bzw. Reparaturbedürftigkeit, z. B. durch Leckagedetektion bei Dichtungssystemen
- Kontrolle der Langzeitstabilität der Immobilisierung
- Emissionsüberwachung
- Wasserstandskontrolle (Einstauwasser) in Altablagern und anderen eingekapselten Bereichen
- Funktionsprüfung redundant ausgelegter Systeme
- Überwachung der Reparatur fehlerhafter Sicherungselemente.



Eine umfassende, intensive und langfristige Überwachung verursacht hohe Kosten, bindet Personal und Mittel. Deshalb wird die Entwicklung wartungsarmer und wenig Kontrolle benötigender Sicherungssysteme gefordert (STIEF, 1988a; vgl. Abschn. 4.3.2.1.3). Diese Lösung muß bereits in der Sanierungsplanung angestrebt werden, damit die Sicherungssysteme zuverlässig, robust und einfach aufgebaut werden. Der Rat weist darauf hin, daß Versäumnisse in der Sanierungsplanung hohe Kosten in der technischen Nachsorge verursachen. Auf lange Sicht muß die inhärente Sicherheit der Sanierungslösung, die wenig Kontrollaufwand erforderlich macht, als Leitlinie der Sanierungs- und Überwachungsplanung gelten.

**633.** Für Deponien wurde versucht, anhand der Mengenbilanzierung orientierende Aussagen über die mögliche Dauer der Emissionsüberwachung zu erarbeiten (EHRIG, 1987). Bei solchen Schätzungen sollte die Erkenntnis berücksichtigt werden, daß sich Altablagerungen als extrem träge Systeme erwiesen haben. Aus bestimmten Bilanzierungsannahmen für die Stofffrachten werden von EHRIG Emissionsdauern für Kohlenstoff auf dem Wasser- und Gaswege von 70 bis 150 Jahren angegeben. Für Organochlor sowie Metalle sind die Zeitspannen nicht absehbar.

Nach der Schlußfolgerung von EHRIG (1987) muß man zur Zeit davon ausgehen, daß „ein Ende notwendiger Kontrollen nicht abzusehen ist“. Bei gesicherten Altablagerungen, wenn zum Beispiel die ein- und austretenden Wassermengen durch Einkapselung verringert sind, erscheint es durchaus möglich, die Kontrollintensität zu vermindern. So können Meß- und Kontrollintervalle wegen der durch die Sicherungsmaßnahme eingeschränkten Mobilität der Stoffe in der Ablagerung problemlos verlängert bzw. der Aufwand für die Behandlung von Emissionen gering gehalten werden. Die Emissionen und die Emissionsminderungsmaßnahmen müssen aber weiterhin kontrolliert werden.

**634.** Der Rat empfiehlt, dieses Gedankengut von EHRIG aufzugreifen und die Stoffbilanzierung als Instrument der Kontrollbedarfsschätzung für Sanierungsfälle weiter zu entwickeln. Voraussetzung dafür ist aber eine Änderung der Betrachtungsweise von den Stoffkonzentrationen hin zu den Stofffrachten, sofern dies möglich ist. Bei bedeutenden Sanierungsfällen, in denen es sich im wesentlichen um Sicherungsmaßnahmen handelt, kann das Ende der Nachsorgekontrollen aus heutiger Sicht jedoch nicht bestimmt werden.

Dies ist auch nicht anders zu erwarten. Nimmt man ähnlich große Bauwerke wie Straßen- und Eisenbahnbrücken, Tunnel oder technische Anlagen wie Schiffe und Chemieanlagen zum Vergleich, erscheinen die regelmäßigen Kontrollen, Reparaturen, Pflege- und Sanierungsarbeiten selbstverständlich (s. auch MESECK, 1987). Auf diese Weise sind entsprechende Einrichtungen schon über 100 Jahre in Betrieb. Unterstellt man, daß die heutigen Werkstoffe besser sind als die alten und sie den größeren Belastungen standhalten werden, kann MESECKs Annahme zugestimmt werden, daß mit den heutigen Baustoffen, zum Beispiel mit Dichtwänden, Zeiträume von mehr als 100 Jahren überbrückt werden können.

**635.** Die Dauer der Nachsorgephase sollte theoretisch aus dem Abklingen der Emissionen zu bestimmen sein. Da aber die Sicherungsmaßnahmen auf die Erfassung bzw. Unterbindung von Stofftransport und Emissionen abzielen, wird die Geschwindigkeit des Stoffaustrages deutlich herabgesetzt; das Abklingen bleibt aus oder wird erheblich verlängert.

Aufgrund der Erkenntnisse aus dem Verhalten ungesicherter Altablagerungen sowie der endlichen Wirksamkeit von bautechnischen Sicherungselementen kommt auch der Rat zu dem Schluß, daß auf die Dauerüberwachung von durch Sicherung sanierten Altlasten nicht verzichtet werden kann.

Zur Nachsorge gehört, daß die Ergebnisse aus den Nachsorgeuntersuchungen langfristig dokumentiert werden, damit auch in fernerer Zukunft keine Standortnutzung vorgesehen wird, die nicht dem Reinigungsgrad entspricht.

#### 4.4 Schlußfolgerungen zu der Sanierung von Altlasten

##### 4.4.1 Allgemeine Forderungen

###### Sanierungsziel

**636.** Sanierungsmaßnahmen sollen sicherstellen, daß von der Altlast nach der Sanierung keine Gefährdung und gegebenenfalls nur beherrschbare, d. h. geringere, bekannte und kontrollierbare Beeinträchtigungen ausgehen, wobei dieses Ziel möglichst kurzfristig erreicht werden sollte. Der Rat versteht unter Sanierung sowohl die Sicherung als auch die Dekontamination. Der Altlastensanierungsbegriff wird wie folgt definiert:

Altlastensanierung ist die Durchführung von Maßnahmen, durch die sichergestellt wird, daß von der Altlast nach der Sanierung keine Gefahren für Leben und Gesundheit des Menschen sowie keine Gefährdung für die belebte und unbelebte Umwelt im Zusammenhang mit der vorhandenen oder geplanten Nutzung des Standortes ausgehen.

**637.** In den meisten Fällen wird es durch Sanierungsmaßnahmen nicht mehr möglich sein, die Kontamination so zu vermindern, daß an Standorten von nachgewiesenen Altlasten künftig jede Art von Nutzung ermöglicht würde. Die vielfach geäußerte Forderung nach Wiederherstellung des Status quo ante oder der Multifunktionalität von Standorten stößt auf naturgegebene, technische und wirtschaftliche Grenzen. Der Begriff Sanierung kann nicht im Sinne von vollständiger „Genesung“, „Gesundung“ verstanden werden.

Die Sanierung von Altlasten muß in ein planerisches Gesamtkonzept eingebunden werden, das auf den jeweiligen Planungsraum mit seinen speziellen Nutzungen abgestimmt ist. Es bleiben jedoch große Unsicherheiten bei der Begründung sowohl einer Sanierungsentscheidung als auch des erforderlichen Sanierungsgrades. Die Entscheidung, welche Restbelastung und welches Risiko als hinnehmbar und welcher Sanierungsgrad damit als ausreichend gilt, kann zwar durch wissenschaftliche Erkenntnisse gestützt wer-

den; sie ist letztendlich aber eine politische Entscheidung. Nach Ansicht des Rates ist es dringend erforderlich, den notwendigen wissenschaftlichen Rahmen für die Entscheidungsfindung zu erarbeiten. Solange dies nicht geschehen ist, wird in der Praxis die Entscheidung über Sanierungsziele vor allem nach pragmatischen Gesichtspunkten vorgenommen werden. Die an den gegebenen Standortverhältnissen und dem vorgesehenen finanziellen Rahmen orientierte technische Machbarkeit fließt in jedem Fall in die Festlegung von Sanierungszielwerten ein. Sie sollte aber als modifizierendes und nicht als primär bestimmendes Kriterium dienen.

#### Art der Sanierung

**638.** Der Rat ist der Auffassung, daß Sicherungsmaßnahmen, die die Emissionswege langfristig unterbrechen, und Dekontaminationsmaßnahmen, die die Schadstoffe in kontaminiertem Erdreich oder Grundwasser bzw. in Abfällen eliminieren, gleichberechtigt sind, wenn hierdurch der Schutz des Menschen und der Umwelt, bezogen auf die entsprechende Nutzung, gewährleistet ist bzw. wenn die Gefährdung, bezogen auf die entsprechenden Schutzgüter und Nutzungen, nicht mehr besteht. Im Hinblick auf einen langfristigen Schutz der Umwelt ist eine Dekontamination dann als höherwertig zu betrachten, wenn hierzu umweltverträgliche Maßnahmen angewandt werden.

Die Anwendung von Sicherungsmaßnahmen ist zum jetzigen Zeitpunkt technisch und wirtschaftlich dann sinnvoll, wenn es an technisch geeigneten und finanziell vertretbaren Dekontaminationsverfahren fehlt oder die Standortgegebenheiten die Anwendung eines verfügbaren Dekontaminationsverfahrens nicht zulassen. Dabei darf nicht vergessen werden, daß Sicherungen von zeitlich begrenzter Dauer sind. Da aber nicht abzusehen ist, ob es in Zukunft mehr Möglichkeiten zur Dekontamination geben wird, ist davon auszugehen, daß Sicherungsmaßnahmen in vielen Fällen, vor allem bei Altablagerungen, langfristige Lösungen darstellen. Sie können aber nur dann die erforderliche Sicherheit bieten, wenn die Sicherungselemente ständig überwacht werden und gegebenenfalls repariert oder erneuert werden können. Die eingesetzten Sicherungselemente müssen sich deshalb durch Langzeitstabilität und durch Reparaturmöglichkeiten besonders auszeichnen.

**639.** Der Rat lehnt die Anwendung der einfachen Umlagerung unbehandelten Materials auf Deponien jeglicher Art als Problemverlagerung in Raum und Zeit im Grundsatz ab, weil nur der Standort, nicht aber die kontaminierten Massen gereinigt werden. In ganz besonderen Ausnahmefällen ist die Umlagerung als standortbezogene Maßnahme allerdings nicht zu umgehen.

#### 4.4.2 Bewertung der Sanierungstechnik

**640.** Für eine Reihe von Altlastentypen ist es gelungen, geeignete Sanierungstechnologien zu entwickeln und in Einzelfällen auch großtechnisch zu verwirklichen. Die Bewertung der Verfahren läßt den

Schluß zu, daß Altablagerungen derzeit im allgemeinen durch Sicherungsmaßnahmen und Altstandorte vielfach durch Dekontamination saniert werden können. Diese allgemeine Strategie sollte durch einzelfallbezogene Entscheidungsmodelle präzisiert werden. Für die einzelfallbezogene Entscheidung wird ein Sanierungskonzept erarbeitet; Grundlage des Sanierungskonzeptes ist die Sanierungsplanung. Die Sanierungsplanung mit der Sanierungsuntersuchung und Machbarkeitsstudie sollte ein unverzichtbarer Bestandteil jeder Sanierungsmaßnahme sein. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie muß die Abschätzung des mit der Sanierung verbundenen Risikos vorgenommen werden. Hierbei müssen alle Verfahrensschritte des Eingriffs und die damit auftretenden Problemverlagerungen behandelt werden.

Schon gegenwärtig gibt es eine Fülle von Sanierungstechnologien, die als Sicherungs- bzw. Dekontaminationsmaßnahme einzusetzen sind, wobei sie untereinander vielseitig kombiniert werden können. Diese Vielfalt macht eine Reihe von Entscheidungen über die geeignete Sanierungstechnologie auf technischer, wirtschaftlicher und politischer Ebene notwendig. Dabei ist auf den verschiedenen Ebenen zwischen allgemeinen strategischen Entscheidungen sowie den Einzelfallentscheidungen zu unterscheiden; in beiden Bereichen muß von Zweck und Ziel der Altlastensanierung ausgegangen werden.

**641.** Allgemeine strategische Entscheidungen sollen sich zum Beispiel mit Grundsätzen für die Art der Sanierung sowie für die Beurteilung der Umlagerung und des Exports befassen. Darüber hinaus gilt es festzulegen, ob in zu schaffenden zentralen Anlagen mit Anschlußzwang zu dekontaminieren ist. Auch ist eine Entscheidung über die Einsatzmöglichkeiten von Dekontaminationsanlagen und ihre entsprechende Zulassung nach den in Betracht kommenden rechtlichen Regelungen zu treffen.

Um den Entscheidungsspielraum und die infrastrukturellen Voraussetzungen für die Einzelfallentscheidungen vorzugeben, sollten die allgemeinen strategischen Entscheidungen auf höherer Ebene vor den projekt- bzw. anlagenbezogenen Einzelfallentscheidungen gefällt werden. Dieser Prozeß ist teilweise im Gange. Die geforderten Vorentscheidungen dürfen jedoch nicht so weit gehen, daß die Besonderheit jedes Sanierungsfalls bei den Sanierungsmaßnahmen nicht mehr berücksichtigt werden kann.

**642.** Dementsprechend müssen die projektbezogenen Einzelfallentscheidungen – über die Vorgabe des Sanierungszieles hinaus – hauptsächlich die Art, den Ort und die Auswahl der Sanierungsmaßnahmen sowie den Finanz- und Zeitbedarf konkret definieren bzw. eingrenzen.

**643.** Es bestehen vielfache Wechselbeziehungen zwischen den aufgezählten Faktoren, die nur aufgrund intensiver Sanierungsuntersuchungen und Machbarkeitsstudien in Form von alternativen Sanierungskonzepten zu berücksichtigen sind. Eine feste Zuordnung von Altlasten zu bestimmten Sanierungstechniken wird im allgemeinen verneint; naturgemäß unterscheiden sich die Konzepte nach Sanierung von Altstandorten und Altablagerungen. Insbesondere für

den letzteren Fall empfiehlt es sich, Anregungen aus dem Multibarrierenkonzept für Neudeponien zu übernehmen.

**644.** Bei den Sicherungsmaßnahmen sollte der Kenntnisstand über die Langzeitwirksamkeit der Sicherungselemente noch deutlich verbessert werden. Dies betrifft unter anderem die Maßnahmen der Schadstoffimmobilisierung und der bautechnischen Einkapselung. Der Rat befürwortet daher den versuchsweisen Einsatz von Verfahren zur Immobilisierung sowie die Entwicklung robuster, wartungsarmer und leicht kontrollierbarer Einkapselungssysteme. Der Einsatz solcher Einkapselungen scheint für die Sanierung großvolumiger Altlasten unverzichtbar zu sein. Alle Sicherungsmaßnahmen sollten spätere mögliche Dekontaminationsmaßnahmen weder be- noch verhindern.

**645.** Bei der Dekontamination sollte die Umweltverträglichkeit der Maßnahmen im Vordergrund stehen. Mit Hilfe geeigneter Strategien sind Schadstoffe aus der Altlast auszutragen bzw. nach Möglichkeit zu zerstören. Verwertbare Materialien und Stoffe sollten einer Verwertung zugeführt werden. Die nicht zerstörbaren Schadstoffe sowie die Umwandlungsprodukte sollten in aufkonzentrierter Form umweltverträglich abgelagert werden. Die Dekontamination trägt zur Erhöhung der Sonderabfallmengen bei; entsprechende Entsorgungskapazitäten müssen bereitgestellt werden. Bei den mit dem Abwasser, dem Rauchgas und der Abluft ausgetragenen Schadstoffen sind grundsätzlich die Vorsorgewerte des Rechts der Wasser- und Luftreinhaltung einzuhalten; die verbleibende Restbelastung muß als „Tribut der Sanierung“ gesellschaftlich hingenommen werden.

**646.** Die Dekontaminationsstrategie sollte vorwiegend für Altstandorte, aber auch für kleinere, unter finanziellen, technischen und toxikologischen Aspekten zu bewältigende Altablagerungen angewandt werden. Altablagerungen mit hoher Toxizität oder mit großen Abfallmengen können mit Hilfe heute vorhandener und bewährter Verfahren noch nicht dekontaminiert werden.

**647.** Bei den einzelnen Verfahren ist in erster Linie ihre Eignung hinsichtlich der Schadstoffe und der Standorteigenschaften zu berücksichtigen. Bei günstigen Rahmenbedingungen – leicht bewegliche oder leicht zerstörbare Schadstoffe und ein überschaubares, einfaches Schadstoffspektrum in bestimmten Bodenarten – ist eine weitgehende Dekontamination der Altlast mit vergleichsweise einfachen Verfahren möglich. Bei ungünstigen Schadstoff- und Bodenverhältnissen wird die Lösung in Verfahrenskombinationen zu suchen sein; weitere Forschungsanstrengungen auf dem verfahrenstechnischen Gebiet sind sinnvoll und geboten. Insbesondere sollte solchen Verfahren der Vorzug gegeben werden, die prozeßtechnisch gut beherrschbar sind, ohne bzw. mit wenig, zumindest bioabbaubaren Zusatzchemikalien auskommen, in das Grundwasser keine zusätzlichen Stoffe eintragen und die Wiederverwendbarkeit des Erdreichs nicht in Frage stellen.

**648.** Der Rat kommt zu dem Ergebnis, daß die vier Grundtypen von Dekontaminationsverfahren, nämlich hydraulische/pneumatische, thermische, che-

misch-physikalische und biologische Verfahren, ihre speziellen Einsatzbereiche haben und in bestimmten Ausführungen auch großtechnisch verfügbar sind. Der Rat favorisiert nach Möglichkeit den „on site“/„off site“-Einsatz der Verfahren, weil sie dadurch ungleich besser steuerbar, kontrollierbar und optimierbar werden. Daneben haben auch „in situ“-Ausführungen ihre speziellen Einsatzbereiche. Wegen ihrer Vielseitigkeit sollten die chemisch-physikalischen, darunter insbesondere die waschextraktiven, und die thermischen Verfahren angewendet werden, vorzugsweise in mobiler oder umsetzbarer Ausführung für den Einsatz vor Ort sowie in stationärer Ausführung in Sanierungszentren.

Die thermische Dekontamination des Erdreichs sollte vorwiegend im Nieder- und Mitteltemperaturbereich durchgeführt werden; freigesetzte organische Schadstoffe sollten jedoch in einer Hochtemperatur-Nachverbrennung thermisch zerstört werden. Die Hochtemperaturbehandlung von Erdreich sollte nur ausnahmsweise, bei der Bewältigung von Spezialfällen, angewandt werden. Der gelegentlich geforderte allgemeine Einsatz sehr hoher Temperaturen ist weder technisch sinnvoll noch energetisch vertretbar. Die Erkenntnisse der Dioxinforschung aus dem Bereich der Abfallverbrennung sind, soweit möglich, auf die thermische Bodenreinigung zu übertragen, damit optimale verfahrenstechnische Kenngrößen wie Temperaturbereiche und Verweilzeiten für die Zerstörung von Primär- und Sekundärschadstoffen angegeben werden können.

**649.** Die verfahrenstechnische Optimierung biotechnischer Sanierungsmethoden wird derzeit bedauerlicherweise vernachlässigt, was zu unsicheren bzw. unbekanntem Sanierungsleistungen führt. Der Rat empfiehlt, die Zusammenarbeit zwischen der biologischen Grundlagenforschung, der Bioverfahrenstechnik und den anderen Ingenieurwissenschaften zu stärken. Im Bereich der mikrobiologischen Dekontamination lehnt der Rat derzeit den Einsatz gentechnisch veränderter Organismen im Freiland ab, solange die ökologischen Fragen nicht beantwortet und Risiken nicht zuverlässig abgeschätzt werden können.

**650.** Den Überwachungsaufgaben bei der Altlastensanierung wird sowohl hinsichtlich der Überwachung des Sanierungsprozesses als auch der Überwachung in der Nachsorgephase erhebliche Bedeutung beigemessen. Die Planung der Überwachung sollte schon in der Sanierungsplanung, insbesondere im Rahmen der Machbarkeitsstudie, beginnen. In der Nachsorgephase ist die Überwachung danach zu gestalten, ob eine Dekontaminations- oder eine Sicherungsmaßnahme vorliegt. Wenn nach einer Dekontamination keine wesentlichen Restbelastungen nachweisbar sind, kann auf die Überwachung verzichtet werden; in anderen Fällen muß auf Dauer sichergestellt werden, daß keine Nutzung erfolgt, die dem Reinigungsgrad nicht entspricht.

Der Rat ist der Ansicht, daß auf die Überwachung von Altlasten, die durch Sicherungsmaßnahmen saniert werden, nicht verzichtet werden kann. Die Intensität der Überwachung sollte von den Ergebnissen der laufenden Kontrolluntersuchungen abhängig gemacht werden.

## 5 Kosten und Finanzierungsbedarf

### 5.1 Monetäre Bewertung von Umweltschäden durch Altlasten

#### 5.1.1 Volkswirtschaftliche Kosten der Schäden durch Altlasten

**651.** Der Rat unterscheidet in der Diskussion der Altlasten

- die Ermittlung von — mehr oder weniger weit gefaßten — Schadenskosten,
- die Berechnung der Kosten, die durch unterschiedliche Maßnahmen induziert werden, und
- Abschätzungen des aus diesen Maßnahmen resultierenden Finanzierungsbedarfs.

Unter „Schadenskosten“ versteht er diejenigen Kosten, die der Volkswirtschaft durch das Vorhandensein von Altlasten erwachsen. Mit „Kosten der Maßnahmen“ sind die für die einzelnen Arbeitsschritte anfallenden tatsächlichen oder durchschnittlichen Kosten gemeint. Der „Finanzierungsbedarf“ bezeichnet schließlich das Gesamtvolumen der von der Volkswirtschaft zu erbringenden geldwerten Leistungen zur Bewältigung der Altlastenproblematik insgesamt oder innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes.

**652.** Es liegen dem Rat keine umfassenden Schätzungen der Kosten vor, die der Volkswirtschaft durch Altlasten entstehen. Der Rat weist, wie schon in den Umweltgutachten 1978 (SRU, 1978, Tz. 1705 ff.) und 1987 (SRU, 1987, Tz. 216) ausführlich dargelegt, darauf hin, daß das Problem der Unsicherheit bei der monetären Bewertung von Umweltschäden (Schadenskosten) auch für den Bereich „Altlasten“ gilt. Lediglich für spezielle Bereiche lassen sich Schadenskostenüberlegungen anstellen. Hier sei auf die im Umweltgutachten 1987 (SRU, 1987, Tz. 226) aufgeführten Literaturangaben für Kosten der Gewässerverschmutzung, Trink- und Brauchwasserversorgung hingewiesen. Für die Wertminderung von Grundstücksflächen durch Altlasten liegen Angaben von SIMON (1986) und WEYERS (1987) vor.

In der von WICKE und JANZ (1988) aufgestellten ökonomischen Schadensbilanz der Bundesrepublik Deutschland werden für die Schadensposition „Altlasten“ sogenannte „rechenbare“ Schäden von über 1,7 Mrd DM pro Jahr angegeben. Eine weitere Aufgliederung ist für die von WICKE und JANZ genannte „rechenbare“ Schadenssumme für den Bereich der Altlasten noch nicht möglich. Bei dem Betrag von 1,7 Mrd DM pro Jahr handelt es sich um die von FRANZIUS (1986) geschätzten Aufwendungen (Finanzierungsbedarf) für die Untersuchung, Sanierung und Überwachung von Altlasten von etwa 17 Mrd DM für einen Zeitraum von 10 Jahren (s. Abschn. 5.5.2).

**653.** Bei der Anwendung von Dekontaminationsmaßnahmen steht den anfallenden Kosten für die

Maßnahmen ein Nutzen gegenüber, der weit in die Zukunft reichen kann. Im Vergleich dazu können Sicherungsmaßnahmen bei kurzfristiger Betrachtung zwar billiger sein; wenn sie aber keine Dauerlösung darstellen und überwacht oder gegebenenfalls erneuert werden müssen, bedeuten sie letztlich die teurere Lösung.

Der Nutzen einer Sanierungsmaßnahme muß daher im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Bilanzierung berücksichtigt werden. Dazu können verschiedene Ansätze in Betracht kommen, zum Beispiel kann der Wert von nicht beanspruchten Freiflächen, von nicht aufzubereitendem Grundwasser usw. aufgerechnet werden. Dekontaminationsmaßnahmen sollten gegenüber Sicherungslösungen durch eine relativ niedrig angesetzte Diskontierungsrate finanziell besser gestellt werden. Hierdurch könnte erreicht werden, daß Dekontaminationsmaßnahmen, die in ihrer Wirksamkeit und demzufolge ihrem Nutzen zeitlich nicht beschränkt sind, ein positiveres Kosten-Nutzen-Verhältnis als Sicherungsmaßnahmen aufweisen.

Allerdings sind die alternativen Lösungsmöglichkeiten für jeden Einzelfall gesondert zu bewerten. Das günstigere Kosten-Nutzen-Verhältnis der Dekontamination kommt überwiegend bei Altstandorten und einigen kleineren Altablagerungen zum Tragen. Bei größeren Altablagerungen ist gegenwärtig eine Sicherung in aller Regel die zu bevorzugende Sanierungsmaßnahme (vgl. Kap. 4.4).

#### 5.1.2 Auswirkungen von Altlasten auf den Grundstücks- und Immobilienwert

**654.** Ergibt sich im Rahmen einer Gefährdungsabschätzung, daß auf einem Grundstück eine Altlast vorhanden ist, so beeinflusst diese Feststellung den Objektwert. Die Altlast ist somit auch eine Kostenlast (REUTER, 1988). Die Wertminderung kann zum Beispiel mit der eingeschränkten Bebaubarkeit bzw. Bewohnbarkeit, mit schlechtem Ruf und — bei landwirtschaftlichen Grundstücken — auch mit Nutzungs- und Anbaubeschränkungen zusammenhängen. Sie kann dazu führen, daß die Immobilie gänzlich unverkäuflich wird. Durch ein Urteil des Bundesgerichtshofs vom 26. Januar 1989 (UPR 1989, S. 179 ff.) wurde eine Stadt verurteilt, den Bewohnern einer ehemaligen Siedlung ihren durch die Überbauung entstandenen „geldwerten Vermögensnachteil“ auszugleichen, der vorwiegend darauf zurückzuführen ist, daß die Stadt einen Bebauungsplan aufgestellt hat, obwohl ihr die frühere Nutzung des Geländes als Deponie bekannt war. Der Bundesgerichtshof hat diese Rechtsprechung in einem Urteil vom 6. Juli 1989 (VersR 1989, S. 961 ff.) fortgeführt und den schutzwürdigen Personenkreis auch auf solche Bauherren ausgedehnt, die Wohnhäuser zum Zwecke späterer Veräußerung errichten. Diese Urteile werden sicherlich eine Signalwirkung haben.

**655.** Immer häufiger wird jetzt auch in Grundstückskaufverträgen auf mögliche Altlasten eingegangen. Üblicherweise wird beim Kauf von Grundstücken die Gewährleistung ausgeschlossen. Die Problematik von möglichen Altlasten nötigt jedoch dazu, ihr durch entsprechende Gestaltung des Vertrages, z. B. Kaufpreis und Gewährleistung, Rechnung zu tragen. Wegen notwendiger Sanierungserfordernisse kann sich der Verkaufswert erheblich vermindern; im Extremfall eines notwendigen Abbruchs und einer Sanierung kann von einem „negativen Wert“ gesprochen werden. Auch sind Wertminderungen benachbarter, selbst nicht verunreinigter Grundstücke durch den bloßen Verdacht einer Verunreinigung nicht auszuschließen.

Der derzeitige Stand der Auswirkungen von Altlasten auf den Grundstückswert kann wie folgt zusammengefaßt werden (WEYERS, 1987):

- Die Auswirkungen von Altlasten auf den Grundstückswert können nur nach genauer Kenntnis des Einzelfalles ermittelt werden.
- Vom nach den üblichen Maßstäben ermittelten Verkehrswert wird ein dem Risiko entsprechender Wertabschlag für das Grundstück vorzunehmen sein. Derzeit liegen hierfür noch keine Preismaßstäbe in Abhängigkeit vom Schadensausmaß vor; in jedem Einzelfall ist durch ein besonderes Gutachten über die Belastung der Böden und des Untergrundes des Grundstückes durch Altlasten das Ausmaß der Sanierungskosten abzuschätzen.
- Kreditinstitute werden wegen der Untergrundbelastung den Beleihungswert unter Anwendung eines Sicherheitsabschlages reduzieren. Die Höhe des Sicherheitsabschlages ergibt sich aus dem mit dem Grundstück oder dem Objekt verbundenen Risiko.

Über entsprechende Fallbeispiele berichten SIMON (1986) und WEYERS (1987 und 1988); der prozentuale Risikoabschlag des Sachwertes (Boden- und Bauwert) wird durch ein Gutachten ermittelt. Nach anderen Auffassungen soll der Grundstückswert bei Vorliegen eines Altlastverdachts sogar „gegen Null“ sinken (DIFU, 1987). Derartige pauschale Feststellungen können jedoch nicht die Basis vernünftiger Kalkulationen sein.

**656.** Die dargestellte Situation kann durchaus privatwirtschaftliche Initiativen auslösen, um durch Sanierungsmaßnahmen die Wertminderung eines Grundstückes zu vermeiden und um Schadensersatzleistungen, Mietausfällen und erhöhten Versicherungsprämien vorzubeugen. Wenn nach durchgeführten Sanierungsmaßnahmen ein negativer Einfluß auf den Grundstückswert weitgehend ausgeschlossen werden soll, können Restkonzentrationen von Schadstoffen nur in der Größenordnung vergleichbarer weiträumiger Hintergrundbelastungen des Bodens bestehen bleiben (ARGEBAU, 1988). Die privatwirtschaftlichen Initiativen können aber auch entscheidend gebremst werden, wenn die Gegebenheiten des Grundstücksmarktes die aufgewendeten Sanierungskosten nicht honorieren. In diesem Zusammenhang sind Regelungen in einzelnen Bundesstaaten der USA, wonach eine Grundstücksveräußerung die Sa-

nierungspflichten von Altlasten auslöst, ein bedenkenswertes Mittel, die Privatinitiative für die Altlastensanierung nutzbar zu machen. Besonders weitgehend ist die Regelung in New Jersey. Danach muß vor der Veräußerung oder Stilllegung eines Industriegeländes oder dem Erwerb der Kontrolle über ein solches Gelände durch Anteilserwerb eine Sanierung erfolgen, außer wenn die zuständige Behörde durch Negativattest bestätigt, daß keine Altlast vorhanden ist. Der Veräußerer ist zur Anzeige verpflichtet; seine Angaben werden vor Ort überprüft, gegebenenfalls wird ein Sanierungsplan aufgestellt. Andere Staaten in den USA sehen keine Veräußerungssperre bis zur Billigung des Sanierungsplans vor, sondern verlangen nur die Vorlage eines solchen Plans durch den Veräußerer. Ziel der Gesetze ist der Schutz des Käufers; sie haben aber auch auf den Umweltschutz bezogene Nebenwirkungen, insofern als sie die Parteien zwingen, die Sanierungskosten zu internalisieren (MILLER, 1988; OLSON, 1987). In der Bundesrepublik können Baugenehmigungsbehörden im Einzelfall durch die Zurückstellung von Baugesuchen bzw. den Erlaß einer Veränderungssperre die veränderte bauliche Nutzung einer Altlast solange unterbinden, bis die Frage der grundsätzlichen Nutzbarkeit geklärt ist (ARGEBAU, 1988). Voraussetzung ist allerdings, daß die behördliche Maßnahme im Zuge der Aufstellung eines Bebauungsplans erfolgt. Eine mehr als vierjährige Veränderungssperre gibt den Betroffenen einen Anspruch auf Entschädigung.

## 5.2 Kosten für Erfassung, Gefährdungsabschätzung und Sanierungsmaßnahmen

**657.** Bei allen Bemühungen um eine Verminderung der durch Altlasten hervorgerufenen Gefährdungen muß die Entscheidung, ob und gegebenenfalls welche Maßnahmen ergriffen werden sollen, durch die allgemeinen Kriterien der Zweckmäßigkeit und der Verhältnismäßigkeit geleitet werden. Bei den Fragen der Verhältnismäßigkeit einer vorgesehenen Altlastensanierung spielt der finanzielle Aufwand im Hinblick auf eine ausgewogene Kosten-Nutzen-Relation bzw. Risiko-Kosten-Abschätzung eine wichtige Rolle (s. Kap. 5.4). Um einen Zielkonflikt zu vermeiden, sollten keine Sanierungsmaßnahmen ergriffen werden, die sich durch hohe Kosten bei vergleichsweise niedrigem zu erwartendem Erfolg auszeichnen. Ein unverhältnismäßig hoher Aufwand für eine Sanierungsmaßnahme würde die Bewältigung weiterer Fälle gegebenenfalls blockieren. Diese Grundsätze sind gerade in einer Zeit knapper werdender Mittel im Kommunalbereich zu beachten. Ziel muß es deshalb sein, die Sanierung mit den geringsten volkswirtschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Mitteln zu erreichen. Hierzu müssen die Kostenschätzungen für alle geeigneten Maßnahmen transparent gemacht werden, um Kostenvergleiche von Alternativen zu ermöglichen. Ein höherer Aufwand bei den Schritten der Erfassung und Gefährdungsabschätzung kann durchaus zu Einsparungen bei den Sanierungsmaßnahmen führen.

**658.** FEHLAU (1986) hat neben einer Zuordnung der Kosten nach dem System des Council on Environmental Quality (1973) eine Kostengliederung nach Arbeitsschritten vorgenommen. In Anlehnung an die Darstellung der Arbeitsschritte, wie sie auch in Kapitel 3.1 beschrieben sind, ist in Tabelle 5.1 die Zuordnung der Kostenbestandteile nach dem Vorschlag von FEHLAU wiedergegeben. Die Relationen der Kosten

Tabelle 5.1

**Auszug aus der Kostengliederung  
nach Arbeitsschritten  
(Teilaufgaben)**

**1. Erfassung**

Kostenbestandteile:

Personal- und Sachkosten, z. B. für Auswertung von Verwaltungsunterlagen und -vorgängen, Erkundung durch Karten- und Luftbildinterpretation, Nachfragen bei der gewerblichen Wirtschaft, Durchführung von Bürgerbefragungsaktionen, Datenaufbereitung, Dokumentation, Herstellung spezieller Karten

**2. Gefährdungsabschätzung****2.1 Erstbewertung**

Kostenbestandteile:

Personalkosten für Prüfung vorhandener Unterlagen und Erkenntnisse

**2.2 Untersuchung und Beurteilung**

Kostenbestandteile:

- a) Personal- und Sachkosten für Vorbereitung, Vergabe, ggf. Anordnung, Begleitung, Auswertung und Beurteilung von Untersuchungen und Gutachten durch die zuständige Behörde sowie für Stellungnahmen durch Fachdienststellen und für die Erarbeitung fachlicher Grundlagen; Personalkosten für die Vorbereitung und Abwicklung der Landesförderung
- b) Kosten der Untersuchung und Begutachtung des einzelnen Falles

**3. Sanierungsmaßnahmen**

Kostenbestandteile:

- a) Investitionskosten, z. B. für Baumaßnahmen, Beschaffung von Maschinen und Geräten, Behandlung an Ort und Stelle, Entsorgung als Sonderabfall
- b) Betriebskosten, z. B. für langfristige hydraulische Maßnahmen, Behandlung von Gasen, Sickerwässern oder sonstigen verunreinigten Wässern oder Bodenbehandlung

**4. Überwachung**

Kostenbestandteile:

Kosten für Geräte, Einrichtung von Meßstellen u. ä.; Personal- und Sachkosten für Begehungen, Probenahme, Laboruntersuchungen, Auswertung u. ä.

der einzelnen Arbeitsschritte können je nach Einzelfall sehr unterschiedlich sein; im allgemeinen führen die Sanierungsmaßnahmen zu den höchsten Kosten.

**5.2.1 Kosten für die Erfassung und Gefährdungsabschätzung**

**659.** Bei der Erfassung überwiegen die Personalkosten, die von den kommunalen Gebietskörperschaften zu tragen sind. Hinsichtlich des verfügbaren Personals ermittelte das Deutsche Institut für Urbanistik in 77 Städten und Landkreisen Ende 1987 im Mittel 2,5 Stellen pro Kommunalverwaltung (FIEBIG und OHLIGSCHLÄGER, 1989).

Auf Landesebene entstehen Personalkosten für Steuerungs- und Koordinierungsaufgaben. Soweit sich Landesbehörden an der Erfassung und Erstbewertung von altlastverdächtigen Flächen beteiligen, treten dort Personalkosten für Erfassung und Erstbewertung auf.

Im Rahmen der Untersuchungen zur Beurteilung der Gefährdungen ergeben sich neben den Personal- und Sachkosten für die Vergabe, Begleitung und Auswertung von Untersuchungen und Gutachten durch die zuständige Behörde noch erhebliche Kosten für die Untersuchungen vor Ort und Begutachtungen durch Untersuchungsstellen und Gutachter.

**660.** Aus den Kostenschätzungen von FRANZIUS (1986) (s. Abschn. 5.5.2) errechnet sich ein durchschnittlicher Betrag von 35 000 DM für die Untersuchung und Bewertung pro altlastverdächtiger Fläche. DAHM (1988) hat Beispiele für die Kosten der Untersuchungen zusammengestellt, wonach die Untersuchung einer ehemaligen Mülldeponie mit einer verhältnismäßig überschaubaren und einfachen Situation rund 54 000 DM kostet. WEYERS (1987) gibt für ein 8 000 m<sup>2</sup> großes Grundstück einer ehemaligen Maschinenfabrik mit Härtereie und Galvanik Kosten für Untersuchungen von rund 50 000 DM an. Bei einem problematischen Fall auf dem Gelände einer ehemaligen Kokerei mit einer Vielzahl von umweltschädigenden Verunreinigungen betragen die Untersuchungskosten rund 187 000 DM, das heißt, sie sind mehr als um einen Faktor 3 größer als bei relativ einfachen Fällen (DAHM, 1988). Nach GÖRGENS (1987) können umfangreichere Untersuchungen auch 300 000 bis 400 000 DM kosten.

**661.** Die allgemeingültige Angabe einer konkreten Obergrenze der Untersuchungskosten für altlastverdächtige Flächen ist wegen der spezifischen Erfordernisse im Einzelfall und wegen des Fehlens überschaubarer Modelle zur Gefährdungsabschätzung nicht möglich. Je nach Ausdehnung, Schadstoffpalette oder einzusetzender Untersuchungsmethodik sind auch Kosten von mehr als 400 000 DM, bezogen auf die einzelne altlastverdächtige Fläche, nicht auszuschließen. Die Kosten relativieren sich, wenn man sie nicht auf den jeweiligen Fall, sondern auf das Volumen der zu sanierenden Altablagerungen oder des verunreinigten Erdreiches an Altstandorten bezieht.

Die oben genannten Kostenangaben machen die Bandbreite des möglichen Umfangs von Untersuchungen zur Feststellung einer Sanierungsnotwendigkeit deutlich.

### 5.2.2 Kosten für Sanierungsmaßnahmen

**662.** Zu jeder Sanierungsmaßnahme gehört die Sanierungsplanung, die oft einen recht beachtlichen Aufwand erfordert. Eine mit Sorgfalt durchgeführte Sanierungsplanung kann enorme Kosten in der Sanierungsphase sparen, da das Risiko kostenträchtiger Fehlentscheidungen erheblich verringert wird. Schließlich müssen auch Kosten für die Herbeiführung der öffentlichen Akzeptanz der geplanten Maßnahme einkalkuliert werden. Diese können Kosten für Mitarbeiterplanstellen und -schulungen, für zusätzliche Gutachten und für Informationsveranstaltungen mit Ortsterminen usw. umfassen.

**663.** In der Praxis finden immer wieder Diskussionen über die Höhe der Kosten für die Sicherung, Dekontamination oder Umlagerung statt. Für verschiedene namentlich genannte Verfahren hat das Ministerium für Umwelt, Raumplanung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen die Kosten zusammengestellt (MURL, 1987). Das „Technologieregister Altlastensanierung“ (Forschungsprojekt „TERESA“) nennt auch firmenspezifische Preisangaben (Fertigstellung: Ende 1989; Zwischenbericht 1988: s. ACHAKZI et al., 1988).

Um eine Übersicht zu bekommen, sind in Tabelle 5.2 anhand von Kostenangaben verschiedener Quellen die Größenordnungen mit den niedrigsten und höchsten Kosten zusammengestellt.

**664.** Die von den Anbietern genannten spezifischen Kosten unterliegen großen Schwankungen, weil verschiedene Rahmenbedingungen unterschiedlich bewertet und kostenmäßig unterschiedlich berücksichtigt werden. Das beginnt schon bei der Bezugsgröße (m<sup>3</sup> oder t Untergrundmaterial usw.); von wesentlichem Einfluß sind die verfahrenstechnischen Lösungen, ihre Kompliziertheit, ihre erforderlichen Arbeitsschutzmaßnahmen, aber auch die Reststoff- bzw. Rückstandsentsorgung. Über die Dauerbelastbarkeit der Anlagekomponenten liegt meist zu wenig Information vor, weshalb eine Umrechnung von Stundenleistungen auf Jahresleistung mit großen Unsicherheiten behaftet und zudem nur bei stationären Anlagen möglich ist. Mobile sowie umsetzbare Anlagen weisen kostenintensive, mobilitätsbedingte Stillstands- und Umrüstungszeiten auf. Die in Tabelle 5.2 enthaltene Zusammenstellung kann daher nur Hinweise auf die Größenordnungen der Kosten geben. Von den verschiedenen Autoren werden zum Teil recht unterschiedliche Angaben gemacht, so daß für einen Kostenvergleich stets die Rahmenbedingungen zu beachten sind (NEUMAIER, 1989).

**665.** Die kostenbestimmenden Einflußfaktoren, die wegen ihrer unterschiedlichen Bedeutung zum Beispiel bei thermischen Verfahren der Dekontamination von Erdreich große Preisunterschiede hervorrufen, sind dem folgenden Überblick zu entnehmen:

Tabelle 5.2

### Beispiele für Größenordnungen der spezifischen Kosten für die verschiedenen Verfahren der Sanierung und Umlagerung

(Zusammenfassung von Literaturdaten der Jahre 1987 bis 1989)

Art der Verfahren	Kostenrahmen
<i>Dekontaminationsmaßnahmen</i>	
direkte thermische Verfahren („on site“)	100 bis 800 DM/t
Extraktions- und Waschverfahren („on site“)	100 bis 350 DM/t
biologische Verfahren	
„in situ“ Verfahren	10 bis 200 DM/t
„on site“ Verfahren	100 bis 300 DM/t
<i>Umlagerung auf Sonderabfalldeponien</i>	100 bis 450 DM/t
<i>Sicherungsmaßnahmen</i>	
Immobilisierungsverfahren	50 bis 200 DM/t
<i>Einkapselungsverfahren</i>	
Oberflächenabdichtung	100 bis 150 DM/m <sup>2</sup>
Dichtwände	90 bis 300 DM/m <sup>2</sup>
Untergrundabdichtung	700 bis 2 500 DM/m <sup>2</sup>

Quelle: Zusammenstellung SRU, nach ACHAKZI, 1988; JUNGWIRTH, 1989; MURL, 1987; NEUMAIER, 1989; STIEF, 1988; WICHERT, 1989

- Eigenschaften des kontaminierten Erdreichs
  - Korngröße, Konsistenz, Feuchtigkeit
  - Art, Menge und Verteilung der Kontamination
  - Verwendbarkeit des gereinigten Bodenmaterials
- anlagen- und betriebstechnische Parameter
  - Komplexität und Größe der Anlage, Platzbedarf, Kapazität
  - Verfügbarkeit und Betriebsdauer, mechanische und thermische Beanspruchung, Verschleiß, Korrosion
  - Bauart (ortsfest oder mobil)
  - Personalbedarf
- Schadstoffminderung und -beseitigung
  - Art und Zahl der Reinigungsstufen
  - Abgasdurchsatz
  - Schadstoffabscheidung und Staubaustrag aus dem System
  - Rückstands-beseitigung
  - Verbrauch von Hilfsstoffen, wie Wasser, Waschflüssigkeiten, Additiven
- Energie-Management
  - Art und Menge der benötigten Zusatzbrennstoffe
  - Temperaturniveaus und Wärmerückgewinnung

- Höhe der Wärmeverluste, Abwärmenutzung
- genehmigungsrechtliche Einflüsse
- Schwierigkeiten und Dauer des Genehmigungsverfahrens
- Umweltschutzaufgaben, ggf. nachträgliche Anordnungen
- Anforderungen an den Arbeitsschutz.

In die Höhe der Kosten geht auch der vorgegebene oder zu erreichende Dekontaminationsgrad ein; diese Abhängigkeit ist verfahrensspezifisch. Hier gilt der allgemeine Grundsatz der Verfahrenstechnik, daß Verunreinigungen in niedrigeren Konzentrationen nur mit stark ansteigenden Kosten zu entfernen sind. Eine 90%ige Schadstoffreduktion kann genau soviel kosten, wie die Erhöhung des Reinigungsgrades beispielsweise von 90% auf 98% und von 98% auf 99%.

**666.** Der Rat geht davon aus, daß die Kostenangaben mit ihren Bandbreiten durch unterschiedliche Randbedingungen, aber auch durch die relativ geringe Zahl von Erfahrungswerten aus der Praxis geprägt sind. Erst mehr Aufträge und die Weiterentwicklung der Verfahren aufgrund der Erfahrungen mit abgewickelten Aufträgen werden mittelfristig eine Konkretisierung der Kosten erwarten lassen. Für Objekte mit gleichartigen Kontaminationen liegen bisher erst Kostenangaben für ehemalige Tankstellengrundstücke vor. WEYERS (1988) gibt hierfür Sanierungskosten mit 150 000 bis 200 000 DM pro Fall an.

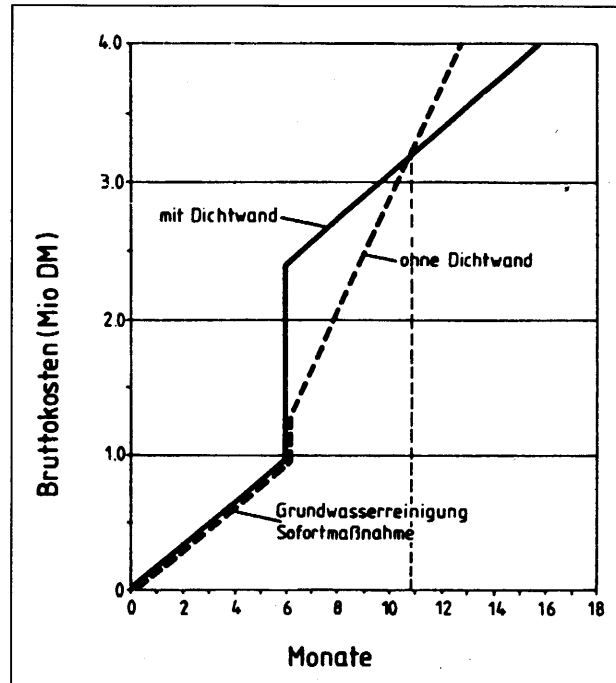
**667.** Für Verfahren in „in situ“-Ausführung lassen sich Kosten nur ungefähr angeben, da nicht nur das zu behandelnde Volumen, das nie genau bestimmbar ist, sondern auch die ortsspezifischen Gegebenheiten, z. B. bodenphysikalische Bedingungen, Umfang und Aufwand im Einzelfall ganz wesentlich beeinflussen.

Aus diesen Gründen liegen für hydraulische und pneumatische Verfahren wenig allgemein verwertbare Kostenangaben vor. Die bisherigen Erfahrungen mit der hydraulischen Sanierung zeigen, daß die tatsächlich abzupumpenden Grundwassermengen, die Schadstoffkonzentrationen im gefährdeten Wasser und die erforderlichen Zeiträume bis zum Erreichen der gewünschten Reststoffgehalte im Grundwasser häufig nicht mit den prognostizierten Angaben übereinstimmen, sondern wesentlich ungünstiger sind (KOOPER und TIMMER, 1988). Die anfänglich vergleichsweise niedrigen Kosten der hydraulischen Maßnahme nehmen wegen der Zunahme von Pumparbeit, Wasserreinigungsmaßnahmen, Verschleiß und durch den Bau neuer Brunnen zu, ohne daß diese Zusatzkosten mit Sicherheit vorausgesagt werden können. Daher ist die Kombination von hydraulischen und bautechnischen Maßnahmen in der Regel auf Dauer kostengünstiger als die eine oder die andere Maßnahme allein.

Abbildung 5.1 zeigt den Kostenvergleich einer hydraulischen Sanierung ohne bzw. mit Dichtwand gegen seitlich zuströmendes Wasser aus dem nahegelegenen Fluß (RIPPER et al., 1988; SCHARPFF et al., 1988). In diesem Fall sollen sich die Investitionskosten

Abbildung 5.1

#### Kostenvergleich ohne und mit Dichtwand



Quelle: RIPPER et al., 1988

für die Dichtwand bereits in 11 Monaten amortisieren, wobei die Kosten für die hydraulische Maßnahme weniger stark ansteigen als ohne Dichtwand.

**668.** Ein weiteres Beispiel für verschiedene Kostenblöcke im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen bildet die Sickerwasserbehandlung. Die Sickerwasserreinigungskosten schwanken nicht nur in Abhängigkeit von der Verfahrenstechnik sehr stark, sondern sie können auch noch innerhalb der gleichen Verfahrenstechnik je nach örtlichen Gegebenheiten zum Beispiel schadstoffbedingten Abweichungen unterliegen.

Für einen Fall mit einer biologisch-chemischen Sickerwasserbehandlung errechnen sich aufgrund der Jahres-Gesamtkosten und des Durchsatzes Kosten von 72,50 DM/m<sup>3</sup> Sickerwasser (SCHMITT, 1985). In einem anderen Fall liegt der spezifische Betrag bei einer physikalisch-chemischen Behandlung aufgrund der Jahreskosten einschließlich der Kosten für die Entsorgung bei 120 DM/m<sup>3</sup> Sickerwasser (GERSCHLER, 1988).

RUDOLPH (1988) macht darauf aufmerksam, daß es sich bei einem sehr großen Teil der laufenden Anlagen, so z. B. zur Deponiesickerwasserbehandlung mit weiterentwickelter Technik, um Pilotanlagen handelt, die sich kostenmäßig durch Besonderheiten wie Zuschüssen und den Einsatz von speziell geschulten Mitarbeitern auszeichnen. Eine sehr detaillierte und auf die langfristige Betrachtung ausgerichtete Kostenaufstellung wird nach RUDOLPH (1988) dringend empfohlen.

**669.** Die für die politische Entscheidung vorbereiteten alternativen Sanierungskonzepte (s. Tz. 476ff.) müssen auch eine Kostenaufstellung enthalten. Unter



den diskutierten Alternativen wird die Umlagerung des Kontaminationskörpers, das heißt eine Entsorgung als Sonderabfall, immer als Vergleich herangezogen, es sei denn, das Volumen einer Altlast schließt diese Maßnahme gleich aus. Dabei orientieren sich die Kosten einer Sanierung vielfach an den bei der Entsorgung auf Sonderabfalldeponien entstehenden Kosten.

**670.** Der Rat lehnt diese Umlagerung im Grundsatz ab (s. Tz. 464). Es muß das Ziel sein, die Deponiegebühren für abgegrabenes kontaminiertes Erdreich entsprechend dem Gefährdungspotential angemessen anzusetzen und die Kosten der Dekontaminationsverfahren zu minimieren, so daß sie im Vergleich zu den Deponiegebühren aus marktwirtschaftlichen Gründen vom Sanierungspflichtigen angenommen werden. Dieses Ziel läßt sich nach LAMPE (1987) durch die Einrichtung von Bodensanierungszentren (s. Abschn. 4.2.2) leichter erreichen, da sich bei entsprechender Jahreskapazität die spezifischen Verfahrenskosten ermäßigen.

So rechnet LAMPE (1987) bei einer Jahreskapazität einer thermischen Anlage von 70 000 bis 100 000 t mit einer Bandbreite der Gesamtkosten von voraussichtlich 150 bis 200 DM/t. Hierin eingeschlossen sind neben der thermischen Behandlung auch die Kosten des Aushubes und Transports von der Entnahmestelle sowie die der Zwischenlagerung und der Rückverfüllung des gereinigten Erdreiches.

Bei einer solchen Preisrelation kann der Gesamtaufwand unter den derzeitigen Kosten für eine Umlagerung auf Sondermülldeponien liegen. Der Rat sieht hier einen entscheidenden Ansatz, die Sanierung ohne Problemverlagerung an einen anderen Ort zu realisieren.

**671.** Je nach Art der Sicherungs- und Dekontaminationsverfahren muß neben Investitionskosten auch mit laufenden Kosten gerechnet werden. Beispiele hierfür sind der Betrieb von Entnahmebrunnen bzw. Infiltrationsbrunnen, das Abpumpen von Flüssigkeiten aus Entwässerungsgräben, der Betrieb von Deponieentgasungsanlagen sowie Überwachung und Wartung. So kann eine Überwachung zum Beispiel Untersuchungskosten für die Grundwasserkontrolle, die jährlich über einen längeren Zeitraum anfallen, umfassen. Einfluß auf den Kostenvergleich hat die Fälligkeit von Zahlungen. Durch die Barwertmethode lassen sich zu unterschiedlichen Zeitpunkten fällige Zahlungen auf einen einheitlichen Zeitpunkt, z. B. für eine Zeitreihe von 50 Jahren, beziehen (LAWA, 1986). Weiterhin sind noch zukünftige Kosten, z. B. für Reparatur oder Ersatz, einzubeziehen. Die nach der Durchführung der Sicherung oder Dekontamination noch möglichen Folgekosten müssen in die Gesamtkalkulation aufgenommen werden, das heißt, in jeder Sanierungsmaßnahme verdienen die Aspekte möglicher ökonomischer Folgewirkungen gesteigerte Aufmerksamkeit (vgl. WAGNER und FICHTNER, 1989).

**672.** Nach einem Hinweis von WESSLING (1988) soll es fallweise möglich sein, Stoffkonzentrate aus der Behandlung von Altlasten als Wertstoffe dem Markt wieder zuzuführen; hierzu könnte auch dekontaminiertes Erdreich gerechnet werden. Die hierbei erziel-

ten Erlöse sind in der Gesamtkalkulation zu berücksichtigen. Um für gereinigtes Erdreich einen Marktwert zu erzielen, wird es notwendig sein, die Verfüllung der sanierten Fläche mit gereinigtem und gegebenenfalls aufbereitetem Erdreich zur Pflicht zu machen.

**673.** Die Gesamtkalkulation einer Sicherungs- oder Dekontaminationsmaßnahme enthält eine große Zahl von Kostenarten. Um entsprechende Alternativen mit ihrem Kostenaufwand vergleichen zu können, sollte nicht nur nach Investitionskosten und laufenden Kosten getrennt werden. Zum besseren Vergleich sollten sowohl für die Investitionskosten als auch für die laufenden Kosten der Sanierungsmaßnahmen Aufschlüsselungen oder Kostengliederungen für die Einzelschritte der Maßnahmen erarbeitet werden, wie diese für wasserwirtschaftliche Vorhaben bereits vorliegen (LAWA, 1986).

### 5.3 Kosten-Wirksamkeits-Betrachtungen

**674.** Bei der Notwendigkeit, immer mehr Altablagerungen und Altstandorte zu untersuchen, ist ein rationeller Einsatz von Mitteln außerordentlich wichtig. Zeitaufwand und Kosten zu vermindern und dennoch eine verwertbare Aussage zu bekommen, ist ein wichtiges Ziel. Ein Weg, dies zu erreichen, ist die Kosten-Wirksamkeits-Betrachtung, bei der es darum geht, die kostenwirksamste Methode zur Ermittlung des Ausmaßes der Gefährdung zu finden. Je nach Beschaffenheit der Altablagerung und der Bodenverhältnisse am Altstandort können zum Beispiel Bodengasanalysen aus den oberen Bereichen der ungesättigten Zone bis 3 m Tiefe unter der Bodenoberfläche kosten- und zeitaufwendige Bodenprobenahmen durch Bohrungen ersetzen. ROSENBLOOM und CARLSON (1988) nennen hierbei Kostenverhältnisse von 1 zu 7,5. Auch die Anwendung von Screening-Methoden im Rahmen der Gefährdungsabschätzung dient diesem Ziel (s. Kap. 3).

**675.** Bei der Festlegung der Sanierungsziele ist der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu berücksichtigen. Die hierbei notwendige Prüfung der Angemessenheit einer Sanierungsmaßnahme sollte sich auf das Verhältnis von Kosten und Wirksamkeit beziehen.

Die Wirksamkeit der technisch möglichen verschiedenen Sanierungsmaßnahmen, die KERN (1986) als Differenz des Risikos vor und nach der Sanierung beschreibt, ist, bezogen auf die vorgesehene Nutzung, mit den Kosten in Relation zu bringen. Das Prinzip dieser Betrachtung zeigt Abbildung 5.2, die sich allerdings auf einen Einzelfall bezieht, bei dem der Aushub des Bodens mit hohen Kosten verbunden war und zugleich bei der Bodenreinigung höhere Schadstoffkonzentrationen akzeptiert wurden.

Aus dem Altlasten-Handbuch des Landes Baden-Württemberg 1988 ist das nachfolgende Beispiel einer Kosten-Wirksamkeits-Betrachtung von in Frage kommenden alternativen Maßnahmen für zwei Altlasten dargestellt (Abb. 5.3).

Abbildung 5.2

Kosten-Wirksamkeits-Analyse einer bestimmten Altlast bei verschiedenen Nutzungszielen (Prinzipiskizze)

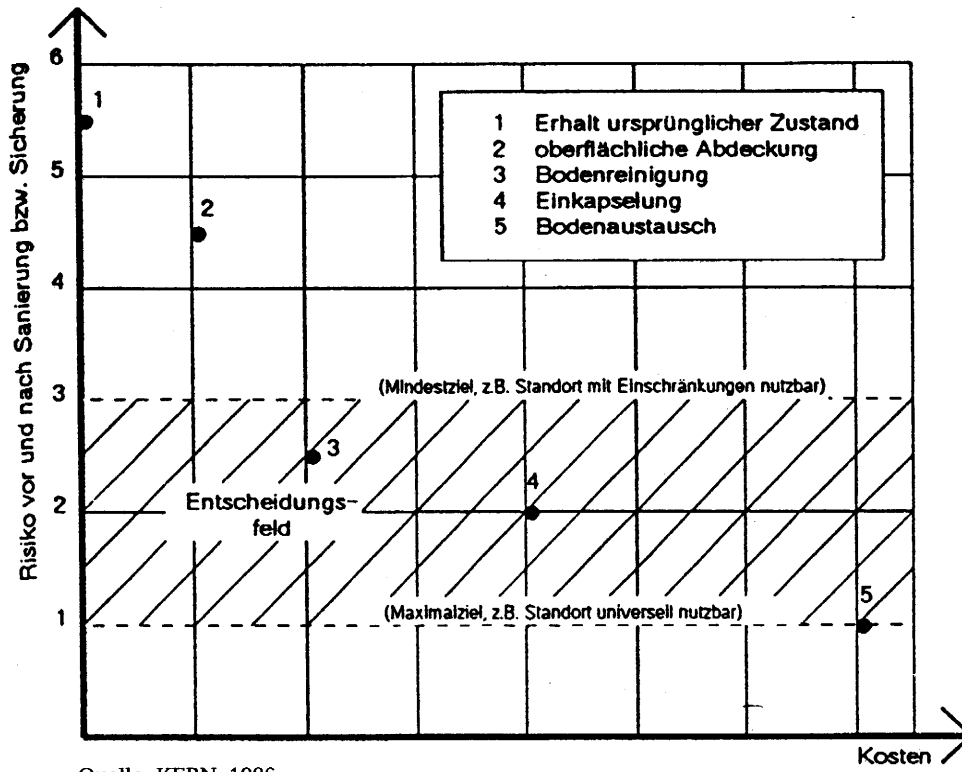


Abbildung 5.3

Kostenwirksamkeit von alternativen Maßnahmen

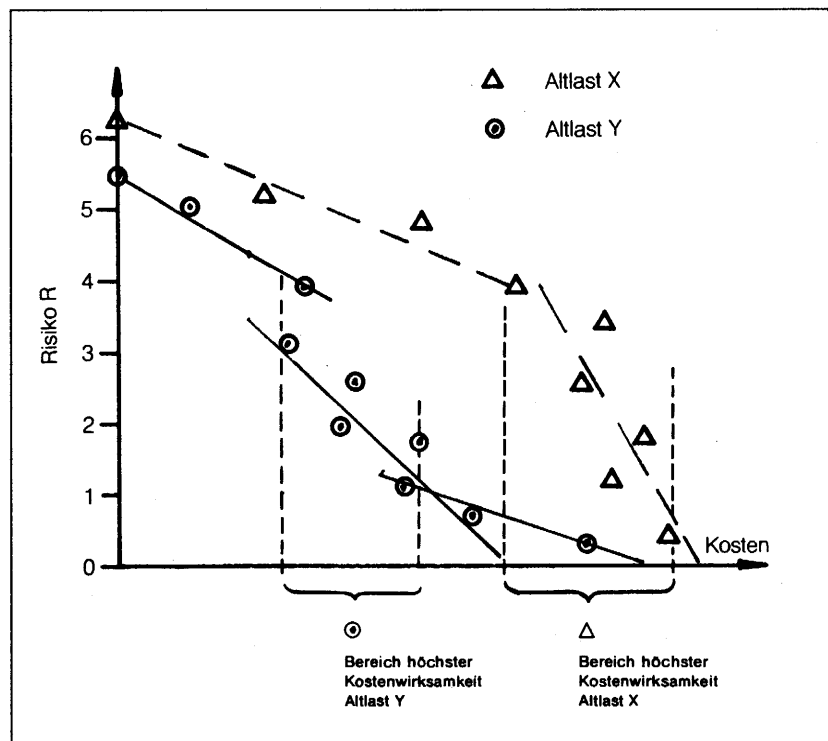
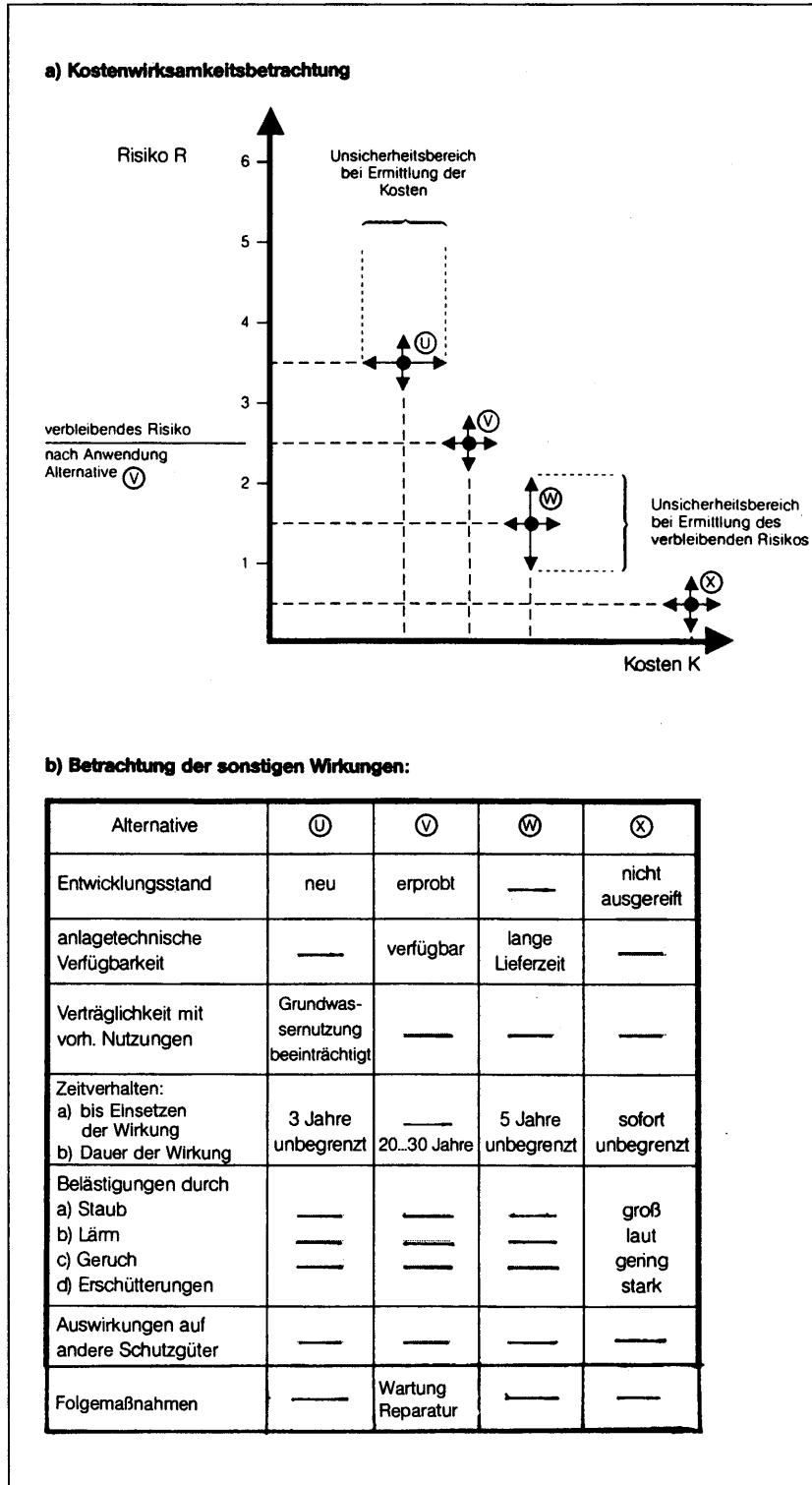


Abbildung 5.4

Beispiel einer Kostenwirksamkeitsbetrachtung bei einer Altlast; alternative Maßnahmen U, V, W, X



Quelle: SRU, nach UM BW, 1988

Der auf der Ordinate aufgeführte Risikomaßstab entstammt dem bei der Gefährdungsabschätzung in Baden-Württemberg angewendeten Bewertungsverfahren (s. auch Kap. 3, Tz. 404 f.), wobei Risiko und Sanierungsgrad voneinander abhängig sind. Der Bereich, in dem sich mit dem geringsten Kostenmehraufwand die höchste Wirksamkeitssteigerung erreichen läßt, ist durch den Bereich mit der am stärksten fallenden Tendenz der Punktfolgen gekennzeichnet.

**676.** Die Wirksamkeit und die Kosten können sehr oft nur ungenau vorausgesagt werden, so daß die Punkte mit Ungenauigkeitsbereichen dargestellt werden müssen. Auch können weitere Einflüsse von großer Bedeutung sein. Das Land Baden-Württemberg (UM BW, 1988) schlägt deshalb bei der Begründung eines Sanierungsvorschlages die in Abbildung 5.4 wiedergegebene Darstellung vor, die neben der Kosten-Wirksamkeits-Betrachtung auch noch die sonstigen Einflüsse einbezieht. Außerdem können noch Betriebssicherheit und Folgekosten des Sanierungsverfahrens, Transportentfernungen sowie die Notwendigkeit von Grunderwerb für die Aufstellung von Anlagen wichtige Kriterien werden.

**677.** Unter der Voraussetzung der gleichen Wirksamkeit, die als Leistung vorgegeben und zwingend zu erbringen ist, können zum Erkennen der Kostenvorteile verschiedener angebotener Sanierungsmaßnahmen untereinander Kostenvergleichsrechnungen durchgeführt werden. Bei einer Bewertung geht die Nutzenseite nicht in den Vergleich ein. Auch werden die nicht in Geld bewertbaren negativen oder positiven Nutzenanteile nicht berücksichtigt. Eine Anleitung zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen findet sich in den entsprechenden Leitlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, 1986). Kosten-Wirksamkeits-Betrachtungen oder Kosten-Vergleichsrechnungen müssen Bestandteil jeder Machbarkeitsstudie im Rahmen der Sanierungsplanung sein.

#### 5.4 Kosten-Nutzen-Analysen

**678.** Der Rat empfiehlt, bei der Aufstellung von Prioritäten für Sanierungsobjekte zusätzlich auch Kosten-Nutzen-Analysen als weitere Entscheidungshilfe einzusetzen (SRU, 1987, Tz. 189).

Zu den Zielsetzungen einer solchen Kosten-Nutzen-Analyse gehört es, unter den einzelnen anstehenden Sanierungsobjekten diejenigen zu erkennen, bei denen ein möglichst großes Nutzen-Kosten-Verhältnis bzw. eine möglichst große Nutzen-Kosten-Differenz erreicht wird. Für das Tätigkeitsfeld der Wasserwirtschaft hat die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) entsprechende Leitlinien zur Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen ausgearbeitet (LAWA, 1979), die derzeit überarbeitet werden. Den Nutzen durch eine schrittweise Verbesserung der Gewässergüte hat KLAUS (1986) dargestellt.

**679.** Für den Bereich der Altlastensanierung mit Nutzungen von Grundwasser und Oberflächenwasser könnte sich ein monetär bewerteter Nutzen, das heißt

Ersparnisse und Vorteile, auf die Wasserversorgung, Gewässerreinigung, Be- und Entwässerung sowie auf Freizeit und Erholung, z. B. fremdenverkehrswirtschaftlichen Nutzen, beziehen.

Darüber hinaus könnten bei einer Altlastensanierung noch folgende Nutzelemente Anwendung finden:

- Erhöhung des Immobilienwertes von Grundstücken, u. a. für Wohnungsbau, Gärtnereien, Baumschulen, Sportanlagen
- höhere Erträge von Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Gartenbau, Fischerei
- Verminderung der Aufwendungen für die Verlagerung von privaten bzw. öffentlichen Einrichtungen auf nicht verunreinigte Flächen (Flächenrecycling).

**680.** Die monetäre Quantifizierung der Wirkungen der durch eine Sanierung erreichbaren Güteverbesserung ist nicht für alle Umweltmedien und alle Schutzgüter im gleichen Maße möglich. So entzieht sich die Verbesserung der Bedingungen für schutzwürdige Biotope weitgehend einer Monetarisierung.

**681.** Die in Tz. 652 beschriebenen Probleme einer monetären Quantifizierung, insbesondere der Nutzen von Umweltschutzmaßnahmen, auf die der Rat auch im Umweltgutachten 1987 (SRU, 1987, Tz. 210 ff.) hingewiesen hat, erschweren bzw. verhindern eine alle Umweltbereiche umfassende Kosten-Nutzen-Analyse. So muß ausgeschlossen werden, daß eine Kosten-Nutzen-Analyse verwendet wird, um etwa die Vorteilhaftigkeit der Altlastensanierung gegenüber anderen umweltbezogenen Maßnahmen zu untersuchen. Hingegen kann sie Anwendung finden, wenn es darum geht, unter verschiedenen Sanierungsobjekten danach auszuwählen, ob ein möglichst günstiges Nutzen-Kosten-Verhältnis erreicht wird. Allgemein muß allerdings berücksichtigt werden, daß aufgrund der Grenzen bei der Erfassung und Bewertung der Nutzen bei einzelnen Schutzgütern eine Überbewertung der Kosten erfolgen kann.

#### 5.5 Zum Finanzierungsbedarf der Altlastensanierung

##### 5.5.1 Aufwendungen in den Bundesländern

**682.** Von einigen Bundesländern liegen Angaben über die zu erwartenden Größenordnungen des Finanzierungsbedarfes für die Gefährdungsabschätzungen und für Sanierungsmaßnahmen vor. Baden-Württemberg rechnet für die Gefährdungsabschätzung mit einem Aufwand von etwa 1 Mrd DM über einen Zeitraum von mehr als 12 Jahren (Landesregierung BW, 1987); Berlin schätzt hierfür einen Betrag von 2 Mrd DM für einen Zeitraum von 20 Jahren (DREISSIGACKER, pers. Mitt. vom 20.09.1988).

**683.** Nach Ermittlungen des Deutschen Industrie- und Handelstages (DIHT, 1989) wird in Niedersachsen für die gesamten Sanierungsmaßnahmen mit etwa 1 Mrd DM in den nächsten 10 bis 20 Jahren gerechnet

und in der Freien und Hansestadt Hamburg mit 1 bis 2 Mrd DM. Das Land Schleswig-Holstein setzt für die Kosten der Gefährdungsabschätzung etwa 30 Mio DM für einen Zeitraum von 5 Jahren an und für Sanierungs- und Überwachungsmaßnahmen mindestens 80 Mio DM innerhalb der nächsten 10 Jahre (MELF SH, 1987).

Es ist dabei zu berücksichtigen, daß diese Angaben nicht ausschließlich durch die Anzahl zu erfassender, abzuschätzender und vor allem zu sanierender Flächen bestimmt wird. Vielmehr bestehen auch Unterschiede in dem Ausmaß, in dem Verursacher zur Finanzierung herangezogen werden können.

**684.** Die Informationsschrift „Gefährdungsabschätzung und Sanierungsmöglichkeiten bei Altablagerungen“ der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA, 1983) enthält eine Fallsammlung von Sanierungsmaßnahmen mit den angefallenen Kosten. Weiterhin liegen Angaben über Kosten für durchgeführte Sanierungen aus Hamburg (FHH-Drucksache, 11/626), aus Niedersachsen (Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 1987), aus einer Umfrage zu Brachflächen und Altlasten im Rahmen des Bundesprogramms der Städtebauförderung vom 28. September 1988 (UBA, 1989, briefl. Mitteilung) und aus einer bundesweiten Umfrage des Deutschen Instituts für Urbanistik in Berlin (DIFU, 1989) vor. MERK (1988), WEBER und WIEGANDT (1988), WEYERS (1987 und 1988), WICKE (1987) berichten ebenfalls über Kosten für Sanierungen. Klassiert man aus diesen aufgeführten Unterlagen die Kosten, so erhält man folgende Zuordnung:

Kostenklasse DM	Anzahl der Fälle
< 250 000	53
250 000 – 500 000	25
500 000 – 1 000 000	13
1 000 000 – 5 000 000	37
5 000 000 – 10 000 000	15
10 000 000 – 20 000 000	10
> 20 000 000	9.

Die Klassierung weist zwei Schwerpunkte auf. Viele der 53 Fälle mit Kosten unterhalb 250 000 DM sind durch einen kleinvolumigen Bodenaustausch gekennzeichnet. Das zweite Maximum liegt in der Kostenklasse von 1 bis 5 Mio DM, wobei rein rechnerisch der Mittelwert dieser Kostenklasse bei rund 2,5 Mio DM liegt.

Diese Größenordnung errechnet sich auch aus den Kostenschätzungen von FRANZIUS (1986) (Tab. 5.3 und 5.4), wobei sich rein rechnerisch ein Durchschnittswert von 2,3 Mio DM pro Sanierungsfall bei Altablagerungen und von 3,7 Mio DM pro Sanierungsfall an Altstandorten ergibt.

Bei der Kostenklasse mit Kosten von mehr als 20 Mio DM handelt es sich unter anderem um die Sanierungsfälle Georgswerder, Münchehagen, Gerolsheim, Bielefeld-Brake und die Altstandorte Pintsch Oel Hamburg und Hanau sowie Chemische Fabrik Marktredwitz.

**685.** Einige Beispiele aus verschiedenen Bundesländern zeigen abweichende Durchschnittskosten:

- Das Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Schleswig-Holstein rechnet für die spezifischen Verhältnisse in diesem Bundesland mit durchschnittlichen Kosten von 1 Mio DM pro Sanierungsfall bei Altablagerungen einschließlich der Kosten für Beobachtungs- und Kontrollprogramme (MELF SH, 1984).
- Laut Sachstandsbericht vom 1. August 1987 zum Altlastenprogramm des Landes Niedersachsen ergibt sich aus 13 Sanierungsfällen mit genaueren Kostenangaben rein rechnerisch ein Durchschnittswert von 0,9 Mio DM pro Sanierungsfall (Landesamt für Wasserwirtschaft Nds., 1987).
- Der Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz von Berlin kalkuliert aufgrund der besonderen Verhältnisse in Berlin für 30 vordringlich zu sanierende Flächen Kosten von nahezu 650 Mio DM (briefl. Mitt., 1988). Hier liegt der rechnerische Durchschnittswert bei etwa 20 Mio DM pro Fall. Derartige Größenordnungen können sich besonders bei Altlasten ergeben, die Wohnbebauung aufweisen, oder bei großen Altablagerungen mit Schadstoffen, die flächenhaft weit über das Gelände verteilt worden waren.
- Eine vom Deutschen Institut für Urbanistik im Auftrage des Umweltbundesamtes durchgeführte bundesweite Umfrage unter dem Titel „Altlasten in der Kommunalpraxis“ im Jahre 1988 (DIFU, pers. Mitt. zu Projekt FKZ: 10703007/02, 1989) führte zu dem Ergebnis, daß in 19 Landkreisen und 59 kreisfreien Städten für die Erfassung und Untersuchung an 60 altlastverdächtigen Flächen im Jahre 1987 54,1 Mio DM und für Sanierungsmaßnahmen an 33 Altlasten 47,5 Mio DM ausgegeben wurden. Für die Sanierungsmaßnahmen errechnet sich ein Durchschnittswert von 1,44 Mio DM, wobei aber für die Hälfte der Altlastensanierungsfälle Beträge unter 175 000 DM erforderlich waren.

#### 5.5.2 Schätzungen des Finanzierungsbedarfs für das Gebiet der Bundesrepublik

**686.** Die Grundlage von Finanzierungsdiskussionen ist eine realistische Feststellung des Finanzierungsbedarfs. Der Finanzierungsbedarf hängt ab von

- der Zahl der altlastverdächtigen Flächen und der Zahl der Altlasten,
- den zu schützenden Umweltmedien und Schutzgütern im Zusammenhang mit der bestehenden, planerisch ausgewiesenen oder sonstwie vorgesehenen Nutzung sowie
- dem zu fordernden Sicherungs- bzw. Dekontaminationsgrad und den notwendigen Überwachungsmaßnahmen.

**687.** Im Hinblick auf den zukünftigen Finanzierungsbedarf stellt sich die Frage, ob die Entwicklung neuer und besserer Sanierungstechnologien zwar die Kosten für die Sanierung einzelner Objekte, aber nicht den gesamten Finanzierungsbedarf beeinflussen wird (WICHERT, 1989).

Tabelle 5.3

**Geschätzte Kosten für die Sanierung und Überwachung von Altablagerungen  
in der Bundesrepublik Deutschland**  
(für den Zeitraum 1986 bis 1995)

Gruppe	Positionen	Anzahl	Kosten in Mrd DM
A	<i>Entlassung aus der regelmäßigen Überwachung nach Erstbewertung (70 %)</i>	21 000	—
B	<i>Untersuchung und Bewertung (30 %)</i> Grundwasseruntersuchungen an mindestens 3 Brunnen pro Altablagerung; Geschätzte Investitionskosten ca. 4 000 DM pro Brunnen, geschätzter Grundwasseranalyseaufwand ca. 3 000 DM pro Analyse. Gas- und sonstige Untersuchungen: Geschätzte einmalige Untersuchungskosten ca. 15 000 DM pro Altablagerung. Geschätzte Aufgliederung nach Endbewertung; je ein Drittel (3 000) in Gruppe A, C, D.	9 000	0,32
C	<i>Sanierung (10 %)</i> (Sofortmaßnahmen, Sanierungsuntersuchung, Sanierungsmaßnahmen wie z. B. Oberflächenabdeckung, Rekultivierung, Entgasung, Untergrundabdichtung, Grund- und Sickerwasserbehandlung, begrenzte Auskofferrung und Beseitigung). Geschätzte Kategorien und Kosten: 150 ( 5 %) zu 20 Mio DM 1 050 (35 %) zu 2 Mio DM 1 800 (60 %) zu 1 Mio DM	3 000	6,90
D	<i>Überwachung (20 %)</i> <i>sanierete Altablagerungen</i> Geschätzte jährliche Überwachungskosten 10 000 DM pro Altablagerung. <i>sonstige überwachungsbedürftige Altablagerungen</i> Geschätzter jährlicher Grundwasseranalyseaufwand ca. 3 000 DM/Altablagerung, geschätzter Deponiegasanalyseaufwand ca. 5 000 DM pro Altablagerung.	6 000 3 000  3 000	0,38
Summe	Altablagerungen		7,60

Quelle: FRANZIUS, 1986

**688.** Weiterhin ist ein Anstieg der aufzunehmenden Sanierungsfälle denkbar, wenn sich das Gefährdungspotential vorhandener Altablagerungen und Altstandorte durch unvorhergesehene Umstände erhöht. Auch strengere Kriterien aufgrund neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse können zu einer Neubewertung des Gefährdungspotentials und danach gegebenenfalls zu einem Anstieg der aufzunehmenden Sanierungsfälle führen. Schließlich kann sich durch schärfere rechtliche Anforderungen im Boden- oder Gewässerschutz die Notwendigkeit einer Sanierung von altlastverdächtigen Flächen ergeben, die aus derzeitiger Sicht als lediglich überwachungsbedürftig gelten.

**689.** Unsicherheiten in der Angabe eines bestimmten Finanzierungsbedarfes sind derzeit auch dadurch gegeben, daß der konkrete Sanierungsbedarf in den einzelnen Ländern noch ermittelt wird (s. Abschn. 1.4.1).

Durch die unterschiedlichen Gegebenheiten in den einzelnen Bundesländern ist es auch sehr schwer, auf

der Basis der bisher durchgeführten Sanierungsfälle repräsentative Kollektive zusammenzuführen und auszuwerten. Hier wirkt sich besonders die regional bedingte Unterschiedlichkeit des Altlastenproblems aus, die eine starke Konzentration altlastverdächtiger Flächen, insbesondere von Altstandorten, in den industriellen Ballungsgebieten erkennen läßt.

**690.** Eine weitere Schwierigkeit bei der Ermittlung des Finanzierungsbedarfes liegt in den Spannweiten der Kosten für die verschiedenen bisher zur Verfügung stehenden Behandlungs- und Herstellungsverfahren (Tab. 5.2) sowie in dem Problem, den Bezug zwischen den einzelnen konkret anstehenden Fällen und den für ihre Sanierung jeweils bestgeeigneten Verfahren herzustellen (WAGNER und FICHTNER, 1989).

**691.** Das Fazit kann deshalb nur sein, daß es sich bei der Ermittlung des möglichen Finanzierungsbedarfes derzeit nur um einen vorsichtigen Versuch der Abschätzung von Größenordnungen handeln kann. Eine solche Quantifizierung für die Bundesrepublik muß

derzeit noch willkürliche Annahmen beinhalten und kann lediglich als Rahmen für die ausstehende Problembewältigung angesehen werden.

**692.** Der erste Ansatz einer vorsichtigen und plausiblen Schätzung der Kosten zur Sanierung und Überwachung von Altlasten im Bereich der Altablagerungen und Altstandorte stammt von FRANZIUS (1986). Für Altablagerungen ging FRANZIUS damals von einer Zahl von rund 30 000 aus. Er setzte voraus, daß 21 000 Altablagerungen nach der Erstbewertung aus der Überwachung entlassen werden und für die restlichen 9 000 Altablagerungen Untersuchungen notwendig werden. Es wird angenommen, daß aufgrund dieser Untersuchungen 3 000 Altablagerungen im Laufe von 10 Jahren saniert und weitere 3 000 überwacht werden müssen. Da auch die sanierten Altablagerungen als überwachungsbedürftig gelten, werden insgesamt 6 000 Altablagerungen der Überwachung unterliegen.

Tabelle 5.3 enthält die den vorgenannten Positionen zugeordneten Kosten, wobei die für die Kostenansätze verwendeten Einheitspreise laut FRANZIUS geschätzte Minimalansätze sind. Die jährlich anfallenden Betriebskosten für Überwachungsmaßnahmen werden als kapitalisierte Kosten für einen zunächst

10-jährigen Überwachungszeitraum angesetzt. Die Sanierungskosten beziehen sich auf die 1986 verfügbaren Technologien, insbesondere Einkapselung und Umlagerung.

**693.** Eine weitere Abschätzung hat FRANZIUS (1986) für die Altstandorte vorgenommen. Er ging damals von 5 000 Altstandorten aus und setzte voraus, daß 4 000 davon untersucht und bewertet werden müssen. Für die Sanierung wurde von 2 400 Standorten ausgegangen; darüber hinaus wurden zusätzlich 1 200 als lediglich überwachungsbedürftig eingestuft. Zusammen mit den sanierten Standorten wurde mit 3 600 zu überwachenden Standorten gerechnet. Tabelle 5.4 enthält die Kosten.

Insgesamt errechnen sich für beide Bereiche zu finanzierende Kosten von rund 17 Mrd DM für den Zeitraum 1986 bis 1995.

**694.** Der Rat ist der Auffassung, daß für den Bereich der Altablagerungen die Anzahl der altlastverdächtigen Flächen und die Durchschnittskosten für eine Sanierung als Bezug und sehr grober Maßstab für eine Schätzung brauchbar sind. Die aus den Jahren 1985 und 1986 stammenden Schätzungen müssen dem neuesten Stand der Erfassung altlastverdächtiger Flä-

Tabelle 5.4

**Geschätzte Kosten für die Sanierung und Überwachung von Altstandorten  
in der Bundesrepublik Deutschland**  
(für den Zeitraum 1986 bis 1995)

Gruppe	Positionen	Anzahl	Kosten in Mrd DM
A	<i>Entlassung aus der regelmäßigen Überwachung nach Erstbewertung (20 %)</i>	1 000	—
B	<i>Untersuchung und Bewertung (80 %)</i> Grundwasseruntersuchungen und sonstige Untersuchungen: Geschätzte Aufwendung wie Altablagerungen Geschätzte Aufgliederung nach Endbewertung: A Entlassung (10 %) 400 C Sanierung (60 %) 2 400 D Überwachung (30 %) 1 200	4 000	0,14
C	<i>Sanierung (48 %)</i> (Sofortmaßnahmen, Sanierungsuntersuchung, Sanierung ähnlich wie Altablagerungen) Geschätzte Kategorien und Kosten: 240 (10 %) zu 20 Mio DM 840 (20 %) zu 5 Mio DM 1 680 (70 %) zu 1 Mio DM	2 400	8,88
D	<i>Überwachung (72 %)</i> <i>sanierte Betriebsgelände</i> Geschätzte jährliche Überwachungskosten: 10 000 DM pro Betriebsgelände <i>sonstige überwachungsbedürftige Betriebsgelände</i> Geschätzter jährlicher Grundwasseranalyseaufwand ca. 6 000 DM pro Betriebsgelände	3 600 2 400 1 200	0,22
Summe	Betriebsgelände		9,24

Quelle: FRANZIUS, 1986

chen und an neuere Erfahrungswerte in den Bundesländern angepaßt werden. Der Rat legt deshalb seiner Abschätzung die von der Bundesregierung für Dezember 1988 festgestellten Bestandszahlen zugrunde (BT-Drucksache 11/4104), die von ca. 48 400 Verdachtsflächen ausgehen. Davon werden 40 500 als Altablagerungen eingestuft.

**695.** Benutzt man die Annahmen von FRANZIUS (Tab. 5.3) und die neuesten Zahlen altlastverdächtiger Ablagerungen, dann erhöhen sich die Kosten für die Sanierung und Überwachung von Altablagerungen von 7,6 Mrd DM (1986) auf rund 10 Mrd DM (1988). Diese Größenordnung wird auch von BRANDT (1988) ermittelt.

Legt man für einen vorsichtigen Ansatz einer Abschätzung den Durchschnittswert der Kosten für Sanierungsmaßnahmen der Länder Schleswig-Holstein und Niedersachsen mit 1 Mio DM pro Fall (Abschn. 5.5.1) zugrunde, so ergibt sich, wenn alle 40 500 altlastverdächtigen Ablagerungen zu sanieren wären, ein rechnerischer Wert von ca. 41 Mrd DM. Der für den realen Finanzbedarf entscheidende Wert ist der prozentuale Anteil der 40 500 Verdachtsflächen, die als Altlasten tatsächlich zu sanieren sind. Für diesen Fall sind in Abbildung 5.5 die geschätzten Altlastsanierungskosten für entsprechende Prozentanteile dargestellt. Die Größenordnung von etwa 10 Mrd DM ergibt sich, wenn 25 % der altlastverdächtigen Altablagerungen zu sanieren sind. Bei dieser Hochrech-

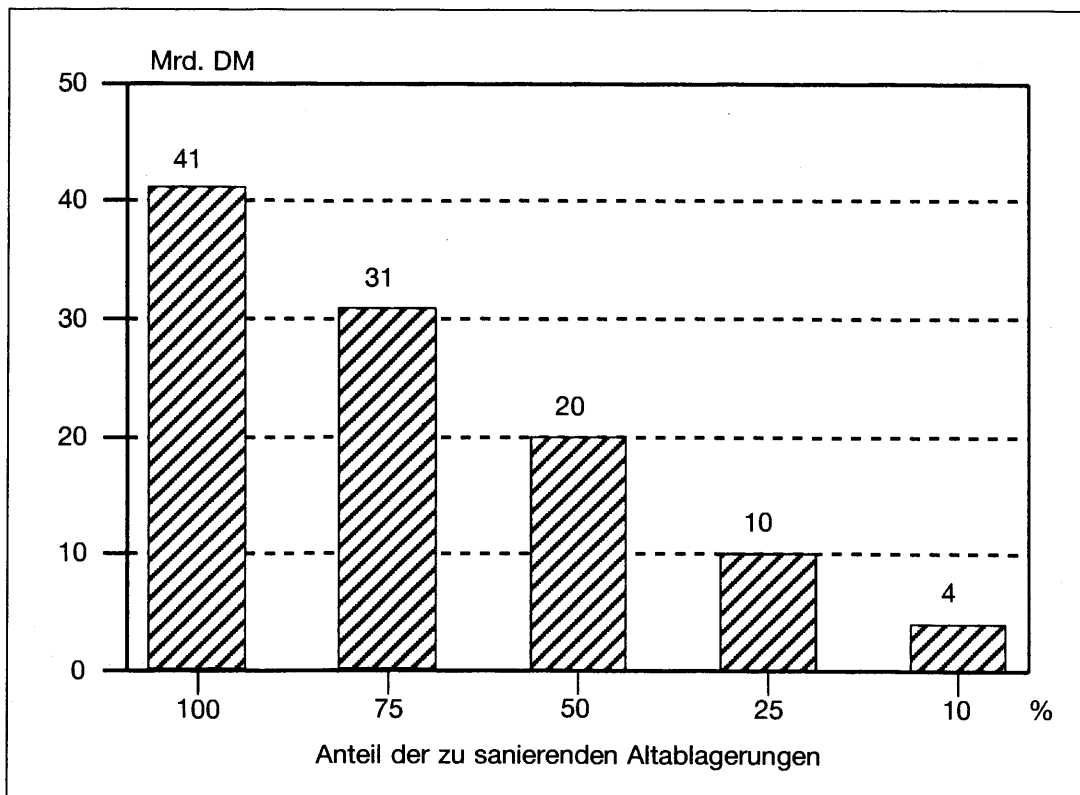
nung ist allerdings zu berücksichtigen, daß die lineare Abhängigkeit zwischen dem Anteil der zu sanierenden Altablagerungen und den Sanierungskosten noch nicht eindeutig geklärt ist.

**696.** Noch unsicherer ist eine Vorausschau für das Gebiet der Altstandorte. FRANZIUS ging auf der Grundlage der Annahmen im Jahre 1986 von 5 000 altlastverdächtigen Altstandorten aus; die geschätzten Kosten für die Untersuchung, Bewertung, Sanierung und Überwachung ergaben einen Betrag von 9,24 Mrd DM.

Die Zahl der in den Ländern erfaßten Altstandorte stieg bis Ende 1988 auf 7 800 an (BT-Drucksache 11/4104). Es ist in der nächsten Zeit mit einer weiteren erheblichen Zunahme der Altstandorte zu rechnen; eine Zahl von 20 000 altlastverdächtigen Altstandorten wird als realistisch angesehen. Die tatsächliche Zahl wird entscheidend von der Definition des Begriffes „Altstandort“ abhängen, so daß zum Beispiel bei der Einbeziehung von Tankstellen und chemischen Reinigungen auch weit höhere Zahlen denkbar sind. Hier verbietet sich aus technischen Gründen eine einfache Extrapolation der Schätzungen der Kosten für die Sanierungsmaßnahmen von Altstandorten aus dem Jahre 1986 (Tab. 5.4). Für die damaligen Kostenschätzungen sind keine Durchschnittswerte für Dekontaminationskosten, sondern die Kosten für Sicherungsmaßnahmen und Umlagerung verwendet worden. Der heutige Stand der Technik erlaubt aber den

Abbildung 5.5

Finanzierungsbedarf für die Sanierung der altlastverdächtigen Altablagerungen



Quelle: SRU, 1989



Einsatz von Dekontaminationsverfahren in mobilen und demnächst auch zentralen Behandlungsanlagen. Da für diese noch keine Durchschnittswerte pro Fall vorliegen, verzichtet der Rat auf eine Schätzung.

**697.** Zusammenfassend ist festzustellen, daß nach heutiger Kenntnis der Finanzierungsbedarf für die Altlastsanierungsmaßnahmen in der Bundesrepublik für Ablagerungen und Altstandorte nur überschlägig geschätzt und nicht genau angegeben werden kann. Der Rat geht aufgrund seiner Abschätzungen davon aus, daß ein Bedarf von mehr als 20 Mrd DM in den nächsten 10 Jahren entstehen wird. In diesen Abschätzungen sind Kosten für die Sanierung von stillgelegten Kanalisationen nicht berücksichtigt.

Dieser Finanzierungsbedarf wird sich nicht gleichmäßig auf die Jahre verteilen. Es ist damit zu rechnen, daß nicht in den ersten, sondern in den letzten Jahren des 10-Jahreszeitraumes der Finanzierungsbedarf stärker ansteigen wird. Hierauf sollten sich die kommunalen Gebietskörperschaften und Finanzierungsfonds der Länder einstellen (s. Kap. 6).

Weiterhin ist davon auszugehen, daß auch nach Ablauf des genannten 10-Jahreszeitraumes noch ein erheblicher Finanzierungsbedarf bestehen bleibt. Die jährlichen Kosten für die Altlastensanierungsmaßnahmen können durchaus noch für einige Zeit in derselben Größenordnung liegen wie der Durchschnitt der vorangegangenen 10 Jahre.

## 6 Möglichkeiten der Finanzierung bei der Altlastensanierung

### 6.1 Rahmenbedingungen für Finanzierungsüberlegungen

**698.** Vor einer Diskussion der einzelnen Finanzierungsmodelle im Bereich der Altlastensanierung müssen die allgemeinen Anforderungen erörtert werden, die im Rahmen der Finanzierungsüberlegungen zu berücksichtigen sind. Ebenso sind rechtliche, insbesondere verfassungsrechtliche Anforderungen zu beachten.

**699.** Eine erste Voraussetzung für jede sinnvolle Finanzierungsdiskussion ist zunächst eine realistische Feststellung des Finanzbedarfs. Sie unterliegt insbesondere technischen Gesichtspunkten, denn der Finanzbedarf hängt von der Zahl altlastverdächtiger Flächen und Altlasten, den zu schützenden Umweltmedien und Schutzgütern im Zusammenhang mit den bestehenden oder geplanten Nutzungen sowie dem damit korrespondierenden Sanierungsgrad ab (s. Kap. 5). Insgesamt werden Kosten in Höhe von mehr als 20 Mrd DM für die nächsten 10 Jahre geschätzt (vgl. Abschn. 5.5.2, Tz. 697).

**700.** Eine zweite wichtige Voraussetzung für Finanzierungsüberlegungen bildet der rechtliche Rahmen der Altlastensanierung (s. Kap. 7). Hierbei muß es insbesondere um eine Klärung der Fragen gehen, wer als möglicher Verantwortlicher zur Finanzierung der Altlastensanierung herangezogen werden kann und welche rechtlichen Zugriffsmöglichkeiten hierfür bestehen. Das Ergebnis der Überlegungen zur Verursacherhaftung legt hierzu zwei generelle Folgerungen nahe.

Zum einen können je nach Sanierungsfall erhebliche Unterschiede mit Blick auf die verschiedenen Haftungsstatbestände auftreten. Für die Erörterung von Finanzierungsmodellen bedeutet dies, daß mit generellen, übergreifenden Modellen allein den jeweiligen Sanierungsfällen unter Umständen zu wenig Rechnung getragen wird.

Zum anderen hat sich noch keine herrschende Meinung herausgebildet, wieweit eine Haftung der verschiedenen Beteiligten in Betracht kommt. Folglich ist die Festlegung des Kreises der rechtlich heranziehbaren „Verursacher“ derzeit noch mit Unsicherheiten behaftet. Die Frage nach der Organisation der Finanzierung kann erst im Anschluß an die Klärung von Handlungsbedarf und -möglichkeiten sowie eindeutigen rechtlichen Zuweisungen der Verantwortlichkeit zufriedenstellend beantwortet werden.

### 6.2 Anforderungen an Modelle zur Finanzierung der Altlastensanierung

#### 6.2.1 Wahl des Kostenanlastungsprinzips

**701.** Die bisher geregelten oder vorgeschlagenen Finanzierungsmodelle zur Altlastensanierung enthalten

Elemente unterschiedlicher umweltpolitischer Kostenanlastungsprinzipien (Verursacher-, Gemeinlastprinzip u. a.) in einer oft schwer durchschaubaren Kombination. Das hat seine Gründe nicht nur im Kompromißcharakter solcher politischen Vorschläge oder gar in Verschleierungsabsichten, sondern resultiert sicherlich weitgehend aus den Besonderheiten des hier zu lösenden Umweltproblems.

**702.** Das Verursacherprinzip, das im Umweltprogramm der Bundesregierung von 1971 als zentrales umweltpolitisches Kostenanlastungsprinzip definiert wurde, hat bis heute seine Bedeutung behalten, obwohl seine eher theoretische Orientierung an den verursachten volkswirtschaftlichen Kosten bald zugunsten der „second best“-Lösung des Vermeidungskostenansatzes, d. h. einer „Beschränkung auf Vermeidungs- und Beseitigungskosten“, aufgegeben worden ist (SRU, 1978, Tz. 1784). Das geschah sicherlich nicht zuletzt aus der Überlegung, statt des nicht operablen Schadenskostenansatzes lieber diese zweitbeste Lösung des Vermeidungskostenansatzes anzustreben, als sich zwecks Konfliktvermeidung zu schnell auf das Gemeinlastprinzip zurückzuziehen, dessen Nachteile unter Gerechtigkeits- und Effizienzaspekten offenkundig waren und sind.

Im Bereich der Altlastensanierung muß jedoch diese Orientierung am Verursacherprinzip aus verschiedenen Gründen etwas kritischer gesehen werden.

**703.** Die übliche Vorstellung von einem zu belastenden Verursacher bezieht sich in der Regel auf einen derzeit oder in Zukunft Handelnden, dem aufgrund einer bereits bestehenden oder zu schaffenden Rechtsgrundlage Vermeidungskosten oder Abgaben auferlegt werden (SRU, 1978, Tz. 1755). Im Bereich der Altlastensanierung jedoch kommt schon im Begriff zum Ausdruck, daß die verursachende Handlung in der Vergangenheit stattgefunden hat. Grundsätzlich ist daher zu fordern, daß wegen des – unvermeidlichen – Vergangenheitsbezuges nicht eine nachträgliche bzw. rückwirkende Rechtsänderung hinsichtlich des Verursachungsstatbestandes vorgenommen wird (vgl. dazu Tz. 787 und 791).

**704.** Weiterhin muß betont werden, daß die Finanzierungsmodelle nur für den Teil der Finanzierungslast gelten sollen, für den aus verschiedenen Gründen kein Verursacher im Sinne einer individuellen, rechtlich begründbaren Verursacherhaftung oder ein sonstwie rechtlich Verantwortlicher herangezogen werden kann. Daher muß die wichtigste Aufgabe darin bestehen, vor weiteren Finanzierungsüberlegungen herauszufinden, welcher Verantwortliche in welchem Umfang haftbar gemacht werden kann, was in erster Linie eine juristische Aufgabe darstellt (vgl. Kap. 7.2). Wenn auf diese Weise ein gewisser Finanzierungsbeitrag aufgrund einer individuellen, materiellen Verantwortlichkeit eines Verursachers oder eines sonstwie rechtlich Verantwortlichen gesichert ist, sollte die Diskussion darüber, ob die Anlastung der

restlichen Kosten stärker dem Verursacher-, dem Gemeinlast- oder einem dazwischen liegenden umweltpolitischen Prinzip zugeordnet werden sollte, zumindest offener gestaltet werden.

**705.** Selbst bei einer weitgehenden Verursacherorientierung würde man nicht umhin kommen, einen Teil der Sanierungskosten aus gemeinlastfinanzierten Mitteln aufzubringen. Dies kommt vor allem in folgenden Fällen in Betracht (in Anlehnung an BENKERT, 1986):

- Es ist kein Verursacher bzw. Verantwortlicher (Verursacher der Altlast, ggf. derzeitiger Eigentümer; vgl. Abschn. 7.2.2.1) für das Entstehen der Altlast haftbar zu machen, da der betreffende Betrieb gar nicht mehr besteht.
- Ein Zugriff erscheint nicht möglich, weil der Verantwortliche die Finanzierungskosten nicht aufbringen kann.
- Die Altlast fällt in den hoheitlichen Verantwortungsbereich, z. B. wenn die Gemeinde oder das Land für eine Deponie zuständig war oder man in gewisser Weise den Bund für mangelnde Gesetzgebung und Kontrolle verantwortlich machen will. Im letzteren Falle wären allerdings auch die Probleme eines „föderalistischen Verursacherprinzips“ (ZIMMERMANN, 1985, S. 25) zu diskutieren. Die Anwendung dieses Konzepts würde bedeuten, daß innerhalb des hoheitlichen Bereichs immer erst die jeweils untere Gebietskörperschaftsebene, soweit hier die – volle oder teilweise – Verantwortlichkeit lag, zur Finanzierung herangezogen werden sollte. Ein zu frühes Angebot der Landes- oder gar der Bundesfinanzierung schwächt die Anreize, auf der unteren Gebietskörperschaftsebene private Verursacher noch ausfindig zu machen oder preiswerte Lösungen zu finden.

Die Bedeutung der gemeinlastfinanzierten Ausgaben im Budget, die ohnehin und zwangsläufig hoch ist (ZIMMERMANN und BENKERT, 1989), würde dadurch weiter zunehmen, allerdings bedingt durch die Besonderheit des Altlastenproblems wohl nur mittelfristig und nicht auf Dauer.

**706.** Insgesamt läßt sich somit für die Frage der Kostenanlastung im Bereich der Altlastensanierung festhalten, daß für den Teil der Kosten, der nicht über die Anlastung beim individuell rechtlich Heranziehbaren erzielt werden kann und infolgedessen über andere Finanzierungsmodelle aufgebracht werden muß, weder eine strikte Verursacherorientierung noch eine generelle Gemeinlastlösung angebracht erscheint. Damit dürfte es zweckmäßig sein, zusätzlich nach Wegen zu suchen, die zwischen Verursacher- und Gemeinlastprinzip liegen und eine Einbeziehung beider Kostenanlastungsprinzipien ermöglichen.

**707.** Solche Zwischenwege erscheinen aus zwei Gründen als wünschbar. Einerseits sind grobe Gemeinlastlösungen abzulehnen, da sie in der Regel bedeuten würden, daß eine ernsthafte Suche nach rechtlich heranziehbaren Verursachern zugunsten einer schnelleren und leichteren Finanzierung von Altlastensanierungen aufgegeben wird. Auf der anderen Seite legitimiert das Verursacherprinzip nicht dazu,

fehlende Mittel durch Gruppen zu beschaffen, bei denen nur eine Vermutung für die Verursachung spricht. Soweit Tendenzen in vorgeschlagenen Finanzierungsmodellen zu beobachten sind, vermutlich aufgrund leichterer und schnellerer Finanzierbarkeit insbesondere die derzeitigen Abfallproduzenten durch Steuern oder andere Abgaben zur Finanzierung heranzuziehen, sind sie demgemäß kritisch zu betrachten. Diese Gruppe kann sich zwar einer gewissen Kostenanlastung politisch nicht entziehen, aber unter Verursachergesichtspunkten dürfte es nur selten Gründe geben, sie überwiegend oder gar sie allein verantwortlich zu machen.

**708.** Als Zwischenweg zwischen Verursacher- und Gemeinlastprinzip in ihren reinen Formen erscheint es aus diesen Gründen dann erwägenswert, Finanzierungsformen zu entwickeln, die im Sinne eines „Gruppenlastprinzips“ (PAPIER, 1987, S. 440) eine allerdings nur teilweise Finanzierung durch Gruppen vorsehen, bei denen eine möglichst weitgehende Deckung mit der Gruppe der früheren faktischen Verursacher, z. B. als individuelle Firmen, Privatpersonen bzw. deren Rechtsnachfolger, vorhanden ist.

Dieses Argument der sich überlappenden Gruppen alter und neuer Verursacher kann dazu verwendet werden, die Auferlegung von Abgaben für die Finanzierung von Altlasten auf neue Verursacher zu legitimieren. Verglichen mit einer von der Gesamtheit der Steuerzahler getragenen „groben“ Gemeinlastfinanzierung, käme einer solchen Lösung ein größeres Maß an Gerechtigkeit zu, weil die so belasteten speziellen Gruppen jedenfalls im Durchschnitt dem Finanzierungszweck näherstehen als die Allgemeinheit (vgl. auch BREUER, 1987, S. 760). Insbesondere für eine freiwillige Übernahme von Kosten durch bestimmte Gruppen dürfte ein solches Gruppenlastprinzip als weiches umweltpolitisches Prinzip eine Rolle spielen, wenn sie zwar nicht aus rechtlichen, aber aus Gerechtigkeitsaspekten angezeigt erscheint. Sie könnte zugleich unter Allokationsaspekten positive Wirkungen zeitigen, insoweit hiermit Signale für die jetzigen Verursacher gesetzt werden, absehbare von ihnen hervorgerufene zukünftige Schäden von sich aus zu vermeiden.

## 6.2.2 Die Wünschbarkeit von Anreizeffekten

**709.** Neben der Frage, in welcher Höhe und bei welchem Finanzierungsträger die Kosten für die Altlastensanierung angelastet werden sollen, spielt im Zusammenhang mit den Finanzierungsmodellen auch das Problem eine Rolle, ob und in welchem Umfang Anreizeffekte für eine Vermeidung von Altlasten in der Zukunft in die Modelle eingebaut werden sollen und können. Die Frage lautet also, inwieweit ein auf die Zukunft gerichtetes Verursacherprinzip (ZIMMERMANN, 1984) in diesen Modellen verwirklicht werden soll und inwieweit dabei Anreize für die ökonomisch sinnvolle Erfüllung von Umweltzielen gegeben werden können.

**710.** Unter dem Aspekt der Altlastenfinanzierung ist dieser Gesichtspunkt des Anreizeffektes ein zusätzlicher positiver Effekt, der aber dem Finanzierungsef-

fekt eher nachrangig ist. Das wird mit Blick auf eine gedanklich volle Trennung der beiden Funktionen „Finanzierung“ und „Anreiz“ deutlich. Wenn man von einem Verursacher- und Gruppenlastbezug für den Augenblick absieht und lediglich das Gruppenlastprinzip heranzieht, würde dies eine Finanzierung der Sanierungskosten durch zusätzliche Zwangsabgaben bedeuten. In diesem Fall stünde zunächst einmal die gesamte Palette öffentlicher Einnahmen zur Auswahl. Wenn hierfür dann eine umweltorientierte Einnahmeart im Vordergrund stehen soll, so müßte, um diese Abgabe konsistent begründen zu können, unter den hier diskutierten Anreizaspekten der dringlichste, einer Abgabenteilung zugängliche Eingriffspunkt gesucht werden. Hierzu dürften sich die Überlegungen aber nicht nur auf Altlasten oder abfallwirtschaftliche Probleme beschränken.

**711.** Ein starker Anzeizeffekt auch bei Vorrangigkeit der Finanzierungsfunktion ist dann möglich, wenn die Finanzierung am Tatbestand der Altlastenentstehung, etwa unter Bezugnahme auf das Gruppenlastprinzip, anknüpfen soll und die frühere Verursachung von Altlasten mit der Verursachung von Altlasten in der Zukunft übereinstimmt. Dies gilt aber streng genommen weder für die Verursachergruppen noch für die Produktpaletten und Inputstoffe, die früher im Vergleich zu heute Belastungen hervorriefen, in vollem Maße. Insoweit treten hier zugleich auch Gleichbehandlungs- bzw. Gerechtigkeitsaspekte auf, insbesondere wenn etwa zur Finanzierung der Altlastensanierung der Einsatz von Grundstoffen besteuert werden soll und man dann an Betriebe denkt, die in der Vergangenheit ihre Abfallstoffe ordnungsgemäß deponiert haben und zukünftig in gleicher Weise wie andere, früher nicht so sorgfältige Unternehmen besteuert werden.

**712.** Wenn hingegen keine volle Übereinstimmung im genannten Sinne verlangt wird, sondern nur, daß im Sinne des Gruppenlastprinzips eine größere Nähe zum Finanzierungszweck ausreicht, so kann die Verteuerung der Entsorgung erhebliche Anreizwirkungen entfalten. Wird der Preis der Entsorgung etwa im Wege der erhöhten Entsorgungsgebühr oder der Lizenzgebühr jeweils mit Zweckbindung für die Altlastfinanzierung nach dem Problemgehalt des Abfalls gestaffelt, so läßt sich die Anlastung der Kosten der Altlastensanierung nach dem Gruppenlastprinzip (Tz. 708) mit dem Anzeizeffekt im Hinblick auf Vermeidung und Verwertung verbinden.

**713.** Die obigen Ausführungen haben deutlich gemacht, daß angesichts der Vielzahl unterschiedlicher Anforderungen an ein Finanzierungsmodell im Bereich der Altlastensanierung ein umfassendes Konzept, das allen verschiedenen Sanierungsfällen Rechnung trägt und gleichzeitig eine schnelle Finanzierung ermöglicht, wohl kaum zu konstruieren sein dürfte. Bei der Entwicklung eines Finanzierungsmodells muß zuerst die Frage gestellt werden, ob man generelle, d. h. alle möglichen Sanierungsfälle umfassende, oder aber spezielle, d. h. Typen einzelner Sanierungsfälle stärker berücksichtigende, Modelle vorziehen sollte.

Während generelle Modelle, etwa eine Besteuerung von chemischen Grundstoffen, in der Regel den Vor-

teil einer schnelleren umfassenden Finanzierung besitzen, sind sie dagegen nachteilig, wenn zugleich das Ziel verfolgt wird, Gruppen in die Finanzierung einzubeziehen, die sich weitgehend mit früheren faktischen Verursachern decken. Dann sind speziellere Modelle, etwa Kooperationslösungen unter freiwilliger Beteiligung der entsprechenden Gruppen, unter Umständen verursachungsgerechter. Sie können aber längere Finanzierungszeiträume benötigen.

**714.** Aus den bisherigen Überlegungen läßt sich noch keine dominante Modellkonstruktion oder Kostenanlastungsstrategie ableiten. Aufgrund der gewünschten Verursacherorientierung sollten jedoch möglichst solche Modelle angestrebt werden, die eine stärkere finanzielle Beteiligung der Gruppen ermöglichen, bei denen ein Verursachungsbezug wahrscheinlich ist.

### 6.3 Finanzierungsmodelle in rechtlicher Sicht

**715.** Unterschiede in der gegenwärtigen Wirtschaftsstruktur und in der regionalen Verteilung der altlastverdächtigen Flächen haben dazu geführt, daß die von den einzelnen Ländern bevorzugten Lösungen auseinandergehen und daher auch in rechtlicher Hinsicht unterschiedliche Fragen aufwerfen.

#### 6.3.1 Lizenz-Modell

**716.** Bisher hat ein Bundesland ein Modell eingeführt, welches bestimmte umwelterhebliche Tätigkeiten einer Lizenz unterwirft, deren Erlöse unter anderem zur Sanierung von Altlasten herangezogen werden.

Der nordrhein-westfälische Landtag hat im Juni 1988 ein neues Landesabfallgesetz verabschiedet (Landesabfallgesetz NW vom 21. 6. 1988, GVBl. NW 1988, S. 250 ff.), ergänzt durch das Gesetz über die Gründung des Abfallentsorgungs- und Altlastensanierungsverbandes Nordrhein-Westfalen vom 21. 6. 1988 (GVBl. NW 1988, S. 268 ff.), nach dem die Behandlung und Ablagerung von Sonderabfällen künftig nur nach Erteilung einer Lizenz zulässig sein soll.

Eine solche Lizenzlösung soll nach dem Willen des Gesetzgebers folgende Bestandteile enthalten:

- Einführung einer an eine Bedürfnisprüfung gebundenen Lizenzpflicht für die Betreiber von Sonderabfallanlagen, auf denen Sonderabfälle behandelt oder abgelagert werden sollen
- Erhebung eines Lizenzentgelts von den Sonderabfallentsorgern, das unter anderem zu einem gewissen Teil die wirtschaftlichen Vorteile aufgrund der Lizenzerteilung abgelten soll
- Verwendung des Aufkommens aus den Lizenzentgelten als Zuschüsse für Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren aus Altlasten sowie für die Entwicklung neuer Technologien zur Vermeidung und Entsorgung von Sonderabfällen.

Danach bietet das Zusammenspiel der beiden Gesetze die Möglichkeit, über das Lizenzaufkommen

Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren aus Altlasten, die von den zuständigen Behörden im Wege der Ersatzvornahme oder im Vorgriff auf die spätere Feststellung einer Ordnungspflicht durchgeführt werden, mitzufinanzieren.

**717.** Da dieses Lizenzmodell in mehrfacher Hinsicht rechtliche Probleme aufwirft und damit auch die Finanzierung von Altlasten in Frage stellen kann, werden nachfolgend die Probleme erörtert. So kommen insbesondere FRIAUF sowie KLOEPFER und FOLLMANN in Gutachten über die Gesetzesentwürfe zu dem Ergebnis, das nordrhein-westfälische Lizenzmodell sei mit der Verfassung nicht vereinbar (FRIAUF, 1987, S. 61; KLOEPFER und FOLLMANN, 1988, S. 575).

#### 6.3.1.1 Kompetenzrechtliche Fragen

**718.** Das Abfallrecht gehört nach der grundgesetzlichen Norm des Artikel 74 Nr. 24 GG zum Bereich der konkurrierenden Gesetzgebung. Daraus folgt, daß das Land nur insoweit zur Gesetzgebung befugt ist, als der Bund den betreffenden Sachbereich nicht abschließend geregelt hat. Der Bund hat die Entsorgung von Abfällen im Abfallgesetz des Bundes zwar geregelt. In § 3 Abs. 4 AbfG hat er die Besitzer von Sonderabfällen zur Entsorgung verpflichtet, wenn die Abfälle von der öffentlichen Entsorgung ausgeschlossen wurden.

Der Erlaß eines Bundesgesetzes hindert die Länder aber nicht in jedem Fall, auf dem durch das Bundesgesetz geregelten Gebiet tätig zu werden. Die Kompetenzsperre des Artikel 72 GG reicht vielmehr nur so weit, wie der Bund eine abschließende Regelung getroffen hat. Nicht oder nicht abschließend in einem Bundesgesetz geregelte Fragen können deshalb gleichwohl Gegenstand landesgesetzlicher Tätigkeit sein (MAUNZ et al., bis 1988, Artikel 72 Rn. 14).

Für die hier gestellte Frage, ob der Landesgesetzgeber befugt ist, den Entsorgern von Abfällen eine Lizenz- und Abgabepflicht aufzuerlegen, kommt es daher entscheidend darauf an, ob das Abfallgesetz abschließende Regelungen trifft, die keinen Raum für derartige landesrechtliche Normen lassen. Zur Klärung der Frage ist entsprechend der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts eine Gesamtwürdigung des abfallrechtlichen Normenkomplexes vorzunehmen (BVerfGE 1, S. 283f.; 7, S. 330ff.).

**719.** Als die landesgesetzgeberische Zuständigkeit ausschließende Normen kommen die § 3 Abs. 4 Satz 1 und Abs. 3 AbfG in Betracht, nach denen der Besitzer von industriellen und gewerblichen Abfällen (im folgenden Sonderabfälle) selbst zur Entsorgung verpflichtet ist, wenn die entsorgungspflichtige Körperschaft die Sonderabfälle von der Entsorgung ausgeschlossen hat. Das Fehlen einer entsprechenden gesetzlichen Einschränkung in § 3 Abs. 4 AbfG könnte dafür sprechen, daß der Bundesgesetzgeber jeden Besitzer zur Entsorgung verpflichten und auch — und zwar ohne Genehmigungsvorbehalt — ermächtigen wollte (vgl. FRIAUF, 1987, S. 44ff.).

**720.** Nach Auffassung FRIAUFs sowie KLOEPFERS und FOLLMANNs liegt insoweit eine abschließende

bundesgesetzliche Regelung vor. Sie sehen in der Entsorgungspflicht nach § 3 Abs. 4 Satz 1 AbfG eine wesentliche Pflicht des Abfallbesitzers. Diese unmittelbar durch Bundesrecht auferlegte Pflicht könne wegen des grundgesetzlich verankerten Vorrangs des Bundesrechts vor Landesrecht (Artikel 31 GG) nicht zur Disposition des Landesgesetzgebers stehen (vgl. FRIAUF, S. 44; KLOEPFER und FOLLMANN, 1988, S. 575).

**721.** Demgegenüber wird in der Literatur mehr und mehr die Meinung vertreten, daß für das Land noch Raum für die Umsetzung des Modells bestehe, da das Abfallgesetz noch eine Regelungslücke betreffend das Entsorgungsrecht der Eigenentsorger und der Fremdentorger für Sonderabfälle enthalte (so BOTTHE, 1987, S. 946; BRANDT et al., 1988, S. 124ff.; PEINE, 1988, S. 7; SALZWEDEL, 1987, S. 40).

Für das Recht der Eigen- wie auch der Fremdentorger fehlen nämlich praktisch alle relevanten Vorgaben durch das Bundesrecht. Geregelt ist lediglich die Entsorgungspflicht des Abfallbesitzers und sein Recht, sich eines Fremdentorgers zu bedienen, so daß den Ländern ein eigener Raum für die Regelung der Sondermüllentsorgung verbleibt. Auch die Entstehungsgeschichte des Abfallgesetzes spricht dafür, daß die bundesrechtliche Regelung in § 3 Abs. 4 AbfG gerade nicht die Funktion hat, weiterführende landesrechtliche Regelungen auszuschließen. Die Bundesregierung erwog, Regelungen über eine bundeseinheitliche Organisation der Entsorgung von Sondermüll zu erlassen. Auf Wunsch der Länder und auch auf den der kommunalen Spitzenverbände sah die Bundesregierung davon ab, dem Gesetzgeber eine derartige bundeseinheitliche Regelung vorzuschlagen (HÖSEL und von LERSNER, bis 1989, § 3 Rn. 35). Der Rat ist der Auffassung, daß aus den genannten Gründen keine durchgreifenden verfassungsrechtlichen Bedenken gegen das nordrhein-westfälische Modell aus kompetenzrechtlichen Gesichtspunkten bestehen.

#### 6.3.1.2 Die Frage der Grundrechtsverletzung nach Artikel 12 Abs. 1 des Grundgesetzes

**722.** Die Einführung einer Lizenzpflicht und einer Lizenzabgabe könnte allerdings die Eigen- und Fremdentorger in dem grundgesetzlichen Freiheitsrecht der Berufsfreiheit gemäß Artikel 12 Abs. 1 GG berühren. Auch im Hinblick darauf werden in einem Teil der Literatur Zweifel an der Verfassungskonformität des nordrhein-westfälischen Gesetzes der Landesregierung zu „Lizenzabgaben“ auf die Sonderabfallentsorgung geäußert (FRIAUF, 1987, S. 157; KLOEPFER und FOLLMANN, 1988, S. 586).

**723.** Es bedarf zunächst der Klärung, ob die Sonderabfallentsorger im Sinne des § 3 Abs. 4 Satz 1 AbfG überhaupt dem Schutz des Artikel 12 Abs. 1 GG unterstehen. Dies könnte dann zweifelhaft sein, wenn durch die Lizenzierung ein staatliches Verwaltungsmonopol begründet werden soll (FRIAUF, 1987, S. 158ff.; SALZWEDEL, 1987, S. 32ff.). Dann würden die Entsorger mit der Entsorgung eine staatliche und keine private Aufgabe wahrnehmen. Es sind jedoch keine Anhaltspunkte für eine Verstaatlichung der Sonderabfallentsorgung ersichtlich. Mit der Einfüh-

zung der Lizenzpflicht soll der Aufgabenbereich Sonderabfallentsorgung nicht dem privatwirtschaftlichen Bereich entzogen, sondern lediglich erlaubnispflichtig gemacht werden.

**724.** Es bleibt also die Frage, ob das Lizenzmodell mit dem Grundrecht der Berufsfreiheit des Artikel 12 Abs. 1 GG in Einklang steht. Die Vereinbarkeit einer staatlichen Maßnahme mit Artikel 12 Abs. 1 GG richtet sich nach der vom Bundesverfassungsgericht in ständiger Rechtsprechung entwickelten sogenannten Stufentheorie (BVerfGE 7, S. 377; 11, S. 31 ff.; 16, S. 286 ff.). Das Bundesverfassungsgericht geht davon aus, daß sowohl die in Artikel 12 Abs. 1 Satz 1 GG geregelte Freiheit der Berufswahl als auch die in Satz 2 des Artikel 12 Abs. 1 GG geregelte Freiheit der Berufsausübung durch den Gesetzgeber reglementiert werden können. Dabei ist der Gesetzgeber nach der Rechtsprechung in seiner Regelungsbefugnis um so freier, je mehr die Ausübung eines Berufes betroffen ist. Demgegenüber ist die den einzelnen stärker belastende Regelung der Berufswahl nur unter strengeren Voraussetzungen zulässig. Entsprechend dieser Grundaussage unterscheidet das Bundesverfassungsgericht drei Stufen von berufsregelnden Maßnahmen: die Berufsausübungsregelung, die Aufstellung subjektiver, das heißt von persönlichen Eigenschaften abhängiger Zulassungsvoraussetzungen, und die Aufstellung objektiver Zulassungsschranken.

**725.** Überträgt man die Prüfungsmaßstäbe der Rechtsprechung auf die Lizenzpflicht für Sonderabfallentsorger, so ergibt sich daraus zunächst eine unterschiedliche Bewertung bezüglich Fremd- und Eigenentsorgern. Soweit eine Lizenzpflicht für Eigenentsorger in Rede steht, handelt es sich um eine Berufsausübungsregelung für die den Abfall erzeugenden Unternehmen, denn die eigentliche Tätigkeit der eigenentsorgenden Unternehmen ist nicht die Entsorgung, sondern die Herstellung von Gütern oder von Leistungen für den Markt. Dagegen betrifft eine Lizenzpflicht für Fremdentsorger die Frage nach dem „Ob“ ihrer beruflichen Tätigkeit insgesamt, also die Berufswahl. Alleiniger Unternehmensgegenstand der Tätigkeit der Fremdentsorger bildet die Entsorgung von Abfällen für Dritte. Die an eine Bedürfnisprüfung anknüpfende Lizenzerteilung stellt für die Fremdentsorger eine objektive Zulassungsschranke für ihre Tätigkeit auf (FRIAUF, 1987, S. 122 ff.).

**726.** Für die Eigenentsorger ist zu prüfen, ob eine Berufsausübungsregelung zulässig ist. Nach der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts ist eine Berufsausübungsregelung rechtmäßig, wenn sie durch vernünftige Gründe des Gemeinwohls gerechtfertigt erscheint und das gewählte Mittel geeignet, erforderlich und zumutbar ist (BVerfGE 7, S. 405 ff.; 53, S. 143 f.). Vernünftige Gründe des Gemeinwohls lassen sich zur Rechtfertigung der Lizenzpflicht auch gegenüber Eigenentsorgern anführen.

Aufgrund von steigendem Abfallaufkommen und weitgehend ausgeschöpfter Entsorgungskapazitäten bedarf es neuer Investitionen in diesem Bereich. Mit ihnen sind für die Eigenentsorger erhebliche unternehmerische Risiken verbunden. Um die im Interesse des Gemeinwohls benötigten Investitionsentschei-

dungen herbeizuführen, bedarf es einer staatlichen Rahmensicherung, zum Beispiel durch staatliche Kontrolle des Wettbewerbs.

Angesichts des Ausmaßes der Umweltbelastungen durch Flächenbeanspruchung ist eine sinnvolle Verteilung der knappen Entsorgungskapazitäten erforderlich. Hier muß öffentliches Interesse Einfluß nehmen (PEINE, 1988, S. 198; SALZWEDEL, 1987, S. 25 ff.).

Zur Erreichung dieser Ziele erscheint die Lizenzierung auch geeignet und erforderlich.

**727.** Im Hinblick auf die Fremdentsorger stellt sich die Situation anders dar. Für diejenigen, die eine Abfallentsorgungsanlage betreiben und mit ihrer Hilfe ihren Lebensunterhalt verdienen, wird die Ausübung ihres Berufes durch § 10 Abs. 2 LAbfG NW von der Übereinstimmung der beabsichtigten Nutzung mit den abfallwirtschaftlichen Zielvorstellungen des Landes abhängig gemacht (PEINE, 1988, S. 13). Auf die Erfüllung dieser Voraussetzung hat der Fremdentsorger keinen Einfluß. Es handelt sich um eine objektive Zulassungsbeschränkung. Hierfür hat das Bundesverfassungsgericht das Erfordernis der „Abwehr nachweisbarer oder höchstwahrscheinlicher schwerer Gefahren“ für ein entsprechendes Gemeinschaftsgut aufgestellt (BVerfGE 7, S. 378). Als überragendes Gemeinschaftsgut kommt hier der Umweltschutz in Betracht. Die Rechtsprechung hat den Umweltschutz als Gemeinschaftsgut, das die objektiven Zulassungsvoraussetzungen legitimieren kann, bereits anerkannt (BVerwG, DVBl. 1981, S. 985).

Eine Erlaubniserteilung zum Betreiben einer Abfallentsorgungsanlage erscheint unerlässlich, damit gewährleistet werden kann, daß die vorhandenen und neu hinzukommenden Anlagen in einer Weise betrieben werden, die für die Umwelt so weit wie möglich folgenlos bleibt. Es dürfen nicht beliebig viele Abfallentsorgungsanlagen unter möglicher Belastung der Umwelt betrieben werden, sondern nur so viele wie nötig unter größtmöglicher Schonung der Umwelt. Optimaler Umweltschutz benötigt auf diesem Gebiet die Kontingentierung (PEINE, 1988, S. 14).

**728.** Durch die Lizenzvergabe wird es ermöglicht, die örtliche Planung von Anlagen zu steuern. Auch dadurch wird die Umwelt geschützt, denn eine mögliche Umweltbelastung durch die Abfallentsorgungsanlagen kann durch optimale Verteilung gemindert werden.

Es bleibt festzuhalten, daß die Einführung des Lizenzsystems auf dem Gebiet der Sonderabfallentsorgung mit seinem Beitrag zur Finanzierung von Sanierungsmaßnahmen auf keine durchgreifenden verfassungsrechtlichen Bedenken stößt.

### 6.3.2 Sonderabgaben

**729.** Ein aus Hamburg kommender Vorschlag für die Altlastenfinanzierung sieht auf die Dauer von 15 Jahren die Erhebung einer „Zwecksteuer“ auf den Einsatz bestimmter chemischer Grundstoffe, wie etwa Chlor, Schwefelsäure, Synthese-Ammoniak und ähnlicher Stoffe, vor (BR-Drucksache 386/86). Dabei soll

die Verteilung der auf diese Weise eingenommenen Gelder auf der Grundlage von Programmen erfolgen, die die Länder jährlich aufstellen. Bemessungsgrundlage für den finanziellen Rahmen der Länderprogramme soll die Ausrichtung an der anteiligen Höhe des Bruttosozialprodukts der gewerblichen Wirtschaft sein, das das Land zwischen 1950 und 1980 erzielt hat.

Die Erhebung zweckgebundener Abgaben beruht auf der Überlegung, daß nur eine bundeseinheitliche, länderübergreifende Regelung die Wettbewerbsgleichheit in der Bundesrepublik Deutschland erhalten, gleiche Anknüpfungspunkte zur Verfügung stellen und einheitliche Lebensverhältnisse schaffen kann (BR-Drucksache 386/86, S. 3).

**730.** Während die Effizienz dieser Finanzierungsart zu bejahen ist (vgl. Abschn. 6.4.1), werden gegen sie doch rechtliche Bedenken bezüglich ihrer Verfassungskonformität ausgesprochen (BRANDT, 1987, S. 11 ff.).

Die als Zwecksteuer deklarierte Abgabe dient ihrem materiellen Gehalt nach der Gewinnung von Mitteln für die Finanzierung einer besonderen Aufgabe, der Altlastensanierung. Sie könnte deshalb entgegen ihrer Bezeichnung als parafiskalische Sonderabgabe einzuordnen sein. Insoweit aber würde sie den von der Rechtsprechung aufgestellten Zulässigkeitsvoraussetzungen nicht genügen können.

**731.** Sonderabgaben sind im Gegensatz zu Steuern Abgaben, die nicht in den allgemeinen Staatshaushalt eingebracht, sondern gesetzlich für bestimmte Zwecke vorbehalten werden (BVerfGE 55, S. 274 ff.). Sie sind nach der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts ausnahmsweise, und zwar nur dann zulässig, wenn

- die mit der Abgabe belastete Gruppe homogen ist (BVerfGE 23, S. 23 f.),
- die mit der Abgabe belastete Gruppe für die Finanzierung der betreffenden Aufgabe besonders verantwortlich ist (BVerfGE 55, S. 306) und
- das Abgabenaufkommen im Interesse der Gruppe der Abgabepflichtigen, also gruppennützig, verwendet wird (BVerfGE 55, S. 307).

Mangels Identität zwischen den Verursachern der Altlasten und den jetzt wirtschaftlich Tätigen ist es schon zweifelhaft, ob eine Gruppenverantwortung der mit der Abgabe zu belastenden Unternehmen bejaht werden kann. Jedenfalls aber werden die zweckgebundenen Sonderabgaben nicht gruppennützig verwendet, denn die Sanierung der Altlasten dient der chemischen Industrie nicht mehr als der Allgemeinheit als solcher. Nach ständiger Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts sind aber fremdnützige Sonderabgaben unzulässig, es sei denn, daß die Natur der Sache eine finanzielle Inanspruchnahme der Abgabepflichtigen zugunsten fremder Begünstigungen aus triftigen Gründen eindeutig rechtfertigt.

**732.** Die den Entsorgungspflichtigen nach dem hessischen Abfallgesetz (GVBl. HE 1989, S. 137 ff.) auferlegte Altlastenfinanzierungsumlage stellt sich als Sonderabgabe dar. Sie entspricht den vom Bundesverfas-

sungsgericht für Sonderabgaben entwickelten Voraussetzungen. Es handelt sich hier um Geldleistungen, die einem begrenzten Personenkreis im Hinblick auf vorgegebene besondere wirtschaftliche Zusammenhänge auferlegt werden. Das Aufkommen dieser Umlage dient nicht der Finanzierung allgemeiner Staatsaufgaben. Es ist für Maßnahmen, die der Erhaltung und Verbesserung der Umwelt dienen, gebunden. Durch die Altlastenfinanzierungsumlage wird eine besondere Aufgabe finanziert, deren Bewältigung in einer spezifischen Verantwortung des durch die Abgabe belasteten Personenkreises, nämlich der Entsorgungspflichtigen, liegt. Dieser Personenkreis steht dem mit der Abgabenerhebung verfolgten Zweck offenkundig näher als die Allgemeinheit. Das Abgabenaufkommen wird im Interesse der Gruppe verwendet.

### 6.3.3 Zwecksteuern

**733.** Nach der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts ist es möglich, das Steueraufkommen für bestimmte Zwecke vorzubehalten. Dabei ist bei der insoweit erforderlichen Abgrenzung zur Sonderabgabe entscheidend auf das Maß der Zweckbindung abzustellen. Die Steuerqualität einer Abgabe kann nur dann bejaht werden, wenn die Zweckbindung einen allgemeinen Charakter hat. Eine Zwecksteuer dürfte danach wohl nur dann anzunehmen sein, wenn mit dem Finanzierungsinstrument mehrere Ziele verfolgt werden. Eine gesetzliche Zweckbindung des Abfallaufkommens dürfte sich nicht auf die Altlastensanierung beschränken. Als möglicher weiterer Zweck käme zum Beispiel die Verwendung des Abgabenaufkommens für Maßnahmen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen in Betracht. Vom Aufkommen der Zwecksteuer wird eine allgemeine Aufgabe finanziert. Überschüsse müssen nicht zweckgebunden verwendet werden (BVerfGE 55, S. 274). Sie können einem öffentlichen Gemeinwesen für sonstige Vorhaben zur Verfügung stehen.

**734.** Eine an den Einsatz chemischer Grundstoffe knüpfende Steuer würde neben der Finanzierung auch eine — nach ständiger Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts zulässige (BVerfGE 3, S. 436) — Lenkungsfunction in bezug auf die Vermeidung von in Zukunft neu entstehenden Altlasten haben. Als weiterer Lenkungszweck kommt auch in Betracht, die Steuer an andere Tatbestände, beispielsweise an das Entstehen und Verbringen von Sonderabfall (vgl. BRANDT, 1987, S. 103) oder die Behandlung und Ablagerung von Sonderabfällen (BRANDT, 1987, S. 194) anzuknüpfen.

**735.** Zwar fehlt es bei diesen Finanzierungsmodellen an der finanzverfassungsrechtlichen Kongruenz zwischen Aufgabenhoheit und Ertragskompetenz, denn die Altlastensanierung ist Sache der Länder, während das Steueraufkommen direkt dem Bund zufließen soll. Die fehlende Kongruenz steht der Zwecksteuer aber nicht entgegen, wenn die Zuwendungen an die Länder als Finanzhilfen im Sinne des Artikel 104 a Abs. 4 GG qualifiziert werden können, was angesichts der weiten Interpretation durch das Bundesverfassungsgericht als möglich erscheint (vgl.

BVerfGE 39, S. 113 ff.; BRANDT, 1987, S. 144 ff.; BREUER, 1987, S. 751 ff.). Dabei gilt es aber zu berücksichtigen, daß der Weg über die Finanzhilfen eine Vollfinanzierung der Altlastensanierung durch den Bund ausschließt. Da die finanziellen Zuwendungen des Bundes an die Länder im Rahmen des Artikel 104 a Abs. 4 Satz 1 GG nur Hilfen sein sollen, darf sich der Bund an den Investitionsausgaben nur unterstützend beteiligen. Die Höhe der Beteiligung ist aber grundgesetzlich nicht vorgeschrieben und kann daher beträchtlich ausfallen (vgl. BRANDT, 1987, S. 145).

**736.** Die Belastung der Wirtschaftsunternehmen mit einer Zwecksteuer auf die chemischen Grundstoffe bedeutet auch keinen Verstoß gegen das steuerrechtliche Postulat der Lastengleichheit (Artikel 3 GG). Wenn auch mangels Äquivalenz keine rechtliche Verantwortung der heute produzierenden Unternehmen für die Altlasten festgestellt werden kann, so stehen diese durch die Verwendung der in den Altlasten vorgefundenen Stoffe dem Finanzierungszweck Altlastensanierung aus rechtspolitischen Gründen doch näher als die Allgemeinheit der Steuerzahler. Das gleiche gilt für die Erzeuger oder Besitzer von Sonderabfällen.

**737.** Diese Überlegungen zeigen, daß Zwecksteuern als Finanzierungsart für die Sanierung von Altlasten unter rechtlichen Gesichtspunkten in Betracht kommen.

#### 6.3.4 Kooperationsmodelle

**738.** Rheinland-Pfalz hat als erstes Bundesland die Finanzierung der Altlasten nach dem umweltrechtlichen Kooperationsprinzip vorgenommen. Das Modell, das gewissermaßen den Prototyp dieser Finanzierungsart darstellt, zeichnet sich dadurch aus, daß Land, Kommunen und Wirtschaft freiwillig und einvernehmlich zur Bewältigung der Altlastenproblematik zusammenarbeiten.

Eine Kooperationsvereinbarung zwischen Land und Industrie auf vertraglicher Grundlage ist nunmehr auch in Bayern geschlossen worden; in Hessen umfaßt sie Land, Kommunen und Wirtschaft, während in Baden-Württemberg eine solche Vereinbarung auf Land und Kommunen beschränkt ist (s. Abschn. 6.4.3).

**739.** Es erhebt sich jedoch die Frage, ob diese gesetzesvertretenden Absprachen rechtlich zulässig sind. Absprachen zwischen staatlicher Exekutive und Wirtschaft fallen in den Bereich des sogenannten informellen Verwaltungshandelns. Die Behandlung solcher informeller Absprachen läßt sich nicht allgemeinverbindlich, sondern nur individuell vornehmen. Als Sanierungsinstrument sind sie grundsätzlich zulässig. Die informellen Absprachen bewegen sich nicht im rechtsfreien Raum, sondern auch sie sind rechtlichen Schranken unterworfen, bei deren Überschreiten sie rechtswidrig werden. Die in Grundrechte Dritter eingreifenden Absprachen sind grundsätzlich nur innerhalb der grundrechtlichen Schranken zulässig (OEBBECKE, 1986, S. 798). Grundrechtsverletzungen oder Verstöße gegen Rechtsvorschriften sind in den Koope-

rationsmodellen nicht ersichtlich. Ein Grundrechtsverzicht der an der Absprache Beteiligten wird von zahlreichen Vertretern des Schrifttums für zulässig erachtet (OEBBECKE, 1986, S. 799).

**740.** Für die Lösung mancher Probleme des Umweltschutzes und zur Erreichung der Ziele einer modernen Abfallwirtschaft sind die informellen Absprachen grundsätzlich geeignet (KAISER, 1971, S. 587). Sie bieten den Vorteil der schnellen Wirkung, der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit sowie der Aufwands- und Kostenminderung für Staat und Unternehmen. Nachteile ergeben sich aus der rechtlichen Unverbindlichkeit von Absprachen. Sie brauchen bei einer Änderung der Situation, etwa der Wirtschaftslage oder dem Aufkommen neuer Techniken, nicht mehr beachtet zu werden. Die Einhaltung der Absprachen kann vom Staat nicht erzwungen werden.

#### 6.3.5 Finanzierungsmodelle und Europarecht

**741.** Unabhängig von den verschiedenen Finanzierungsmodellen zur Altlastensanierung stellen sich auf der EG-Ebene zwei Fragen. Zunächst geht es darum, ob eine solche Finanzierung eine unzulässige staatliche Beihilfe im Sinne des Artikel 92 Abs. 1 EWGV ist. Zum anderen ist zu untersuchen, ob eine Abgabe zur Finanzierung der Altlastensanierung mit der von der EG angestrebten Steuerharmonisierung vereinbar ist (vgl. BREUER, 1987, S. 761).

##### 6.3.5.1 Die Finanzierung der Altlastensanierung als zulässige Beihilfeform im Sinne des EG-Rechts

**742.** Die Zulässigkeit von staatlichen Beihilfen an Unternehmen oder Produktionszweige wird im einzelnen im EWG-Vertrag geregelt (Artikel 92 Abs. 1 EWGV). Der Beihilfebegriff wird dabei weit ausgelegt, wobei der Subventionsbegriff eingeschlossen wird. Unter den Beihilfebegriff fallen neben positiven Geld- und Sachleistungen auch solche staatlichen Maßnahmen, die Belastungen reduzieren, die Unternehmen normalerweise zu tragen haben. Das gilt auch bei Zuwendungen im Falle von Umweltbeeinträchtigungen. Sofern eine staatliche Beteiligung an den Kosten zur Beseitigung von Umweltbeeinträchtigungen erfolgt, liegt eine Beihilfe vor. Eine solche Beihilfe ist jedoch nur dann unzulässig, wenn sie mit dem Gemeinsamen Markt der EG nicht vereinbar ist (von WALLEMBERG, 1988, Artikel 92 Rn. 2 ff.). Das wäre ohne Zweifel dann gegeben, wenn die Finanzierung zur Altlastensanierung gegen das auch in der EG geltende Verursacherprinzip (vgl. Artikel 130 r Abs. 2 EWGV) verstoßen würde. Ein solcher Verstoß könnte insbesondere dadurch gegeben sein, daß mit Hilfe der Finanzierungsmodelle Altlasten entsorgt werden sollen, die eigentlich von den Verursachern zu beseitigen wären. Folglich wurde das Verursacherprinzip ursprünglich als absolutes Subventionsverbot interpretiert (MESSERSCHMIDT, 1986, S. 88). Inzwischen ist aber erkannt worden, daß der Gehalt des Verursacherprinzips nicht ausreicht, um die Umweltschädigungen auszugleichen. Häufig sind die Verursacher nicht heranziehbar oder nicht in der Lage, die erforder-



derlichen Mittel zu erbringen. Daher wird das Verursacherprinzip durch das Gemeinlastprinzip ergänzt, wonach die Kosten des Umweltschutzes der Allgemeinheit auferlegt werden. Nach Auffassung der Bundesregierung kann aber das Gemeinlastprinzip nur dann Geltung beanspruchen, wenn der Verursacher nicht feststellbar ist oder wenn akute Notstände beseitigt werden müssen und dies auf anderem Wege nicht rasch genug erreicht werden kann (BT-Drucksache 10/6028, S. 13; vgl. HOPPE und BECKMANN, 1989, § 5 Rn. 27). In der Rechtswirklichkeit der Altlastensanierung läuft das Verursacherprinzip weitgehend leer. Durch die Finanzierung der Altlastensanierung über die Finanzierungsmodelle wird dieses Prinzip nicht verletzt, da sie erst erfolgt, wenn der Verursacher nicht herangezogen werden kann.

**743.** Für eine nach EG-Recht zu beurteilende Beihilfe ist des weiteren die „fehlende Gegenleistung“ der begünstigten Unternehmen charakteristisch, das heißt, die erhaltene Beihilfe muß unentgeltlich sein, was auch dann gegeben ist, wenn Unternehmen nur eine symbolische Gegenleistung für die Beihilfe erbringen (von WALLENBERG, 1988, Artikel 92 Rn. 7). Sofern im Rahmen der Finanzierungsmodelle Einrichtungen bzw. Unternehmen finanzielle Zuwendungen erhalten, um die Beseitigung der Altlasten bewirken zu können, und damit eine echte Gegenleistung erbringen, ist eine Unentgeltlichkeit und ein Verstoß gegen Artikel 92 Abs. 1 EWGV zu verneinen.

**744.** Im übrigen ist eine Beihilfe dann mit dem Gemeinsamen Markt der EG vereinbar, wenn ein Ausnahmetatbestand des Artikel 92 Abs. 2 oder Abs. 3 EWGV vorliegt. Für die Beseitigung von Altlasten ergibt sich eine solche Ausnahme aus Artikel 92 Abs. 3 lit. b EWGV. Danach sind Beihilfen unter anderem zur Förderung wichtiger Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse zulässig. Der Umweltschutz gilt dabei als ein solch wichtiges Vorhaben, da er nach der Rechtsprechung und dem Schrifttum zu den vorrangigen Zielen der EG gehört (EuGH, Rs. 240/83, Slg. 1985, 548f.; von WALLENBERG, 1988, Artikel 92 Rn. 79).

Nach den Leitlinien der EG-Kommission von 1974, die 1980 und 1986 unter leichter Abänderung fortgeschrieben wurden, sind bestimmte Kriterien für eine zulässige mitgliedstaatliche Beihilfe zu erfüllen (EG-Kommission, 1987, S. 171f.; vgl. dazu KRÄMER, 1989, S. 360).

Darüber hinaus sind aber staatliche Beihilfen im Umweltschutz gerade dann als zulässig erachtet worden, wenn sie im Rahmen anderer Politiken gewährt worden sind, die zur Lösung strukturbedingter Probleme industrieller oder regionaler Art beigetragen haben (BEHRENS, 1977, S. 248). Unter diesem Gesichtspunkt ist eine Beihilfe zur Sanierung der Altlasten in weiten Bereichen zulässig, da die Altlastensanierung für die Zukunft der betroffenen Gebiete von besonderer Bedeutung sein wird.

Ebenso ist eine staatliche Beihilfe an Einrichtungen, die öffentliche Umweltschutzanlagen verwalten, dann als zulässig anzusehen, wenn die entstehenden Ausgaben nicht sofort durch die Abgaben der diese Anlage benutzenden Verursacher abgedeckt werden können (BEHRENS, 1977, S. 248; REHBINDER und

STEWART, 1985, S. 229). Auch unter diesem Gesichtspunkt können Finanzierungsmodelle zur Beseitigung der Altlasten gerechtfertigt werden.

**745.** Inzwischen hat die EG-Kommission als Folge von Veränderungen der Rahmenbedingungen der Umweltpolitik eine Überprüfung der uneingeschränkten Anwendung des Verursacherprinzips und der darauf beruhenden Leitlinien eingeleitet. Die Kommission weist nunmehr darauf hin, daß nationale Umweltschutzprojekte unter anderem auch dann beihilfefähig sind, wenn sie weitergehende Umweltmaßnahmen anstreben, als sie nach den Anforderungen der EG vorgesehen sind (EG-Kommission, 1989, S. 17). Dies ist im Hinblick auf den neu eingeführten Artikel 130 t EWGV nur konsequent, da nach dieser Norm die einzelnen Mitgliedstaaten auch schärfere Maßnahmen zum Schutze der Umwelt erlassen können, sofern sie mit dem EWG-Vertrag vereinbar sind.

Zu einer solchen Schutzmaßnahme gehört dann aber auch die staatliche Finanzierung solcher Projekte, die zur Beseitigung der Gefahren durch Altlasten beitragen. Auch aus diesem Grunde verstößt eine solche Finanzierung nicht gegen gemeinschaftsrechtliche Bestimmungen.

#### 6.3.5.2 Das Verhältnis der Finanzierungsmodelle zur Steuerharmonisierung der EG

**746.** Der Begriff „Steuerharmonisierung“ wird in einem weiten und in einem engen Sinne verstanden. Im weiten Sinne sind damit alle Maßnahmen gemeint, die darauf abstellen, die steuerlichen Vorschriften und Praktiken einzelner Mitgliedstaaten mit den Zielen des EWG-Vertrages zu vereinbaren. Dagegen wird unter Harmonisierung im engen Sinne die Anpassung der allgemeinen steuerlichen Regelungen verstanden. Harmonisierung heißt dabei nicht Vereinheitlichung. Um dem Aspekt der nationalen Gestaltungsautonomie Rechnung zu tragen, ist eine Situation dahin gehend anzustreben, daß durch finanzpolitische Maßnahmen keine solchen Wirkungen entstehen, die die Herstellung binnenmarktähnlicher Verhältnisse im Wirtschaftsverkehr zwischen den Mitgliedstaaten behindern. Steuervorschriften dürfen daher einerseits nicht zum Hemmschuh der europäischen Integration werden, andererseits bleibt aber durchaus Raum für unterschiedliche steuerliche Maßnahmen in den Mitgliedstaaten (GROEBEN et al., 1983, Vorbemerkung zu Artikel 95–99 EWGV Rn. 9f.). Somit kann festgehalten werden, daß trotz einer geplanten Steuerharmonisierung der EG noch nationale Abgabegestaltungen möglich sind.

**747.** Die Richtschnur für die Steuerharmonisierung ergibt sich aus dem Benachteiligungsverbot des Artikel 95 EWGV. Die Vorschrift regelt in erster Linie die Erhebung von Abgaben auf Waren. Danach ist es unzulässig, auf Waren anderer Mitgliedstaaten eine höhere Abgabe als auf inländische Waren zu erheben. Die Vorschrift soll sicherstellen, daß ausländische Erzeugnisse nicht durch eine indirekte Besteuerung (z. B. Umsatzsteuer, Verbrauchssteuer) schlechter gestellt werden als inländische (GROEBEN et al., 1983, Artikel 95 Rn. 1).

**748.** Bei einigen Finanzierungsmodellen scheidet ein Verstoß gegen die steuerlichen Vorschriften des EWG-Vertrages bereits deshalb aus, weil es an einer „Abgabe“ fehlt. So sehen zum Beispiel sowohl das rheinland-pfälzische Kooperationsmodell als auch das nordrhein-westfälische Lizenzmodell keine Abgabe auf eine Ware vor. Während das erstgenannte Modell eine freiwillige Beteiligung an der Kostenlast vorsieht (vgl. BRANDT und LANGE, 1987, S. 17), geht das letztgenannte Modell von einem Lizenzentgelt in Form einer Gebühr aus, die für den Zugang zu dem Zweckverband zu entrichten ist (BREUER, 1987, S. 760f.; SALZWEDEL, 1987, S. 45ff.).

**749.** Eine andere rechtliche Bewertung könnte sich für das vom Hamburger Entwurf vorgesehene Modell einer sogenannten Zwecksteuer für bestimmte Produkte ergeben (Tz. 729ff.; vgl. BRANDT und LANGE, 1987, S. 17). Unabhängig davon, ob es sich hierbei um eine Steuer oder Sonderabgabe handelt, werden solche sogenannten Lenkungsabgaben – wie z. B. eine Altlastenabgabe, Produkt- oder Chemikaliensteuer – von den steuerlichen Vorschriften des EG-Rechts erfaßt. Artikel 95 EWGV verbietet Lenkungsabgaben in dieser Form jedoch nur dann, wenn ausländische Waren höher belastet sind als inländische (MACKENZIE, 1978, S. 48ff. und S. 122ff.).

Dieses trifft im Falle der geplanten Zwecksteuer nicht zu. Der Hamburger Entwurf sieht eine bundeseinheitliche Lösung vor, die sich aufgrund der vorgegebenen Kompetenzen auch nur auf das Bundesgebiet erstreckt (vgl. BREUER, 1987, S. 760). Durch die Erhebung einer Zwecksteuer auf „inländische“ Waren würden ausländische Produkte keineswegs diskriminiert, so daß unter EG-rechtlichem Gesichtspunkt dieses Modell ebenfalls zulässig wäre. Auch die EG-Kommission hat nunmehr in ihrer Stellungnahme zum Verursacherprinzip darauf hingewiesen, daß Finanzmittel zur Altlastensanierung unter anderem dadurch aufgebracht werden können, daß die jeweiligen Industriezweige kostenmäßig belastet werden (EG-Kommission, 1989, S. 17). Dem entspricht die Funktion der Zwecksteuer.

**750.** Hinzu kommt, daß der Umweltschutz aufgrund der bereits genannten Regelung des Artikel 130 r Abs. 2 Satz 2 EWGV auch Bestandteil der Steuerpolitik der EG ist. Daher sind die EG-Organen in diesem Bereich ebenfalls gezwungen, die Zielsetzungen des Umweltschutzes zu beachten (vgl. SEIDEL, 1989, S. 445f.). Das bedeutet zugleich, daß die Steuerpolitik der EG im Rahmen der Steuerharmonisierung nicht zu Lasten der Zielsetzungen im Umweltschutz gehen darf. Auch unter diesem Gesichtspunkt ist daher eine Abgabe zur Finanzierung der Altlastensanierung gerechtfertigt, zumal weitergehende nationale Schutzmaßnahmen nach Artikel 130 t EWGV insbesondere dann gerechtfertigt sind, wenn es um den Schutz der Gesundheit und des Lebens von Menschen, Tieren oder Pflanzen im Sinne von Artikel 36 EWGV geht. Letztendlich besteht nach dem EG-Recht sogar die Möglichkeit, Maßnahmen mit „handelsbeschränkender“ Wirkung dann zu ergreifen, wenn der Umwelt irreversible Schäden drohen (GRABITZ, 1988, Artikel 130 t Rn. 11f.). Zur Verhinderung solcher Schäden dient auch die Finanzierung der Altlastensanierung.

Eine Abgabe zur Finanzierung dieser Altlastensanierung ist daher auch mit der geplanten Steuerharmonisierung der EG vereinbar.

#### 6.4 Finanzierungsmodelle in ökonomischer Sicht

**751.** Zur Lösung des Finanzierungsproblems bei der Altlastensanierung gibt es, wie in Kapitel 6.3 dargelegt, eine Reihe von Modellen und Modellvorschlägen, die dann Anwendung finden sollen, wenn es keinen rechtlich heranziehbaren und zugleich finanzkräftigen Verantwortlichen gibt. Die einzelnen Vorschläge sind dabei jeweils nicht nur einem Kostenzurechnungsprinzip zuzuordnen, sondern im Regelfall handelt es sich um Kombinationslösungen. Im folgenden sollen die derzeit am stärksten diskutierten Finanzierungsmodelle in der Bundesrepublik unter ökonomischen Aspekten beurteilt werden. Inwieweit die aus den Finanzierungsmodellen aufgebrachten Mittel für die Sanierung von Altablagerungen oder auch von Altstandorten verwendet werden, sollte jedes Bundesland für sich selbst entscheiden.

Der Rat hat keine Betrachtungen zu ausländischen Finanzierungsmodellen vorgenommen, da die umweltpolitische Ausgangslage mehr oder weniger große nationale Unterschiede aufweist. Die Situationen in den Ländern der Europäischen Gemeinschaft beschreiben GIESELER et al. (1987). Über den Stand und die Erfahrungen mit der Fondslösung in den USA berichten FRANZIUS (1989) und MELLER (1987).

##### 6.4.1 Bundesweite Grundstoffabgaben, insbesondere Grundstoffsteuern, als Finanzierungsquelle

###### Allgemeine Aspekte

**752.** Der Vorschlag einer bundesweiten Grundstoffabgabe sieht, wie in Abschnitt 6.3.3 dargestellt, eine Steuer auf bestimmte, in der Produktion eingesetzte, chemische Grundstoffe vor (BRANDT und LANGE, 1987; HAJEN, 1986). Er beruht nicht zuletzt auf der Überlegung, durch eine länderübergreifende Regelung Wettbewerbsungleichheiten zu vermeiden.

**753.** Wenn man davon ausgeht, daß heranzuziehende Verursacher und Verantwortliche (im Sinne von Kap. 7.1) bereits berücksichtigt wurden, kann eine Grundstoffsteuer nicht mit der individuellen rechtlich begründbaren Verantwortlichkeit gerechtfertigt werden, die eine bestimmte Gruppe hatte oder hat. Vielmehr könnte sie allein mit dem Gruppenlastprinzip und folglich mit der Annahme begründet werden, daß diese Gruppe mit dem Altlastenproblem und damit dem Finanzierungszweck stärker verbunden sei als die Allgemeinheit (vgl. Abschn. 6.2.1).

Dies aber erscheint bei der Grundstoffsteuer als problematisch. Nimmt man die Absicht hinzu, Anreizeffekte zu erzielen, so wird die Schwierigkeit noch größer. Insgesamt müßte eine Steuer, die sowohl Anreize für eine zukünftige Vermeidung von Schadstoffen gibt, wie dies für eine Grundstoffsteuer auch ohne

Finanzierungsfunktion beabsichtigt ist, als auch eine nachträgliche Internalisierung externer Kosten bei den Verursachern anstrebt, folgende Bedingungen erfüllen:

- Die heutigen Grundstoffproduzenten müssen mit den für die Altlasten verantwortlichen Produzenten möglichst weitgehend übereinstimmen.
- In gleicher Weise müssen die besteuerten Grundstoffe mit den Stoffen der Altlasten identisch sein.
- Die Höhe der Steuer darf nicht nur Finanzierungsziele verfolgen, sondern muß sich an der jeweiligen Umweltrelevanz des Grundstoffes ausrichten.
- Es dürfen keine Steuerwirkungen auftreten, die zur Folge haben, daß besteuerte Grundstoffe durch andere Stoffe substituiert werden, deren Verwendung ähnliche, aber oft noch unbekannte Gefährdungen im Hinblick auf zukünftige Altlasten mit sich bringen kann.

**754.** Diese Bedingungen dürften mit der Grundstoffsteuer kaum zu erfüllen sein, so daß die Gefahr umweltpolitisch unerwünschter Wirkungen besteht. In den meisten Fällen besteht wohl nur eine schwache Korrelation zwischen Steuerbemessungsgrundlage und Altlast. Dadurch kann der Fall eintreten, daß der eigentliche Verursacher seinen Finanzierungsanteil an der Altlast senken kann, indem er den betreffenden Grundstoff zu einem Zeitpunkt substituiert, in welchem Umweltschäden bereits eingetreten sind, die Abgabe aber noch nicht oder nur zum Teil erhoben worden ist (KARL, 1987). Es besteht auch die Möglichkeit, daß er bei Nicht-Substitution überproportional zur Finanzierung herangezogen wird.

#### 6.4.2 Lizenzlösungen

**755.** In Nordrhein-Westfalen ist das in Abschnitt 6.3.1 dargestellte und unter rechtlichen Gesichtspunkten behandelte Lizenzmodell entwickelt worden.

**756.** Wenn vordergründig betrachtet das als Obergrenze vorgesehene Aufkommen aus Lizenzentgelten von 50 Mio DM jährlich angesichts des zukünftigen Finanzierungsbedarfs recht niedrig erscheint, muß doch betont werden, daß die Lizenzentgelte nur einen Einnahmebestandteil neben anderen Quellen wie Zuschüssen aus dem Landeshaushalt, Strukturhilfemitteln des Bundes usw. ausmachen. Hinzu tritt vor allem die strenge Subsidiarität des Modells, welches nur zur Vorfinanzierung in Fällen streitiger Rechtslage oder noch nicht ausfindig gemachter Störer Mittel zur Verfügung stellt.

**757.** Das nordrhein-westfälische Gesetz hat eine intensive Diskussion auch über ökonomische Aspekte der Lizenzlösung nach sich gezogen. Dabei wurden insbesondere die Wirksamkeit und Allokationseffizienz einer solchen Lösung erörtert.

Die Lizenzen werden für das Recht ausgegeben, Sonderabfallbehandlung und -ablagerung durchführen zu können, und räumen somit deren Inhabern eine

Vorrangstellung vor konkurrierenden Bewerbern ein, sofern diese nicht ohne Schwierigkeiten dem Kreis der Lizenznehmer beitreten können. Das von den Betreibern der Abfallentsorgungsanlagen erhobene Lizenzentgelt soll auf die anliefernden Abfallerzeuger überwältzt werden, so daß bei letzteren ein Anreiz zur Abfallvermeidung gegeben ist.

**758.** Probleme bei dieser beabsichtigten Wirkungskette dürften, unabhängig von der spezifischen Lösung in Nordrhein-Westfalen, insbesondere mit einer denkbaren Festlegung des gesamten Lizenzkontingents und mit der Lizenzpreisbildung auftreten.

**759.** Ein mögliches Lizenzkontingent dürfte, wenn es eingeführt würde – bei gegebenem Preis –, einerseits nicht zu hoch bemessen sein, wenn besondere Anreize zur Abfallvermeidung damit beabsichtigt sind. Andererseits wären die Effekte und Anpassungsreaktionen einer knappen Lizenzmenge im privaten Sektor zu prüfen. So sollte das Gesamtkontingent weiterhin ein Wachstum der entsprechenden Sonderabfall erzeugenden Branchen ermöglichen. Aus diesen Gründen ist bei Lizenzmodellen vorab genau zu untersuchen, ob die Lizenzvergabe unbeschränkt oder begrenzt erfolgen soll.

**760.** Des weiteren muß berücksichtigt werden, daß mittel- bis langfristig ein Konflikt zwischen einem unter Vermeidungs- und Verwertungszielen hohen Lizenzpreis – woraus eine zurückgehende Menge an Abfall sowie entsprechend eine Verringerung der Lizenzeinnahmen resultiert – und einem erwünschten hohen Finanzierungsbeitrag besteht. Die in Nordrhein-Westfalen festgelegte Höhe der Lizenzentgelte (GVBl. NW 1989, S. 334 ff.) dürfte aber deutlich unter dem Niveau liegen, auf dem Abschreckungseffekte zu erwarten sind.

**761.** Unter Verursachungsgesichtspunkten problematisch könnte die Tatsache werden, daß die Lizenz bei Entsorgungsrechten und damit beim Betreiber der Entsorgungsanlage und nicht beim Abfallproduzenten ansetzt. Verursachungsgerecht wäre diese Lizenz somit dann, wenn es dem Entsorger gelänge, seine aufgrund des Lizenzerwerbs höheren Kosten voll auf die Sonderabfallproduzenten zu überwälzen und letztere auch noch mit den Verantwortlichen für die Altlastenprobleme identisch wären. Wenn die Lizenz dagegen auf alle Abfallproduzenten überwältzt wird, erfolgt die Finanzierung der Altlastensanierung auch durch Produzenten, deren Beitrag zum Altlastenproblem gering war oder gar nicht vorhanden ist.

**762.** Bemessungsgrundlage des Lizenzpreises sowie eines eventuellen Lizenzkontingents ist nicht – und kann sinnvollerweise auch nicht sein – der Finanzbedarf der Altlastensanierung, sondern eine Veranschlagung der wirtschaftlichen Vorteile, die dem Entsorger mit der Lizenz gewährt werden. Somit läßt sich von vornherein kaum ein enger Zusammenhang zwischen der Höhe des Lizenzpreises und den Sanierungskosten herstellen (KARL, 1987). Im übrigen ist zu berücksichtigen, daß eine auf wenige Abfallbehandlungsanlagen beschränkte Lizenzvergabe zu einer Begrenzung des Wettbewerbs führen würde, die unnötig hohe Kosten und eine Konservierung von ver-

alteten Strukturen insbesondere in altindustriellen Räumen mit knappen Sondermüllkapazitäten mit sich bringen würde (KARL, 1988). Unter Wettbewerbsaspekten positiv kann die Lizenzvergabe dann wirken, wenn das Monopol eines Fremdentorsgers droht und durch eine Begrenzung seiner lizenzierten Menge verhindert wird.

**763.** Wichtiger ist jedoch die Frage des Zusammenhangs zwischen der Lizenzbemessungsgrundlage und der Verursachung der zu sanierenden Altlasten. Das Aufkommen aus den Lizenzentgelten soll, zusammen mit den weiteren Mitteln, in Nordrhein-Westfalen für Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren aus Altlasten, die Entwicklung neuer Technologien zur Vermeidung und Entsorgung von Sonderabfällen sowie die Planung und Errichtung von Entsorgungsanlagen für solche Abfälle verwendet werden. Während im ersten Punkt noch ein Bezug zur Altlastensanierung gegeben ist, auch wenn der direkte Zusammenhang zur Verursachung nur besteht, wenn der heutige Anlieferer dem damaligen Verursacher entspricht, haben der zweite und dritte Punkt zu der Verursachung derzeitiger Altlasten keine direkte Beziehung.

#### 6.4.3 Kooperationsmodelle

**764.** Der Begriff der Kooperation wurde in der Erörterung der Umweltpolitik bisher überwiegend auf Absprachen zwischen für den Umweltschutz zuständigen Behörden und Unternehmen bezogen. Sie wurden vor allem in Umweltbereichen realisiert, in denen ein ordnungsrechtliches Instrumentarium wegen der Möglichkeit einer Absprache als nicht nötig oder auch wegen der zu erwartenden Widerstände der betroffenen Wirtschaftsverbände oder anderer Interessengruppen nur schwer durchführbar erschien.

**765.** Die im Bereich Altlastensanierung so bezeichneten „Kooperationsmodelle“ betreffen hingegen einen anderen Sachverhalt. Hier handelt es sich aufgrund des schwer zu bestimmenden Verursachungsbezugs um die Finanzierungsbeitragung von Instanzen bzw. Gruppen, für deren Mitfinanzierung der Altlastensanierung eine Reihe von Gründen spricht (Tz. 708). Alle Kooperationsverträge enthalten eine mehr oder minder strikte Subsidiaritätsklausel, nach der die Sanierungskosten nur dann übernommen werden, wenn ein Verantwortlicher zur Zahlung nicht herangezogen werden kann. Auf diese Weise soll eine möglichst weitgehende Aufrechterhaltung des umweltrechtlichen Verursacherprinzips gewährleistet werden.

**766.** Im Gegensatz zu dem Lizenzmodell ist die Beteiligung der Industrie nicht in allen vorhandenen Kooperationsmodellen gewährleistet, so daß unter ökonomischen Anreizaspekten zur zukünftigen Vermeidung gewisse Nachteile zu verzeichnen sind. Weiterhin ist auch bei industrieller Finanzierungsbeitragung noch nicht in allen Modellen geklärt, wie dieses Aufkommen erzielt werden soll. Im übrigen muß betont werden, daß der Begriff des Kooperationsmodells nicht ausschließt, daß auch in den anderen Modellen eine Kooperation zwischen verschiedenen Gruppen gesucht bzw. betrieben wird.

#### Rheinland-Pfalz

**767.** Das erste Kooperationsmodell zur Finanzierung der Altlastensanierung wurde in Rheinland-Pfalz entwickelt. Es zeichnet sich durch eine freiwillige Zusammenarbeit von Staat, Kommunen und Wirtschaft aus. Es sieht vor, daß die fehlenden Mittel je zur Hälfte durch das Land und die „Gesellschaft zur Beseitigung von Sonderabfällen“ in Rheinland-Pfalz (GBS) gedeckt werden sollen, wenn die Finanzierungsbeiträge der im haftungsrechtlichen Sinne Verantwortlichen aus bestimmten Gründen nicht ausreichen, um die Sanierungskosten zu decken. Die GBS ist eine privatrechtliche Gesellschaft aus Gesellschaftern des Landes, der Kommunen und der Industrie, die als eine Aufgabe eine Begrenzung und Konkretisierung der Sanierungsvorhaben in zeitlicher, finanzieller und sachlicher Hinsicht nach Maßgabe eines konkreten Sanierungsprogramms vornimmt. Die Sanierungsvorhaben der GBS werden aus Beiträgen der Verantwortlichen, Landeszuwendungen und einem Zuschlag zu den Gebühren für die Sonderabfallentsorgung finanziert (STRICKRODT, 1988). Der Gesellschaftsvertrag enthält eine Subsidiaritätsklausel, nach der die Gesellschaft die Sanierungskosten nur dann zu tragen hat, wenn ein Verantwortlicher zur Zahlung nicht herangezogen werden kann. Auf diese Weise wird die Aufrechterhaltung des umweltrechtlichen Verursacherprinzips gewährleistet.

Dieses Modell ist durch eine Mischfinanzierung zur Altlastensanierung gekennzeichnet, die aus vier Finanzierungsströmen mit unterschiedlichem und nicht genau festlegbarem Gewicht besteht:

- Beiträge und Zuwendungen des Landes
- Beiträge der Kommunen
- Beiträge der Industrie und
- Entgelte aus Zuschlägen für die Sonderabfallentsorgung.

**768.** Bei einer Beurteilung dieses Modells muß vorweg betont werden, daß Rheinland-Pfalz durch seine agrarische Struktur geprägt ist und der industrielle Bereich insbesondere durch die chemische Industrie bestimmt wird. Daher dürfte es in diesem Bundesland vergleichsweise einfacher gewesen sein, eine Finanzierungsbeitragung der Industrie zu erreichen. Mitentscheidend für die freiwillige Beteiligung war wohl auch die Tatsache, daß die Industrie hierdurch eine zukünftig höhere Akzeptanz in der Bevölkerung erwartet (vgl. SCHMEKEN, 1989) und zudem angesichts des gesamten Finanzierungsvolumens von 50 Mio DM in 4 Jahren, das noch von anderen Gruppen mitgetragen wird, der finanzielle Aufwand geringer ausfallen dürfte als bei anderen Lösungen.

#### Bayern

**769.** Auch in diesem Bundesland wurde ein Modell zur Finanzierung der Altlastensanierung geschaffen. Ähnlich wie in Rheinland-Pfalz ist eine Kooperationsvereinbarung zwischen Staat und Industrie auf vertraglicher Grundlage geschlossen worden. Jedoch sehen die geplanten Finanzierungsströme hier etwas

anders aus. Der „Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern“ (GAB) gehören nur die bayerische Industrie und der Freistaat Bayern an (Landesverband der Bayerischen Industrie e.V., 1989). Die Kommunen lehnen es ab, sich an diesem freiwilligen Kooperationsmodell zu beteiligen. Die Industrie und das Land Bayern beteiligen sich für 10 Jahre mit jeweils 3 Mio DM jährlich an der Finanzierung der Gesellschaft. Das Modell ist ebenso streng am Subsidiaritätsprinzip ausgerichtet wie dasjenige Nordrhein-Westfalens (Tz. 756).

Die Mittelaufbringung der Industrie aus Beiträgen der Mitgliedsunternehmen erfüllt nicht nur Finanzierungsfunktionen, sondern auch gewisse Anreizfunktionen, da der Beitragsschlüssel einen Schwerpunkt des Beitragsaufkommens durch Unternehmen mit Sondermüllanfall vorsieht. Die Nichtbeteiligung der Kommunen muß als nachteilig gesehen werden, da dies dazu führen kann, daß zunächst nur Altstandorte oder vorwiegend von der Industrie beschickte Altablagerungen saniert werden. Die Sanierung der übrigen Altablagerungen auf kommunalem Gebiet wäre dann im übrigen wohl von den einzelnen kommunalen Gebietskörperschaften selbst zu finanzieren.

#### Baden-Württemberg

**770.** Auch das baden-württembergische Finanzierungs-konzept (GABl. BW 1988, S. 113 ff.) ist durch die Bildung eines Altlastenfonds geprägt, mit dem eine Finanzierung der Maßnahmen zur Erfassung, Sanierung und Überwachung von Altlasten vorgesehen ist. Als Nachteil dieses Konzepts ist zu betonen, daß derzeit keine industrielle Beteiligung an der Fondsfinanzierung besteht. Die Finanzierung des angestrebten jährlichen Volumens von 100 Mio DM wird zum einen durch 15 Mio DM aus dem Landesökologieprogramm (insbesondere durch den Wasserpfeffig) gewährleistet, während der Rest zu 25 Prozent durch allgemeine Haushaltsmittel des Landes und zu 75 Prozent durch die Kommunen aufgebracht werden soll, so daß durch dieses Modell vorwiegend nur Finanzierungsfunktionen erfüllt werden. Das Subsidiaritätsprinzip wird hierdurch verdrängt; allerdings ist zu beachten, daß zumindest zur Zeit nur die Erkundung, nicht aber nachfolgende Maßnahmen der Sanierung zu hundert Prozent aus Mitteln des Fonds gefördert werden. Da durch den Fonds aber auch Sanierungen industriell verursachter Altlasten vorgenommen werden sollen, sofern die nach dem Ordnungsrecht Verantwortlichen nicht herangezogen werden können und die betreffende Fläche in das Eigentum einer Gemeinde gelangt ist, ist es sowohl im Hinblick auf die Schaffung von Anreizaspekten als auch unter dem Gesichtspunkt des genannten Gruppenlastprinzips (Tz. 708) als nachteilig anzusehen, daß die Industrie bisher noch nicht einbezogen werden konnte. Das Ergebnis der Bemühungen, das Konzept durch eine auf Sonderabfälle erhobene Abgabe zu ergänzen, bleibt abzuwarten.

#### Hessen

**771.** In Hessen ist ein neues Abfallgesetz verabschiedet worden, in dem auch Bestimmungen zur Er-

fassung, Untersuchung und Sanierung von Altlasten enthalten sind (GVBl. HE 1989, S. 137 ff.). Verantwortlich für die Altlastensanierung soll die im Gesetz vorgesehene „Altlastensanierungsgesellschaft“ sein, die eine Festlegung der Sanierungsprioritäten vornimmt. Nach einer zwischen dem Land Hessen, den kommunalen Spitzenverbänden und der Industrie getroffenen Vereinbarung wird ein Fonds gebildet werden, aus dem die Finanzierung der Sanierung von Altlasten erfolgt, wenn ein Sanierungsverantwortlicher nicht oder nicht rechtzeitig in Anspruch genommen werden kann. Die zur Verfügung gestellten Mittel sollen zu 50 Prozent vom Land und zu 50 Prozent von der Industrie aufgebracht werden. Träger der Altlastensanierung wird die Altlastensanierungsgesellschaft (§ 22 Abs. 2 AbfG HE) sein, bestehend aus dem Land, den kommunalen Spitzenverbänden und der Industrie. Die Altlastensanierungsgesellschaft erstellt zur Erfüllung ihrer Aufgaben ein vierjähriges Sanierungsprogramm. Die zur Verfügung stehenden Mittel sollen für die ersten drei Jahre insgesamt 50 Millionen DM betragen. Die Finanzierung wird in einem dreijährigen Turnus fortgesetzt. Das Verursacherprinzip wird gemäß § 21 Abs. 2 AbfG HE dann durchbrochen, wenn der an sich Verantwortliche in schutzwürdiger Weise auf die Umweltverträglichkeit seines Handelns vertraut hat. Zusätzlich ist im Gesetz für die Untersuchung und Sanierung kommunal verursachter Altlasten eine Altlastenfinanzierungsumlage vorgesehen, die von Entsorgungspflichtigen erhoben wird und die als Sonderabgabe zu bezeichnen ist (s. dazu Tz. 732). Im Geltungsbereich dieser Umlage wird das Subsidiaritätsprinzip verdrängt. Unabhängig von der Verursacherfrage verbleibt ein Eigenanteil bei den betroffenen Kommunen, der je nach Finanzkraft zwischen 10 und 30 Prozent beträgt.

#### Beurteilung der vorhandenen Kooperationsmodelle

**772.** Für alle Finanzierungsströme in den vorliegenden Kooperationsmodellen lassen sich Gründe anführen, die für eine Mitfinanzierung der Altlastensanierung sprechen, auch wenn im weiteren Verlauf jeweils genau zu beachten sein wird, daß nicht die Gruppen mit wenig faktischem Verursachungsbeitrag überdurchschnittlich herangezogen werden, etwa aus Gründen der leichteren Mittelbeschaffung.

**773.** Landesbeiträge erscheinen zum einen gerechtfertigt als Ausdruck des Gemeinlastprinzips, soweit es um die Finanzierung der Erkundung und Sanierung von Altlasten geht, für die es an der Möglichkeit einer individuellen Zurechnung fehlt; hier ist die Landeszuständigkeit gegenüber einer Bundeszuständigkeit vorzuziehen, da frühere Deponierung und Industriestandortüberwachung Gemeinlastsache war und die Kommunen insoweit der Aufsicht und Gesetzgebung der Länderebene unterliegen. Zum anderen erscheint ein Länderanteil insoweit erforderlich, wie die Finanzkraft der übrigen Beteiligten nicht ausreicht.

**774.** Die Beiträge der kommunalen Gebietskörperschaften kann man als Ausdruck des föderalistischen Verursacherprinzips betrachten. Gleichzeitig können ihre eigenen zusätzlichen Belastungen einen Anreiz bieten, in ihrem Zuständigkeitsbereich nach Priorität-

ten und kosten-nutzenorientiert zu arbeiten, falls sie die Sanierung auch einzelfallspezifisch mitfinanzieren müssen. Selbst wenn sie nicht im Sinne des allgemeinen Polizeirechts verantwortlich sind, besteht doch aufgrund des Standorts der Altlast ein näherer gebietlicher Bezug, der eine Kostenanlastung zu rechtfertigen vermag.

**775.** Hinsichtlich eines Zuschlags für die Sonderabfallentsorgung müssen in bezug auf die Verursachungsgerechtigkeit ähnliche Bedenken angemeldet werden wie bei der in Tz. 757 ff. diskutierten Lizenz, deren Kosten auf die Sonderabfallproduzenten überwältigt werden. Die Sonderabfallproduzenten werden für diesen Finanzierungsteil allein und damit gegenüber anderen Abfallproduzenten überdurchschnittlich herangezogen. Allerdings gilt dieser Einwand hier nicht in vollem Maße, da die Sonderabfallproduzenten nicht die gesamten Sanierungskosten übernehmen, sondern ebenso andere Finanzierungsträger zur Kostendeckung beitragen.

**776.** Der Beitrag der Industrie insgesamt könnte als Teil des Gruppenlastprinzips insoweit angesehen werden, wie heutige Anlieferer den damaligen Verursachern entsprechen. Die Freiwilligkeit des Beitrags paßt zu dem Tatbestand, daß hier keine haftungsrechtlich erhebliche, sondern nur eine faktische frühere Verursachung zugrunde liegt.

**777.** Insgesamt erscheinen Kooperationsmodelle recht brauchbar, weil zum einen weder Gemeinlast- noch Verursacherprinzip zu stark dominieren und zum anderen bei der Durchführung von Sanierungen einzelfallspezifische Modifikationen und eine je nach sich entwickelnder Rechts- und Sachlage erforderliche Variabilität des Modells möglich erscheinen.

Einschränkend muß jedoch auch festgestellt werden, daß breit angelegte Solidargemeinschaften dazu führen können, daß in konkreten Einzelfällen der Altlastenfeststellung und -sanierung die Suche nach dem eigentlichen Verantwortlichen zu früh abgebrochen wird, weil die Finanzierungsmittel anderweitig gesichert erscheinen. Bevor eine auf die konkrete Situation zugeschnittene Verantwortungsgemeinschaft gebildet wird, sollte zuvor festgelegt werden, welche Prioritäten verfolgt werden und welcher Sanierungsaufwand wovon und durch wen auf welche Weise zustande gekommen ist (SALZWEDEL, 1986).

#### 6.4.4 Zusammenfassende Betrachtung

**778.** Angesichts der Vielfalt der Typen von Altlastenfällen einerseits und der diskutierten Finanzierungsmodelle für die Altlastensanierung andererseits muß man feststellen, daß es wohl keine einheitliche Lösung gibt, die allen Sanierungsfällen gerecht wird. Auch wenn eine auf dem Kooperationsprinzip beruhende Lösung, wie sie etwa in Rheinland-Pfalz praktiziert wird, attraktiv und anderen Lösungen überlegen erscheint, sind doch Einschränkungen zu berücksichtigen. Rheinland-Pfalz ist ein Land, in dem die Sonderabfall produzierende Industrie nur aus wenigen Unternehmen besteht. Insofern liegen hier Sonderbedingungen vor, die dieses Land für die Anwendung des Kooperationsmodells besonders günstig er-

scheinen lassen, zugleich aber keine unbesehene Übertragung auf Bundesländer mit einer anderen Wirtschaftsstruktur, das heißt höherer Industrialisierungsgrad, größere Anzahl von einzubeziehenden Branchen und von Industriebetrieben innerhalb dieser Branchen, erlauben.

**779.** Immerhin kann man aber festhalten, daß Mischfinanzierungssysteme anzustreben sind, die sich nicht einseitig auf eine Verursachergruppe — etwa die Industrie — stützen. Eine im Verhältnis der Länder zueinander unterschiedliche Heranziehung der Industrie zur Finanzierung der Altlastensanierung könnte nicht zuletzt zu Konkurrenzschäden der betroffenen Unternehmen gegenüber den in anderen Bundesländern ansässigen Unternehmen führen.

**780.** Unter dem Aspekt, daß jeweils nur ein Teil der Finanzierung ins Auge gefaßt ist, sind auch die Vorschläge einer bundesweiten Besteuerung einzelner Grundstoffe und eines Lizenzverfahrens zu überdenken. Einige der Bedenken gegen diese Finanzierungsverfahren treffen vorwiegend dann zu, wenn nur ein Verfahren mit der daraus resultierenden Höhe der Abgabe und entsprechenden wirtschaftlichen Effekten sowie der entsprechenden alleinigen Zuweisung der Verantwortung für die Altlast an nur eine mehr oder weniger weit definierte Gruppe zur Diskussion steht. Diese Bedenken können sich teilweise reduzieren, wenn mehrere Finanzierungsformen anteilig zum Zuge kommen.

**781.** In der Abwägung der Modelle ist auch zu bedenken, daß die Existenz eines Modells in einem Bundesland die Vorteilhaftigkeit und damit Akzeptanz eines anderen Modells in anderen Bundesländern für bestimmte Gruppen verringern kann. Der Extremfall liegt vor, wenn in einem Land voll nach dem Gemeinlastprinzip, etwa aus allgemeinen Steuermitteln, finanziert würde und im anderen voll durch nur eine Gruppe — etwa die Industrie im Wege der Lizenzgebühren —, die sich dann im Vergleich zu einer breit verteilten Lösung nach dem Gemeinlastprinzip zu Recht übermäßig belastet fühlen müßte. Ein gemischtes Modell, wie etwa ein Kooperationsmodell, steht dazwischen und würde sich von daher für eine in allen Ländern zugleich akzeptable Lösung anbieten.

**782.** Unter Berücksichtigung eines Gruppenlastprinzips sind die Lizenzlösungen einer auf Grundstoffe erhobenen bundesweiten Sonderabgabe oder Zwecksteuer vorzuziehen, wenn der Kreis der heutigen Sonderabfallerzeuger, auf den die Lizenz gerichtet ist, sich stark mit demjenigen deckt, von dem auch Altlasten verursacht wurden. Da dieser Modelltyp im Vergleich zu Grundstoffsonderabgaben zudem stärkere Anreize zur Vermeidung von Sonderabfällen auslöst, dürfte für den Fall, daß eine Kooperationslösung trotz ernsthafter Angebote der öffentlichen Hand nicht zustande kommt, die Lizenzlösung vergleichsweise günstiger zu beurteilen sein.

**783.** Die Finanzierungsmodelle sind aber nicht nur nach der Zuweisung der Verantwortlichkeit und damit der Herkunft der Finanzierungsströme zu beurteilen; vielmehr kommt es auch darauf an, ob das durch die Modelle aufgebrachte Volumen insgesamt bzw. im einzelnen Bundesland dem für diese Fälle erforder-

lichen Finanzierungsbedarf entspricht. Insgesamt ist auch nach dem Auslaufen der derzeitigen Fristen der Modelle mit erheblichem weiterem Finanzierungsbedarf zu rechnen (vgl. Abschn. 5.5.2).

**784.** In diesem Zusammenhang müßte geprüft werden, ob eine langfristige Finanzierungslücke durch neu aufzulegende Finanzierungsprogramme des vorherigen Typs gedeckt werden soll oder ob neben der Industrie auch der Bund sich in irgendeiner Weise an der Finanzierung beteiligen würde. Für diesen Fall wäre auch zu überlegen, ob das Aufkommen aus breit angelegten „Ökosteuern“ oder anderen „Ökoabgaben“ hierfür verwendet werden soll. Grundsätzlich steht der Rat breit angelegten Umweltabgaben skeptisch gegenüber, insbesondere weil mit zunehmender Breite immer weniger die Emission als Anknüpfungspunkt dienen kann und folglich der Vermeidungsanreiz verfehlt wird. Wenn aber solche Abgaben dennoch eingeführt und zudem zweckgebunden ausgestattet sind — wogegen der Rat früher ebenfalls Bedenken geäußert hat (SRU, 1985, Tz. 1404) —, wäre natürlich auch die Altlastensanierung einer von mehreren möglichen Ausgabezwecken. Für den Fall, daß dazu die Form der Sonderabgabe gewählt wird, muß der Erhebungszweck der Sonderabgabe immer in einem sachlichen Zusammenhang mit der Verwendung stehen (Tz. 731), und dabei sind gerade für den Bereich der Altlastensanierung die in Abschnitt 6.3.2 angesprochenen Bedenken anzumelden.

**785.** Die Höhe der aus den Finanzierungsmodellen gespeisten Mittel ist von Land zu Land stark verschieden. Diese länderspezifischen Finanzierungsunter-

schiede korrespondieren nicht unbedingt mit den Schwerpunkten von Altablagerungen und Altstandorten in den jeweiligen Ländern, mit dem Bedarf an Sanierungsmaßnahmen und mit ihrer Dringlichkeit.

Zu dem unterschiedlichen Kostendeckungsgrad durch die Modelle in den Ländern trägt auch ein anderer Sachverhalt bei. Es kann nicht übersehen werden, daß auch bei Ausschöpfung der Möglichkeiten zur vorrangigen Haftbarmachung der Verantwortlichen nach allgemeinem Polizei- und Ordnungsrecht oder nach Spezialgesetzen ein Finanzierungsvolumen verbleibt, das nicht vollständig durch die bisherigen Finanzierungsmodelle gedeckt wird. Diese Differenz variiert zwischen den Bundesländern schon deshalb, weil das Subsidiaritätsprinzip in den verschiedenen Modellen unterschiedlich gehandhabt wird. Modellen mit strenger Verwirklichung der polizei- und ordnungsrechtlichen Verantwortlichkeit stehen Modelle gegenüber, die unter dem Gesichtspunkt des schutzwürdigen Vertrauens die Verursacherhaftung einschränken.

Diese — nach Ländern unterschiedliche — Relativierung des Verursacherprinzips erscheint dem Rat nicht unbedenklich. Auch wird hierdurch die Beurteilung der einzelnen Modelle hinsichtlich der Angemessenheit des veranschlagten Finanzierungsvolumens erschwert. Andererseits verkennt der Rat nicht, daß eine weniger strikte Durchsetzung der polizei- und ordnungsrechtlichen Störerverantwortlichkeit auch die Sanierung zu beschleunigen vermag, weil die Durchsetzung des Verursacherprinzips auf rechtliche und tatsächliche Schwierigkeiten stößt.

## 7 Rechtliche Aspekte bei der Altlastensanierung

### 7.1 Gesetzlicher Rahmen

**786.** Eine Betrachtung der Rechtsregeln, die Auskunft darüber geben, ob Maßnahmen zur Erfassung, Gefährdungsabschätzung und Sanierung vermuteter und tatsächlicher Altlasten zulässig sind, zeigt ein vielschichtiges Bild. Die in diesem Zusammenhang bedeutsamen Rechtsgrundlagen unterscheiden sich nach dem zeitlichen Geltungsbereich der einschlägigen Normen und dem erfaßten Regelungsbereich (nur Altablagerungen, nur Altstandorte oder beides); weitere Differenzierungen ergeben sich hinsichtlich Art und Umfang der auf die Vorschriften zu stützenden Maßnahmen und der Kostentragungspflicht.

Im folgenden wird nach der rechtlichen Behandlung von Altablagerungen (Abschn. 7.1.1) und der von Altstandorten (Abschn. 7.1.2) unterschieden.

#### 7.1.1 Altablagerungen

##### 7.1.1.1 Spezialgesetzliche Regelungen

###### Abfallrecht

**787.** Aufgrund des verfassungsrechtlich begründeten Verbotes echter Rückwirkungen gesetzlicher Regelungen sind die Möglichkeiten des Abfallgesetzes, Eingriffsgrundlagen zur Lösung der Problematik von Altablagerungen zu bieten, begrenzt. Eine echte Rückwirkung liegt vor, wenn ein Gesetz nachträglich ändernd in abgewinkelte, der Vergangenheit angehörige Tatbestände eingreift (BVerfGE 13, 270 ff.). Mit dem Verbot echter Rückwirkung scheidet eine Anknüpfung an solche Tatsachen aus, die mit Inkrafttreten des Abfallgesetzes am 11. Juni 1972 bereits vollständig abgeschlossen waren.

Für Altlasten, die bereits aus vor dem Inkrafttreten des Abfallgesetzes angelegten oder betriebenen und danach fortbetriebenen Anlagen entstanden sind, bestehen allerdings eine Reihe von Eingriffsmöglichkeiten: Wird die Anlage zum gegenwärtigen Zeitpunkt fortbetrieben, so können nach § 9 AbfG zur Wahrung des Gemeinwohls Befristungen, Bedingungen, Auflagen und sogar Betriebsuntersagungen angeordnet werden. Das bedeutet, daß Kausalabläufe, die die Umwelt gefährden oder fortlaufend schädigen, unterbrochen werden können. Zwar lassen sich auf diese Weise auch bereits in der ursprünglichen Anlagenkonzeption angelegte Fehler korrigieren (SCHWERMER, 1988, § 9 Rn. 16 i. V. m. § 8 Rn. 23), doch dürfte dies in Anbetracht des erwähnten verfassungsrechtlichen Rückwirkungsverbot nicht für bereits eingetretene Schäden gelten, zumindest wenn der Eintrittszeitpunkt vor dem 11. Juni 1972 lag. Entsprechend können nach § 10 Abs. 2 AbfG bei der Stilllegung der Anlage neben ihrer Rekultivierung auch Vorkehrungen zur Wahrung des Gemeinwohls verlangt werden,

vorausgesetzt, daß diese zur Gefahrenabwehr geeignet und erforderlich sind.

Wurde der Betrieb der Anlage vor Inkrafttreten des Abfallgesetzes bereits vollständig eingestellt, so erlaubt § 11 Abs. 1 Satz 2 AbfG seit der 4. Abfallrechtsnovelle vom 27. August 1986 die Durchführung von Überwachungsmaßnahmen, z. B. die Errichtung von Kontrollbrunnen. Wie sich aus dem eindeutigen Wortlaut der Norm ergibt, ist diese abfallrechtliche Überwachung aber rein präventiv. Mit dem Rückwirkungsverbot entsteht kein Konflikt, weil die Maßnahmen von der Behörde auf eigene Kosten durchzuführen sind und dem Bürger nur eine Duldung abverlangt wird.

**788.** Insgesamt ist festzustellen, daß das Abfallgesetz innerhalb seines zeitlichen Geltungsbereichs nach allgemeiner Auffassung nur Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ermöglicht, nicht aber eine an der Vorsorge orientierte Sanierung (in diesem Sinne BREUER, 1987, S. 753; STAUPE, 1988, S. 608).

**789.** Einige Länder haben abfallrechtliche Sonderregelungen getroffen, die neben der Rekultivierung auch Vorkehrungen zur Sicherung des Gemeinwohls für vor dem 11. Juni 1972 stillgelegte Anlagen enthalten, nach denen überwiegend die kommunalen Gebietskörperschaften für sanierungspflichtig erklärt werden (vgl. Art. 14 Abs. 1 bay. AbfG, § 13 Abs. 1 BremAGAbfG, § 10 Abs. 1 AAbfG Hmb., §§ 16, 21 AbfG HE, § 4 Abs. 1 AG AbfG Nds., § 33 Abs. 1 LAbfG NW, § 11 LAbfG Rh.Pf.). Diese Verpflichtung besteht entweder neben der Verantwortlichkeit Dritter aufgrund anderer Normierungen oder ist sogar nur subsidiär gefaßt, das heißt auf den Fall beschränkt, daß eine Inanspruchnahme Dritter ausscheidet.

###### Wasserrecht

**790.** Auch das Wasserhaushaltsgesetz kennt eine speziell auf die Sanierung gewässerrelevanter Altlasten zugeschnittene Regelung nicht. § 6 WHG verlangt, daß die Benutzung von Gewässern mit dem Wohl der Allgemeinheit vereinbar sein muß. Darüber hinaus dürfen Stoffe gemäß §§ 26, 34 Abs. 2 WHG nur so gelagert und abgelagert werden, daß eine Verunreinigung oder eine sonstige nachteilige Veränderung von Gewässern einschließlich des Grundwassers nicht zu besorgen ist.

**791.** Zu berücksichtigen ist zunächst die vorrangige Geltung der abfallrechtlichen Regelungen, die sich aus § 2 Abs. 1 Satz 2 Nr. 3 AbfG herleiten läßt. Dort ist festgelegt, daß Abfälle so zu entsorgen sind, daß dadurch insbesondere nicht Gewässer, Boden und Nutzpflanzen schädlich beeinflusst werden. Daraus ist allerdings nicht zwingend ableitbar, daß das die Entsorgung von Abfällen speziell regelnde Abfallgesetz auch hinsichtlich der materiellen wasserrechtlichen Anforderungen an Ablagerungen nach dem Wasser-



haushaltsgesetz des Bundes (WHG) Vorrang genießt. Gerade diese Frage ist in letzter Zeit strittig geworden (STAUPE, 1988, S. 42f.).

Aus diesem Vorrang der abfallrechtlichen Regelungen ergibt sich in Verbindung mit dem auch für das Wasserhaushaltsgesetz zu beachtenden in Tz. 787 beschriebenen Verbot der echten Rückwirkung, daß Sanierungsaufgaben auf der Grundlage wasserrechtlicher Regelungen nur dann in Betracht zu ziehen sind, wenn die Ablagerung von Abfällen nach dem 1. März 1960 – dem Inkrafttreten des Wasserhaushaltsgesetzes – in Deponien erfolgte, die vor dem 11. Juni 1972, also vor Inkrafttreten des insoweit spezielleren Abfallgesetzes stillgelegt wurden. Da das Verbot echter Rückwirkung nur in der Vergangenheit liegende, abgeschlossene Sachverhalte erfaßt, ist das Wasserrecht darüber hinaus anwendbar, wenn vor 1960, also vor dem Inkrafttreten des Wasserhaushaltsgesetzes und des Abfallgesetzes, umweltschädigende Handlungen vorgenommen wurden, die im Zeitpunkt des Inkrafttretens des Wasserhaushaltsgesetzes aber noch nicht abgeschlossen waren. Ein solcher unabgeschlossener Sachverhalt liegt z. B. bei einer vor diesem Datum in Betrieb genommenen und später fortbetriebenen Deponie vor, allerdings wohl nur in bezug auf die nach dem Stichtag vorgenommenen Ablagerungshandlungen (BREUER, 1987, S. 753).

**792.** Das Wasserhaushaltsgesetz schützt entsprechend seiner Bewirtschaftungsaufgabe nicht sämtliche Gewässer vor sämtlichen Belastungen gleichermaßen. Vielmehr knüpft es Differenzierungen neben der Vorbelastung, der Empfindlichkeit und der Funktion von Gewässern vor allem daran, ob es sich um eine Benutzung aufgrund einer wasserbehördlichen Gestattung handelt oder nicht. Bei einer nach Wasserhaushaltsgesetz genehmigten Deponie stellt sich damit das unter Tz. 821 ff. näher behandelte Problem der Reichweite der Legitimationswirkung von behördlichen Genehmigungen.

**793.** Handelt es sich um unerlaubte, „wilde“ Ablagerungen, so sind denkbare Maßnahmen zum ersten ein Einschreiten wegen unerlaubter Gewässerbenutzungen im Sinne des § 3 Abs. 1 Nr. 4, Nr. 5, Abs. 2 Nr. 2 WHG, zum zweiten Sanierungsaufgaben wegen eines Verstoßes gegen den Besorgnisgrundsatz beim Ablagern von Stoffen (§§ 26 Abs. 2 und 34 Abs. 2 WHG). Unmittelbare Eingriffsgrundlagen sind in diesen Fällen die Landeswassergesetze oder die polizeirechtliche Generalklausel. Einige Landeswassergesetze ermöglichen behördliche Erkundungsmaßnahmen auf fremden Grundstücken. Soweit Altablagerungen aus der Zeit vor 1960 nicht vom Wasserhaushaltsgesetz erfaßt werden, können in bezug auf Gefahren für den Wasserhaushalt ordnungsrechtliche Eingriffsermächtigungen der Landeswassergesetze anwendbar sein (SALZWEDEL, 1987, S. 53 ff.). Bei der Anwendung dieser Regelungen stellen sich keine grundsätzlich anderen Probleme als bei Anwendung der polizei- und ordnungsrechtlichen Generalklausel.

#### Sonstige spezialgesetzliche Regelungen

**794.** Auf Altablagerungen ist bei besonderen Fallgestaltungen auch das Bundesberggesetz (BBergG) an-

wendbar. Die Anwendung des Bundesberggesetzes kommt in Betracht bei Halden und sonstigen Ablagerungen in Zusammenhang mit dem Bergbaubetrieb. §§ 53 Abs. 1, 55 Abs. 1 Satz 1 Nr. 6 BBergG enthalten die Verpflichtung, eine ordnungsgemäße Abfallbeseitigung nachzuweisen. Die Erfüllung dieser Pflicht wird mit Hilfe der Bergaufsicht (§ 69 Abs. 1 BBergG) durchgesetzt. Da vielfach entsprechende Betriebe aber bereits eingestellt und aus der Bergaufsicht ausgeschieden sind, kann mit den Mitteln des BBergG eine hinreichende Lösung der Altlastenproblematik aber nicht erreicht werden, denn die einmal erloschene Bergaufsicht lebt nicht wieder auf (BRANDT und LANGE, 1987, S. 13; KOCH, 1985, S. 91 ff.).

#### 7.1.1.2 Polizei- und Ordnungsrecht

**795.** Aufgrund ihres subsidiären Charakters gelangt die polizei- und ordnungsrechtliche Generalklausel nur dann zur Anwendung, wenn spezialgesetzliche Regelungen überhaupt nicht eingreifen oder nicht abschließend sind. Das allgemeine Ordnungsrecht ermächtigt die Behörde, die notwendigen Maßnahmen zu treffen, um eine im einzelnen Falle bestehende Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung abzuwehren (vgl. § 8 Abs. 1 Musterentwurf eines einheitlichen Polizeigesetzes des Bundes und der Länder in der Fassung vom 25. 11. 1977, MEPolG).

Die wesentlichen Anwendungsbereiche des Polizei- und Ordnungsrechtes beziehen sich zum einen auf vor Inkrafttreten des Abfallgesetzes entstandene Altablagerungen, sofern keine nach dem Wasserhaushaltsgesetz zu beurteilende Besorgnis einer Beeinträchtigung von Gewässern besteht, sondern andere Schutzgüter im Rahmen der polizei- und ordnungsrechtlichen Generalklausel bedroht sind, zum anderen auf Altablagerungen, die vor Inkrafttreten des Wasserhaushaltsgesetzes entstanden sind. Da eine entsprechende Generalklausel bereits im preußischen Allgemeinen Landrecht enthalten war, ergeben sich für den vor dem 1. März 1960, also vor dem Inkrafttreten des Wasserhaushaltsgesetzes, liegenden Zeitraum praktisch relevante Anwendungsprobleme dem Grundsatz nach nicht, wohl aber im Hinblick auf die inhaltliche Ausgestaltung der Generalklausel. Das gleiche gilt für die Anwendung ordnungsrechtlicher Eingriffsermächtigungen der Landeswassergesetze zur Gefahrenabwehr, da entsprechende Eingriffsbefugnisse bereits nach altem Recht bestanden.

**796.** Schutzgüter der öffentlichen Sicherheit sind dabei einerseits bestimmte Individualgüter, von denen unter Umweltschutzaspekten Leben, Gesundheit und Eigentum eine Rolle spielen. Neben sie treten kollektive Rechtsgüter, deren Schutz mit Rücksicht auf die Allgemeinheit geboten ist (FRIAUF, 1988, S. 197). Es besteht ein bemerkenswertes Defizit in der dogmatischen Durchdringung dessen, was zu den gemeinschaftsbezogenen Schutzgütern der öffentlichen Sicherheit gehört. Zu nennen ist jedenfalls die Reinheit des Grundwassers als Teil des Gewässerhaushaltes (PAPIER, 1987, S. 437). Nach GASSNER (1981, S. 6; ebenso jetzt § 16 Abs. 3 AbfG HE) gilt gleiches auch für die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes. Neben den einzelnen vorgenannten Schutzgütern wird

allgemein auch die Gesamtheit der Normen des öffentlichen Rechts den Schutzgütern der öffentlichen Sicherheit zugerechnet.

**797.** Die spezifische Problematik der Altlasten wird mit der bloßen Bezugnahme auf den weiten Begriff der öffentlichen Sicherheit und Ordnung noch unzureichend beschrieben, solange die zeitliche Dimension des Rechtsgüterschutzes unberücksichtigt bleibt. Bei den Altlasten geht es vielfach um Sachverhalte, deren entscheidende Ursache zu einem Zeitpunkt gesetzt wurde, als namentlich der Schutz des Grundwassers und der der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes in Spezialgesetzen noch nicht geregelt waren. Gleichwohl kann es auf diesen früheren Zeitpunkt nicht ankommen, weil das Polizei- und Ordnungsrecht auf die Abwendung konkreter Gefahren zielt und damit notwendig die Voraussetzungen der Generalklausel im Zeitpunkt des Eingriffs vorliegen müssen. Die Generalklausel hat die Aufgabe, die Behörden in die Lage zu versetzen, den Schutz der bestehenden Rechtsordnung zu gewährleisten. Einschränkungen aus Gründen der Lastengerechtigkeit können ausreichend im Rahmen des Opportunitätsbegriffes, der Störerauswahl (Kap. 7.2) und der Prüfung der Verhältnismäßigkeit Berücksichtigung finden. Eine weitere Einschränkung ergibt sich ohnedies daraus, daß das Polizei- und Ordnungsrecht nur die Abwehr von Gefahren, nicht aber Maßnahmen des vorsorgenden Umweltschutzes erlaubt (Kap. 7.3).

### 7.1.2 Altstandorte

**798.** Die zur Sanierung von Altstandorten einsatzfähigen rechtlichen Instrumente und die Grenzen ihrer Anwendung unterscheiden sich nur in wenigen Punkten von denen, die im Zusammenhang mit Altablagerungen maßgeblich sind.

**799.** Ein Rückgriff auf abfallrechtliche Normen scheidet mit Ausnahme der Anwendung von § 11 Abs. 1 Satz 2 AbfG aus. Diese Vorschrift sieht vor, daß Überwachungsmaßnahmen auch für Grundstücke angeordnet werden können, auf denen sich zwar keine Abfallentsorgungsanlage befunden hat, auf denen aber in der Vergangenheit mit Abfällen umgegangen wurde. Mit dieser Vorschrift werden nunmehr unter anderem auch ehemals industriell genutzte Flächen erfaßt, auf denen Abfälle angefallen sind, ohne daß es sich um Entsorgungsanlagen im Sinne des Abfallrechtes handelte. Auf die Anwendbarkeit dieser Norm auch auf vor dem Inkrafttreten des Abfallgesetzes abgeschlossene Sachverhalte wurde hingewiesen.

Der weitgehend verschlossene Weg über das Abfallrecht hat eine Ausweitung des Geltungsbereiches wasserrechtlicher Vorschriften auch auf nach dem 11. Juni 1972 gelegene Anwendungsfälle zur Folge. Auch die Lagerung von Stoffen beurteilt sich nach diesem Datum nur dann nach Abfallrecht, wenn es sich dabei objektiv oder subjektiv um Abfall handelt.

**800.** Modifikationen ergeben sich bei Anwendung des Wasserhaushaltsgesetzes auf Altstandorte auch hinsichtlich des Rückwirkungsverbotes:

Da das verfassungsrechtliche Rückwirkungsverbot nur in der Vergangenheit liegende, abgeschlossene Sachverhalte erfaßt, ist das Wasserhaushaltsgesetz anwendbar, wenn vor 1960, also vor seinem Inkrafttreten, umweltschädigende Handlungen vorgenommen wurden, die im Zeitpunkt des Inkrafttretens des Wasserhaushaltsgesetzes aber noch nicht abgeschlossen waren. Ein solcher unabgeschlossener Sachverhalt liegt zum Beispiel beim Lagern von Stoffen vor, das heißt ihrem vorübergehenden Aufbewahren mit dem Ziel einer späteren Wiederverwendung. Das Lagern ist im Gegensatz zum Ablagern eine Dauerhandlung, für die der Lagernde über den gesamten Zeitraum der Lagerung verantwortlich ist (SCHINK, 1986, S. 162).

**801.** Schließlich können dem Wasserhaushaltsgesetz grundwasserbeeinträchtigende Bodenkontaminationen unterliegen, soweit diese auf produktionsbedingte Einwirkungen auf das Erdreich zurückzuführen sind. Allerdings bewirkt das Erfordernis, daß der gewässerbeeinträchtigende Sachverhalt durch eine zweckgerichtete Maßnahme herbeigeführt worden sein muß und hierfür das zufällige Hineingelangen wassergefährdender Stoffe in das Erdreich nicht ausreicht (SCHINK, 1986, S. 163), eine nicht unerhebliche Einschränkung des Anwendungsbereiches des Wasserhaushaltsgesetzes. Die §§ 26 Abs. 2 und 34 Abs. 2 WHG erfassen nur ein Verhalten, bei dem regelmäßig damit gerechnet werden muß, daß es nachteilige Auswirkungen auf ein Gewässer haben kann, wie etwa das Lagern von Stoffen, das wasserrechtlich keiner Genehmigung bedarf.

**802.** Das Gewerbe- und Immissionschutzrecht leistet wohl auch in bezug auf Altstandorte keinen Beitrag zu der Frage, inwieweit Betreibern ehemaliger Anlagen Sanierungsmaßnahmen aufzuerlegen sind. Zwar finden sich Stimmen, die in den immissionschutzrechtlichen Regelungen über genehmigungsbedürftige Anlagen (§§ 5 Abs. 1, 17 Abs. 1 BImSchG) einen Ansatzpunkt auch für solche Anordnungen sehen, die nicht unmittelbar anlagenbezogen sind, da diese Vorschriften eine umfassende Steuerung des Gefährdungspotentials durch die von der Anlage hervorgebrachten Reststoffe bezweckten (KUTSCHEIDT, 1986, S. 624).

Es scheint jedoch gesicherte Auffassung, daß nachträgliche Anordnungen nach völliger Stilllegung der Anlage nicht mehr auf das Immissionschutzrecht zu stützen sind. Da Anlagen erst mit ihrer Stilllegung der vom Rat verwandten Altlastendefinition unterfallen, soll nicht weiter der Frage nachgegangen werden, ob nachträgliche Anordnungen nach § 17 Abs. 1 BImSchG stets in der Weise anlagebezogen sein müssen, daß die Emissions- oder Immissionsminderungsleistung den jeweils geltenden Umweltstandards angepaßt wird (so VG Berlin, UPR 1987, S. 238), oder ob sich Sanierungen nach dieser Vorschrift auf Nachbargrundstücke oder jedenfalls auf das Betriebsgrundstück beziehen können.

Eine praktisch bedeutsame Änderung der Rechtslage nimmt nunmehr der Regierungsentwurf eines Dritten Gesetzes zur Änderung des Bundes-Immissionschutzgesetzes (BT-Drucksache 11/4909) vor. Danach hat der Betreiber auch nach Stilllegung der Anlage sicher-

zustellen, daß von ihr keine nachteiligen Wirkungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft ausgehen (§§ 5 Abs. 3, 17 Abs. 4a BImSchG).

**803.** Im geltenden Recht haben die aufgezeigten Beschränkungen des Anwendungsbereiches der spezialgesetzlichen Normen eine Ausdehnung vor allem des zeitlichen Geltungsrahmens des allgemeinen Polizei- und Ordnungsrechtes auf bestimmte Sachverhalte zur Folge, die nach dem 1. März 1960, dem Inkrafttreten des Wasserhaushaltsgesetzes, aber auch nach dem 11. Juni 1972, dem Datum des Inkrafttretens des Abfallgesetzes, angesiedelt sind.

### 7.1.3 Sonderprobleme der kriegs- und rüstungsbedingten Altlasten

#### Ausgangslage

**804.** Die durch Produktion, Lagerung, Einsatz, Delaborierung und Ablagerung von Rüstungsgütern verursachten Altlasten werfen unter anderem insofern ein finanzielles Problem auf (Kap. 5), als die anders als bloß durch Munition und Blindgänger kontaminierten Flächen zumeist sehr intensive und nicht selten großräumige Verunreinigungen aufweisen (s. auch Kap. 1, Tz. 7). Die finanzielle Dimension rührt ferner daher, daß das allgemeine Polizei- und Ordnungsrecht hier versagt: Ein Verursacher ist vielfach nicht mehr greifbar. Vor allem wenn es sich um Gemeinden handelt, bleibt außerdem eine Inanspruchnahme des Zustandsstörers – abgesehen vom Gesichtspunkt der Leistungsfähigkeit – auf Duldungspflichten beschränkt (Abschn. 7.2.2.1, Tz. 820).

**805.** Aufgrund ihrer Verwaltungszuständigkeit kommt damit auf die Länder eine erhebliche Last zu, deren regionale Schwerpunkte ungleich verteilt sind. Wegen der drohenden Intensivierung von Gefahren für Mensch und Umwelt und wegen der rasch fortschreitenden Verluste von Informationen, die zur Gefährdungsabschätzung benötigt werden, darf die Bewältigung dieser Last nicht mehr als unbedingt erforderlich verzögert werden.

**806.** Diese Überlegungen lassen ein stärkeres Engagement des Bundes in Koordination, Forschung und Finanzierung über den Kreis solcher Flächen hinaus, die sich in bundesunmittelbarer Verwaltung oder in der Hand von Gesellschaften mit maßgeblicher Bundesbeteiligung befinden, sinnvoll erscheinen. Gerade eine kostenmäßige Beteiligung setzt allerdings voraus, daß die von der Verfassung auf diesem Gebiet gesetzten Rahmenbedingungen beachtet werden.

#### Verfassungsrechtlicher Handlungsrahmen

**807.** Auszugehen ist zunächst vom Grundsatz, daß die Ausgaben- und Investitionskompetenz der Verwaltungskompetenz folgt und damit bei den Ländern liegt. Nur für solche altlastverdächtigen Flächen, die in bundeseigener Verwaltung stehen, ergibt sich auf diese Weise eine Ausgabenverantwortung des Bundes. Durchbrochen wird der Grundsatz allerdings unter anderem durch Art. 92a, 104a Abs. 4 und durch

Art. 120 Grundgesetz. Innerhalb seines Geltungsbereiches wirkt Art. 120 GG, der eine Sonderregelung für Kriegsfolgelasten trifft, als Spezialnorm und verdrängt daher die beiden anderen Vorschriften.

Die zentrale Frage für die Anwendung des Art. 120 GG lautet, ob kriegs- und rüstungsbedingte Altlasten als Kriegsfolgelasten anzusehen sind. Das in Ausführung dieser Verfassungsnorm ergangene Allgemeine Kriegsfolgengesetz (AKG) erfaßt kriegs- und rüstungsbedingte Altlasten nicht. Es steht aber nach der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichtes dem Gesetzgeber nicht frei, selbst zu definieren, was er unter Kriegsfolgelasten versteht; allerdings soll er in Randbereichen einen gewissen Entscheidungsfreiraum genießen (BVerfGE 9, S. 305 und S. 330). Nach der Auffassung des Bundesverfassungsgerichtes sind „Kriegsfolgelasten die Lasten solcher Kriegsfolgen, deren entscheidende – und in diesem Sinne alleinige – Ursache der zweite Weltkrieg ist“. Im Ergebnis arbeiten sowohl Rechtsprechung als auch Schrifttum mit zusätzlichen Kriterien, um festzustellen, ob eine Last auf den zweiten Weltkrieg zurückzuführen ist. Hierzu zählen der Grad der Kausalität sowie historische und auch soziologische Gesichtspunkte. Eine Beschränkung auf soziale Lasten und reine Vermögensschäden läßt sich aus diesen Kriterien ebensowenig herleiten wie aus dem Wortlaut der Norm. Auch die nach der erwähnten Entscheidung des Bundesverfassungsgerichtes erfolgte Änderung des Art. 120 GG hat gerade an dem Begriff Kriegsfolgelasten nichts geändert, sondern nur in bestimmten – nicht einschlägigen – Bereichen Grenzen gesetzt.

**808.** Folgt man der dargestellten und im Kern überzeugenden Begriffsauslegung, so ergibt sich ein hinreichend enger Verursachungsbezug zwischen dem zweiten Weltkrieg und den Kontaminationen aus Produktion, Lagerung, Einsatz, Delaborierung und Ablagerung von Rüstungsgütern. Wenn das Bundesverfassungsgericht in der zitierten Entscheidung den mit den kriegs- und rüstungsbedingten Altlasten eng verknüpften Bereich der von der öffentlichen Hand erlittenen Sachschäden nicht dem Kernbereich der Kriegsfolgelasten unterstellt, sondern dem Bund einen Entscheidungsspielraum einräumt, so kann dieser Gesichtspunkt zumindest einem freiwilligen, auf Art. 120 GG gestützten Engagement des Bundes nicht entgegenstehen.

**809.** Die Praxis des Bundes, die Entmunitionierung von Feindmunition, welche systematisch der Bewältigung von kriegs- und rüstungsbedingten Altlasten zuzuordnen ist, ohne gesetzliche Grundlage zu finanzieren, läßt sich auf die Regelungsmaterie wohl nicht in ihrer Gesamtheit ausdehnen. Dies folgt aus der sogenannten Wesentlichkeitsrechtsprechung des Bundesverfassungsgerichtes, wonach der Gesetzgeber die entscheidenden Grundlagen des zu regelnden Rechtsbereichs selbst festlegen muß, wie auch daraus, daß Art. 120 GG ausdrücklich die Ausgestaltung der Ausgabenverantwortung der näheren Bestimmung durch Bundesgesetze zuweist. Erforderlich ist damit ein Tätigwerden des Bundesgesetzgebers, was Art. 120 GG allerdings nicht von den Regelungen der Art. 91a und 104a Abs. 4 GG unterscheidet. In einem solchen Gesetz können die Modalitäten der Kosten-

tragung festgelegt werden. Besonders bedeutsam ist die Möglichkeit, sogenannte Interessenquoten festzulegen, mit denen die Länder an der Finanzierung beteiligt werden können. Die Ausgabenkompetenz erstreckt sich auf Sachleistungen und wohl auch auf Sanierungsnebenkosten, z. B. die Einholung von Gutachten, nicht aber auf laufende Verwaltungsausgaben.

**810.** Die Mehrzahl der kriegs- und rüstungsbedingten Altlasten erlaubt daher ein Engagement des Bundes. Wo dem Bund nicht bereits – wie z. B. bei Flächen im Gebrauch der Bundeswehr – die Verwaltungskompetenz zusteht, ist ein Vorgehen über Art. 120 GG möglich, soweit die Altlasten auf den zweiten Weltkrieg zurückgehen.

**811.** Wo kriegs- und rüstungsbedingte Altlasten bereits durch den ersten Weltkrieg entstanden sind, besteht für den Bund die Möglichkeit, sich an den Kosten im Rahmen von Art. 91a (Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur) oder Art. 104a Abs. 4 GG (Ausgleich unterschiedlicher Wirtschaftskraft im Bundesgebiet) zu beteiligen, soweit sich dieser Aufgabenbereich durch ein nicht unerhebliches Volumen auszeichnet. Art. 104a Abs. 4 GG besitzt gegenüber Art. 91a GG den Vorzug, daß er keine flächenhafte Konzentration der förderungswürdigen Sanierungsfälle verlangt. Beide Vorschriften zeichnen sich durch einen hohen Abstimmungsbedarf mit Bundesrat und Ländern aus.

#### Konsequenz

**812.** Fünfzig Jahre nach Ausbruch des zweiten Weltkrieges ist es dringend an der Zeit, dessen schwerwiegende ökologische Hinterlassenschaften zu bewältigen. Da die Länder mit dieser Aufgabenstellung allein überfordert sind, sollte sich der Bund an dieser Aufgabe beteiligen und damit zugleich ihrer gesamtstaatlichen Verursachung Rechnung tragen. Zu diesem Zweck bedarf es eines Bundesgesetzes, welches Art. 120 GG ausfüllt. Mit den sogenannten Interessenquoten besteht ein Gestaltungsmittel zur angemessenen Verteilung der Lasten zwischen Bund und Ländern, welches auch geeignet ist, das Kostenbewußtsein aufrechtzuerhalten. Da unter Umweltgesichtspunkten sachliche Gründe zu einer privilegierten Sanierung von kriegs- und rüstungsbedingten Altlasten aus dem zweiten Weltkrieg gegenüber solchen aus dem ersten Weltkrieg nicht bestehen, andererseits Art. 120 GG in bezug auf den letztgenannten Zeitraum keine Grundlage für eine Bundesinitiative bietet, sollte geprüft werden, ob das Volumen der notwendigen Maßnahmen ein Vorgehen über Art. 104a Abs. 4 GG, eventuell auch über Art. 91a GG, angezeigt sein läßt.

## 7.2 Überblick zur Frage der Verantwortlichkeit

**813.** Im Rahmen der Altlastensanierung stellt sich die Frage, wer durch die Verwaltung zur Gefahrenabwehr herangezogen werden kann. Da geeignete Maßnahmen der Untersuchung und Sanierung in der Regel nicht vom Verantwortlichen selbst, sondern nur

von Spezialunternehmen ausgeführt werden können, geht es in der Praxis weniger um die Frage, wer die Maßnahme durchzuführen hat; vielmehr bildet die Frage der Kostentragung einen entscheidenden Gesichtspunkt bei der Bestimmung der Verantwortlichkeit zur Gefahrenabwehr (BREUER, 1987, S. 751).

### 7.2.1 Spezialgesetzliche Regelungen

**814.** Auf § 10 Abs. 2 AbfG gestützte Maßnahmen können nur gegen den Inhaber der Abfallentsorgungsanlage, also deren Betreiber, gerichtet werden. Gleiches gilt für nachträgliche Auflagen und sonstige Nebenbestimmungen im Sinne von § 9 AbfG. Allerdings kann durch Landesrecht der Kreis der abfallrechtlich Verantwortlichen weiter gezogen sein, wie zum Beispiel im Falle des § 21 Abs. 1 AbfG HE. Demgegenüber treffen die einschlägigen Vorschriften des Wasserhaushaltsgesetzes keine Aussage darüber, wer als Verantwortlicher anzusehen ist. Der Kostenpflichtige ist vielmehr – soweit nicht die Landeswassergesetze eine Inanspruchnahme bestimmter Personen vorsehen – nach den Grundsätzen des Polizei- und Ordnungsrechtes zu bestimmen (vgl. Abschn. 7.2.2).

Für die rechtliche Beurteilung der Verantwortlichkeit für Altstandorte ergeben sich aus den in Abschnitt 7.1.2 ersichtlichen Gründen keine Besonderheiten.

### 7.2.2 Polizei- und Ordnungsrecht

#### 7.2.2.1 In Betracht kommender Personenkreis

**815.** Verantwortlich für eine Gefahrenquelle sind nach dem Polizei- und Ordnungsrecht der sogenannte Handlungsstörer (Verhaltenshaftung) und der sogenannte Zustandsstörer (Zustandshaftung).

Handlungsstörer ist diejenige natürliche oder juristische Person, die die Gefahr verursacht hat (vgl. § 4 Abs. 1 MOPolG).

Zustandsstörer sind der Eigentümer und der Inhaber der tatsächlichen Gewalt über eine Sache, wenn von dieser eine Gefahr ausgeht (§ 5 Abs. 1, Abs. 2 MOPolG).

**816.** Für Altablagerungen kommt für eine Verantwortlichkeit in diesem Sinne folgender Personenkreis in Betracht:

- ehemalige Deponiebetreiber
- Deponieeigentümer und Personen, die die tatsächliche Gewalt über ein Deponiegrundstück ausüben
- Abfallbeförderer
- Abfallerzeuger.

Erfolgte die Ablagerung nicht auf einer gesonderten Deponie, sondern auf dem Produktionsgelände selbst, reduziert sich der Kreis der Verantwortlichen auf die zwei erstgenannten Personengruppen, wobei der Eigentümer des Produktionsgeländes dem in der obigen Auflistung genannten Deponieeigentümer und der Inhaber der tatsächlichen Gewalt dem Deponiebetrei-

ber entsprechen. Alle diese Beteiligten können verhaltensverantwortlich sein, der Deponiebetreiber und der Deponieeigentümer kommen darüber hinaus als Zustandsstörer in Frage.

Für Altstandorte kommen in Betracht:

- ehemalige Anlagenbetreiber
- Grundstückseigentümer und Personen, die die tatsächliche Gewalt über ein Grundstück ausüben.

**817.** Das für die Begründung der Störereigenschaft maßgebliche Zurechnungsmerkmal im Bereich der Handlungshaftung ist nach dem Polizeigesetz die Verursachung einer Gefahr (vgl. § 4 Abs. 1 MEPolG). Insofern kann die polizei- und ordnungsrechtliche Verantwortlichkeit für Altlasten als Ausdruck des umweltrechtlichen Verursacherprinzips angesehen werden.

Der weite Störerbegriff mag zu Unbilligkeiten führen, da im Polizei- und Ordnungsrecht eine gesetzliche Eingrenzung, wie etwa das zivilrechtliche Korrektiv des Verschuldens, fehlt. Der polizeirechtliche Begriff der Verursachung wird deshalb auf solche Ursachen beschränkt, die in einem spezifisch polizeirechtlichen Sinne relevant sind. Wie diese Beschränkung vorzunehmen ist, wird in der Rechtsprechung und Rechtslehre nicht einheitlich beantwortet. Die hierzu vertretenen Theorien gelangen vor allem dort zu unterschiedlichen Ergebnissen, wo Abfallerzeuger nicht selbst den Transport und die Ablagerung vorgenommen haben. Da es bislang kaum praktische Fälle der Inanspruchnahme von Abfallerzeugern dieses Typs gibt, kann hier eine Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen Auffassungen unterbleiben. Die Darstellung kann sich damit auf die herrschende Theorie von der unmittelbaren Verursachung beschränken. Danach stellt dasjenige Verhalten eine polizeirechtlich relevante Ursache dar, das selbst die Gefahrengrenze überschreitet. Das ist regelmäßig die letzte Ursache, also diejenige, die die Gefahr oder Störung unmittelbar herbeiführt.

**818.** Die Übertragung dieser Grundsätze auf die Altlastenproblematik ergibt folgendes:

Der ehemalige Deponiebetreiber ist als unmittelbarer Verursacher für die von der Altablagerung ausgehenden Gefahren verhaltensverantwortlich. Dies gilt auch dann, wenn die von der Altablagerung ausgehenden Gefahren erst durch hinzutretende Umstände eintreten: So muß z. B. eine Verantwortlichkeit des Deponiebetreibers auch dann bejaht werden, wenn schädliche Stoffe nach deren Ablagerung durch Erdbewegungen in das Grundwasser absickern, weil diese Ablagerung von Anfang an eine erhöhte Gefahrerzeugung aufwies.

Der mit dem Betreiber nicht identische Deponieeigentümer überschreitet dagegen regelmäßig mit der Überlassung seines Eigentums an den Betreiber nicht die Gefahrengrenze, so daß eine Verhaltensverantwortlichkeit nach diesen Grundsätzen nicht in Betracht kommt.

**819.** In bezug auf Altstandorte ergeben sich für die Verhaltenshaftung von Betreibern einerseits und Grundstückseigentümern andererseits keine grundsätzlichen Besonderheiten.

**820.** Außer als Verhaltensverantwortliche kommen der Deponiebetreiber als Inhaber der tatsächlichen Gewalt und der Deponieeigentümer als Zustandsverantwortlicher in Betracht, sofern sie gegenwärtig noch die Sachherrschaft innehaben (§ 5 Abs. 1 und Abs. 2 MEPolG). Ebenso fallen die jetzigen Eigentümer von Altstandorten sowie diejenigen, die diese Grundstücke tatsächlich nutzen, in den Kreis der Zustandsverantwortlichen. Diskutiert wird ein Ausschluß der Zustandshaftung, wenn die Gefahrenlage durch eine den Eigentümer ausschließende Fremdeinwirkung geschaffen wurde (PAPIER, 1985, S. 49f.). Eine derartige Situation ist zum Beispiel bei wilden Abfallablagerungen auf Fremdgrundstücken gegeben. Wenn dem Eigentümer infolge einer solchen Fremdeinwirkung auf sein Eigentum ein privatnütziger Eigentumsgebrauch verwehrt ist, so ist er im Grunde das Hauptopfer der Gefahrenlage. Seine Inanspruchnahme würde nach dieser Auffassung den bereits eingetretenen Verlust der Verwendbarkeit des Grundstücks verstärken. Dies aber würde, so wird geltend gemacht, dem Verfassungsgebot des Art. 14 GG, durch das die Privatnützigkeit des Eigentums gewahrt werden solle, zuwiderlaufen.

Folge der geschilderten Auffassung wäre, daß eine Inanspruchnahme nur als sogenannter Nichtstörer erfolgen könnte. Es entfielen nicht nur die kostenmäßige Verantwortlichkeit, sondern der genannte Personenkreis brauchte die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen nur gegen Entschädigung zu dulden. Demgegenüber scheint es unter dem Gesichtspunkt einer angemessenen Lastenverteilung sachgerecht, die Frage der gestörten Privatnützigkeit des Eigentums erst bei der Ermessensentscheidung, ob und gegebenenfalls welcher Störer heranzuziehen ist, zu berücksichtigen. Auf dieser Ebene sollte in den geschilderten Fällen eine Beschränkung der Verantwortlichkeit auf Duldungspflichten erfolgen (SCHINK, 1986, S. 168).

#### 7.2.2.2 Legalisierungswirkung behördlicher Genehmigungen und Duldungen

**821.** Insbesondere bei kontaminierten Betriebsanlagen stellt eine mögliche Legalisierungswirkung von behördlichen Genehmigungen im Hinblick auf die geschaffene Gefahrenlage eine Schlüsselfrage dar (STAUPE, 1988, S. 610).

Die Bedeutung der Legalisierungswirkung liegt darin, daß Gefahren, die Gegenstand einer Prüfung im Rahmen einer spezialgesetzlichen Genehmigungsvorschrift waren, keine Verantwortlichkeit nach Polizei- und Ordnungsrecht mehr auslösen können. Trotz unterschiedlicher Begründungen besteht über dieses Ergebnis (FLUCK, 1988, S. 416; KUTSCHEIDT, 1986, S. 166; PAPIER, 1987, S. 438; SCHINK, 1986, S. 166) weitgehend Einigkeit. Als Genehmigungen kommen in erster Linie solche des Gewerberechts, des Immissionsschutzrechts, des Wasserrechts, des Baurechts und des Bergrechts in Betracht. Als gesichert kann gelten, daß sich der Umfang der Legalisierungswirkung nach den konkreten Genehmigungsunterlagen für die jeweilige Anlage und, wo diese – wie häufig – nicht mehr verfügbar sind, nach dem gesetzlich abstrakt festgelegten Genehmigungsinhalt richtet.

Ebenso besteht kein Zweifel, daß immer nur der der Zulassung entsprechende Normalbetrieb durch eine Genehmigung abgedeckt sein kann.

**822.** Der Eintritt der Legalisierungswirkung hängt ferner wesentlich davon ab, ob eine Erlaubnis nach § 16 GewO, dem Vorläufer der immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsvorschriften gemäß §§ 4 ff. BImSchG, zugleich auch das Lagern und Ablagern gefährlicher Stoffe auf dem Produktionsgelände gestattet. Bejaht wird diese Frage vor allem von FLUCK (1988, S. 435ff.) unter Berufung auf die sogenannte Konzentrationswirkung und auf den Inhalt der preußischen Technischen Anleitung, die Anforderungen an den Umgang mit bestimmten Produktionsrückständen nannte. Demgegenüber wird in der Literatur mehrheitlich eine Erstreckung der gewerberechtlichen Genehmigung auf das Lagern und Ablagern von Stoffen verneint (BRANDT und LANGE, 1987, S. 15; KLOEPFER, 1987, S. 14; SCHINK, 1986, S. 167; SCHRADER, 1988, S. 182ff.; STAUPE, 1986, S. 606). Für diesen zweiten Standpunkt sprechen die besseren Gründe: Die Tatsache, daß die preußische Technische Anleitung auf bestimmte Gefahren aus einem unsachgemäßen Umgang mit Produktionsrückständen und auf mögliche Formen der Behandlung einging, läßt noch nicht den Schluß zu, daß die gewerberechtliche Genehmigung solche Tätigkeiten gerade auf dem Fabrikgelände zugelassen hat. Ebensowenig kann gefolgert werden, daß ein Schweigen des Genehmigungsbescheides zu dieser Problematik eine Lagerung/Ablagerung von Rückständen in jedweder Form, z. B. ohne jederlei Sicherungsmaßnahmen, ermöglichen sollte. Überhaupt spricht eine stark erhöhte Gefahrentendenz, die von dem Umgang mit großen Mengen gefährlicher Stoffe ausgeht, zumindest nicht für eine extensive Auslegung der Legalisierungswirkung (KLOEPFER, 1987, S. 14). Diese Feststellung trifft noch mehr für Anlagen zu, die lediglich baurechtlich genehmigt wurden. Hat die Behörde eine Baugenehmigung in der Kenntnis erteilt, daß die bauliche Anlage für eine gefahrenträchtige Produktion oder Dienstleistung genutzt werden sollte, so rechtfertigt dies nicht den Schluß auf eine Einbeziehung aller altlastspezifischen Risiken (SCHRADER, 1988, S. 184f.).

**823.** Zwischen 1960 und 1972 errichtete Deponien sind häufig nach dem Wasserhaushaltsgesetz genehmigt worden. Auch wenn man das Lagern und Ablagern von Stoffen nicht als genehmigungspflichtige Benutzung von Gewässern ansieht, spricht die Gleichartigkeit von Gefahren, die von gefaßten und ungefaßten Sickerwasseremissionen ausgehen, dafür, daß die zuständige Behörde die Besorgnis einer schädlichen Beeinträchtigung des Grundwassers oder eine sonstige nachträgliche Beeinträchtigung seiner Eigenschaften im Sinne von § 34 Abs. 2 WHG vor Erteilung der Genehmigung geprüft und verneint hat. Wie weit die hierdurch eingetretene Legalisierungswirkung reicht, hängt maßgeblich von der Verteilung des Risikos für Änderungen des Erkenntnisstandes ab (vgl. Abschn. 7.2.2.3). Bei Deponien, die nach Inkrafttreten des Abfallgesetzes angelegt oder fortbetrieben wurden, können nach Maßgabe der Ausführungen zu Tz. 787 auch ohne einen Auflagenvorbehalt in der ein-

zelnen Genehmigung gemäß § 9 AbfG nachträgliche Anordnungen getroffen werden.

**824.** Das Erlöschen der Genehmigung – etwa bedingt durch die Stilllegung der Anlage – führt nicht zum Fortfall der Legalisierungswirkung und zwar selbst dann nicht, wenn die Gefahr erst nach dem Erlöschen der Genehmigung eingetreten ist. Ist andererseits mit der Genehmigung ein Auflagenvorbehalt verbunden gewesen, so kann der Betreiber einer Anlage seiner Verantwortlichkeit nicht mit dem Hinweis auf den Fortfall der Genehmigung begegnen (KUTSCHEIDT, 1986, S. 624). Für nach dem 11. Juni 1972, dem Inkrafttreten des Abfallgesetzes, betriebene Abfallentsorgungsanlagen enthält § 10 Abs. 2 AbfG eine Spezialregelung.

Die vorangegangenen Überlegungen sind zunächst im Rahmen der Prüfung der potentiellen Verantwortlichkeit des Handlungstörers zu beachten. Darüber hinaus will FLUCK (1988, S. 420) sie auch auf die Verantwortlichkeit des Zustandsstörers ausdehnen, sofern dieser mit dem Inhaber der Genehmigung identisch ist.

**825.** Probleme können weiter dann auftreten, wenn zwar keine behördliche Genehmigung vorliegt, das Verhalten aber in der Vergangenheit von der zuständigen Behörde geduldet wurde. Entsprechendes gilt, wenn die Genehmigung nicht eingehalten wurde. In diesen Fällen besteht weitgehend Einigkeit darüber, daß das behördliche Unterlassen des Einschreitens gegen den Verantwortlichen nicht zu einer Legalisierung der Störung führt. Die Duldung kann vielmehr allenfalls in Ausnahmefällen aus Gründen der Verhältnismäßigkeit eine Inanspruchnahme beschränken oder verhindern (KLOEPFER, 1987, S. 12; ZIEHM, 1989, S. 37).

**826.** Eine Sonderregelung enthält nun § 21 Abs. 2 des Fünften Gesetzes zur Änderung des Hessischen Abfallgesetzes vom 6. Juni 1989. Danach entfällt die Sanierungsverantwortlichkeit, wenn der potentiell Verantwortliche zur damaligen Zeit darauf vertrauen durfte, daß eine Beeinträchtigung der Umwelt nicht entstehen könne.

#### 7.2.2.3 Das Problem der mangelnden Erkennbarkeit der Gefahr

**827.** Sowohl im Bereich der Handlungshaftung wie auch im Rahmen der Zustandshaftung wird mit unterschiedlichen Lösungsansätzen versucht, dem Problem Rechnung zu tragen, daß bei einer Vielzahl der gegebenen Altlasten die Gefährlichkeit der Stoffe zum Zeitpunkt ihrer Handhabung und Ablagerung unbekannt war. Da das Ordnungsrecht „lediglich“ bezweckt, bestehende Gefahrenlagen zu beseitigen, kommt es im Gegensatz zum Zivil- oder Strafrecht auf ein Verschulden des Störers und damit auf eine Kenntnis für die Frage der Zurechnung nicht an. Um Unbilligkeiten zu vermeiden, werden dennoch in der Literatur Einschränkungen im Hinblick auf die Haftung gemacht (KOCH, 1985, S. 18f.; PAPIER, 1987, S. 438).

**828.** Dort wo es um die Zuweisung ursprünglich, d. h. im Zeitpunkt der Anlagenehmigung, nicht oder nicht richtig erkannter Gefahren geht, steht die Frage nach der angemessenen Risikoverteilung zwischen Staat und Unternehmer im Mittelpunkt. Es bestehen Zweifel, ob pauschal von einer „Risiko-Zuweisung an den genehmigenden Staat“ ausgegangen werden sollte (so FLUCK, 1988, S. 443; ähnlich ZIEHM, 1989, S. 36). Auf der anderen Seite erscheint es zu weit, die Erkennbarkeit der konkreten Gefahr wegen des verschuldensunabhängigen Charakters der Störerhaftung als haftungsbegründendes Element auszuklammern und dem Verursacher das Risiko des weiteren Erkenntnisfortschrittes aufzubürden (so KLOEPFER, 1987, S. 9ff.; SCHINK, 1986, S. 169). Nach jener Auffassung stellt das verfassungsrechtliche Verbot rückwirkender Rechtsänderung deshalb kein Hindernis dar, weil es Rechtsanwendungsveränderungen nicht ausschließt. Auch der Grundsatz der Lastengerechtigkeit stehe dem nicht im Wege.

**829.** Differenzierende Betrachtungen müssen sich auch hier an den Besonderheiten der bestandskräftigen Genehmigung sowie an Inhalt und Grenzen des damit verknüpften Vertrauensschutzes ausrichten. Zunächst kann ein Vertrauen darauf, daß die zu beachtenden Sicherheitsanforderungen und -standards abschließend sind, nicht begründet werden, soweit die Genehmigung einen Auflagenvorbehalt enthielt (BRANDT und LANGE, 1987, S. 15) oder die einschlägigen Vorschriften, wie z. B. § 9 AbfG, ein Nachschieben von Auflagen generell ermöglichten. Auch scheidet eine Berufung auf die erteilte Genehmigung in dem Umfang aus, in dem bestimmte Gefahren von der Genehmigung gar nicht erfaßt werden (Abschn. 7.2.2.2). Schließlich ist der Aussagegehalt von Auflagen sorgsam zu prüfen: Besonderes Augenmerk verdienen Fallgestaltungen, in denen Auflagen nicht an die Beachtung eines konkreten technischen Verfahrens geknüpft sind, sondern abstrakte Zielvorgaben enthalten. Hier kann sich ein schutzwürdiges Vertrauen nicht schon darauf gründen, daß nach damaligen Erkenntnissen die Auffassung bestand, die abstrakte Zielvorgabe sei durch Anwendung einer bestimmten Technik einzuhalten.

#### 7.2.2.4 Rechtsnachfolge, Haftungsbegrenzung

**830.** Da zwischen der Ablagerung von Abfällen bzw. Verunreinigungen von Flächen, der Erkenntnis der Gefahrenlage und der Realisierung der Gefahrenbekämpfung regelmäßig ein langer Zeitraum liegt, stellt sich im Rahmen der Altlastensanierung die Frage nach der Inanspruchnahme von Rechtsnachfolgern. Dabei kommt es maßgeblich darauf an, ob eine Rechtsnachfolge in die abstrakte, also noch nicht durch Verfügung konkretisierte und individualisierte Polizeipflicht denkbar ist, weil in der Praxis in den seltensten Fällen der frühere Pflichtige bereits durch die zuständige Behörde in Anspruch genommen worden ist.

**831.** Das Kernproblem der Diskussion bildet die Gesamtrechtsnachfolge im Bereich der Handlungshaftung. Streit besteht namentlich darüber, ob es sich bei

der abstrakten Polizeipflicht überhaupt um eine übergangsfähige Pflicht handelt. Die Befürworter dieser Auffassung erblicken in der Polizeipflicht eine bereits kraft Gesetzes bestehende, abstrakt generelle Verantwortlichkeit, die sich durch die Verfügung lediglich in ein konkretes, individualisiertes Gebot wandle (KLOEPFER, 1986, S. 45f.; STRIEWE, 1986, S. 287). Die andere Auffassung erblickt in der Polizeipflicht kein an den einzelnen gerichtetes Verhaltensgebot, sondern eine exekutive Eingriffsvoraussetzung. Erst nach Erlaß einer die Verantwortlichkeit realisierenden Verfügung entstehe eine übergangsfähige, subjektive öffentlich-rechtliche Rechtspflicht des Verfügungsadressaten (PAPIER, 1987, S. 439; zweifelnd BREUER, 1987, S. 756). Ähnliche Zweifelsfragen ergeben sich auch bei der Gesamtrechtsnachfolge der kriegs- und rüstungsbedingten Altlasten.

**832.** Aufzuwerfen bleibt die Frage nach einer Begrenzung der Haftung. Anlaß hierfür besteht insofern, als Altlastenfälle häufig eine Dimension möglicher Haftung erreichen, die den Wert gezogener Nutzungen oder den Wert des Grundstückes nach Sanierung übersteigen. Eine Unterscheidung zwischen der Verantwortlichkeit des Handlungs- und des Zustandsstörers erscheint hier angebracht: Soweit die von der Altlast ausgehende Gefahr durch ein bestimmtes Handeln herbeigeführt worden ist, kommt eine Begrenzung der Haftung nur in atypischen Fällen in Betracht. Dagegen wäre eine Heranziehung des Zustandsstörers, namentlich des Grundstückseigentümers über den Wert des sanierten Grundstückes hinaus unbillig, es sei denn, daß er das Grundstück für eine in besonderem Maße gefahrgeneigte Nutzung, z. B. Anlegung einer Deponie, zur Verfügung gestellt hat. Besondere Grundsätze gelten, wenn der Grundstückseigentümer in eine sogenannte „Opferposition“ geraten ist (vgl. Abschn. 7.2.2.1).

### 7.3 Gefahrenabwehr und Vorsorge

**833.** Die Vielzahl der bei der Bewältigung der Altlastenprobleme gegebenenfalls zu berücksichtigenden Rechtsvorschriften läßt sich - unbeschadet der jeweiligen spezialgesetzlichen Ausgestaltung - auf die grundlegenden Kategorien von Gefahrenabwehr und Vorsorge zurückführen. Die Unterscheidung ist bedeutsam insbesondere für die Reichweite der ordnungs- und polizeirechtlichen Generalklausel im Rahmen der zu bewältigenden Problematik. Grundsätzlich gilt die Differenzierung auch, soweit Altablagerungen nach § 10 Abs. 2 AbfG (nach Inkrafttreten des Abfallgesetzes von 1972 stillgelegte Deponien) oder soweit Altablagerungen und Altstandorte nach den ordnungsrechtlichen Eingriffsermächtigungen der Landeswassergesetze zu sanieren sind; im letzteren Fall kann § 6 WHG allenfalls als Indiz für die Bestimmung der Gefährdung des Wasserhaushalts herangezogen werden (weitergehend SALZWEDEL, 1987, S. 53ff.). Soweit dagegen für Altablagerungen und Altstandorte Wasserrecht maßgeblich ist, gestattet der dann vielfach anwendbare Besorgnisgrundsatz (§§ 26 Abs. 2, 34 Abs. 2 WHG) eine Sanierung ohne strenge Bindung an den polizeirechtlichen Gefahrenbegriff.

### 7.3.1 Begriffsexplikation

**834.** Die Abgrenzung der Kategorien ist in der rechtswissenschaftlichen Diskussion geprägt von dem Bemühen um eine begriffliche Unterscheidung: Der Gefahr als einem Geschehensablauf, bei dem der Eintritt eines Schadens mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist, wird das Risiko gegenübergestellt, das den Bereich unterhalb der Gefahrenschwelle bezeichnet, in dem im Wege der Vorsorge Gefahren zu vermeiden oder Risiken zu mindern sind (BREUER, 1978, S. 834). Gefahrenabwehr ist kategorisch geboten, wenngleich bei der Entscheidung über Maßnahmen zur Gefahrenabwehr eine Relativierung erfolgen kann; Vorsorge steht unter dem Vorbehalt wissenschaftlich-technischer Realisierbarkeit unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Erwägungen und der Wahrung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit. Hieraus folgt, daß möglicherweise große, aber äußerst unwahrscheinliche, oder wahrscheinliche, aber doch äußerst geringfügige, oder aber nicht bestimmbare Risiken im Einzelfalle zumutbar sein können.

Die Kategorisierung erscheint auf den ersten Blick naheliegend, da Gefahrenabwehr und Gefahrenvermeidung von ihrem Ansatz her unterschiedliche Zwecke verfolgen. Gefahrenabwehr setzt eine bestehende Gefahr voraus; Gefahrenvermeidung zielt demgegenüber darauf ab, bereits das Entstehen einer Gefahr zu verhindern (MURSWIEK, 1986, Sp. 624). Der auf bestehende Gefahren bezogenen „Sorge“ läßt sich so die „Vor-Sorge“ gegen das Entstehen einer Gefahr gegenüberstellen (OSSENBÜHL, 1986, S. 162f.). Allerdings umfaßt die Gefahrenabwehr nicht erst die Beseitigung bereits eingetretener Störungen oder Schäden; vielmehr kommt ihr auch ein präventives Moment insoweit zu, als sie der Verhinderung erst zukünftig zu erwartender Beeinträchtigungen dient (BREUER, 1978, S. 833; BVerwGE 55, S. 255). Diese Aufgabenstellung ist jedoch auf die Abwendung von Schäden bezogen, also auf die Minderung des tatsächlich vorhandenen Bestandes an Rechtsgütern (DREWS et al., 1986, S. 221; RID und HAMANN, 1987, S. 122).

**835.** Die Unterscheidung der beiden Kategorien bereitet erhebliche Schwierigkeiten, gleichgültig ob man die Abgrenzung aus der Sicht des Vorsorgebegriffs oder des Gefahrenbegriffs vornimmt. Exemplarisch sind insoweit die Auslegungsprobleme, die sich beim Vorsorgegrundsatz des § 5 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG in Abgrenzung zur Gefahrenabwehr im Sinne des § 5 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG ergeben. Der Katalog der Interpretationsansätze reicht hinsichtlich des Vorsorgegehalts von der bestmöglichen Umweltoption über die Schaffung von Freiräumen (Planungs- und Verteilungsfunktion) bis hin zur vorverlagerten Gefahrenabwehr. Die letztgenannte Auslegungsvariante ist dabei vor dem Hintergrund des in Rechtsprechung (BVerwGE 69, S. 37) und Schrifttum (OSSENBÜHL, 1986, S. 164) verbreiteten Bestrebens zu sehen, das Vorsorgeprinzip inhaltlich zu begrenzen und den Vorsorgeanlaß auf einen tatsächlichen, insbesondere durch wissenschaftliche Erkenntnisse begründeten „Gefahrenverdacht“ zu beschränken. Auch der Rat hat in seinem Gutachten „Waldschäden und Luftver-

unreinigungen“ vor dem Hintergrund ungeklärter Ursache-Wirkungs-Beziehungen den Gefahrenverdacht schon als Vorsorgekategorie bezeichnet (SRU, 1983, Tz. 406 ff.). Diese Ausdehnung des Vorsorgebereichs „auf Kosten“ des Gefahrenbereichs verdeutlicht partielle Überschneidungen mit dem polizeilichen Gefahrenbegriff, soweit dieser seinerseits das Phänomen des Gefahrenverdachts einschließt (s. Tz. 841). Dies ist gleichwohl vergleichsweise unproblematisch, soweit das anwendbare Gesetz Eingriffsmöglichkeiten sowohl zum Zweck der Gefahrenabwehr wie auch der Vorsorge bereithält.

Der Versuch, Aussagekraft und Verwendbarkeit der kategorisierenden Zweiteilung umgekehrt vom Gefahrenbegriff her zu erschließen, erweist sich ebenfalls als schwierig. Ein wesentlicher Grund liegt in der Relativität des Gefahrenbegriffs, die aus der Variabilität des maßgeblichen Wahrscheinlichkeitsgrades nach Maßgabe des jeweils betroffenen Schutzgutes resultiert. Der Grad der Wahrscheinlichkeit ist insoweit zunächst abhängig von der Wertigkeit des Schutzgutes (BVerwG, DÖV 1974, S. 209; DREWS et al., 1986, S. 224; HANSEN-DIX, 1982, S. 40). Wenn es um den Schutz besonders hochwertiger Rechtsgüter geht, kann auch die entferntere Möglichkeit eines Schadens hinreichend sein (DREWS et al., 1986, S. 224). Neben diese qualitative tritt eine quantitative Komponente, nämlich die jeweilige Intensität des dem Rechtsgut drohenden Schadens (REHBINDER, 1976, S. 2). Je größer und folgenschwerer der zu erwartende Schaden ist, desto geringere Anforderungen sind an die Wahrscheinlichkeit des Schadeneintritts zu stellen. Damit bemißt sich die Schutzwürdigkeit des Schutzgutes gleichermaßen nach qualitativen und auch quantitativen Gesichtspunkten (BVerwG, DÖV 1981, S. 422).

Durch die Einbeziehung schutzgutbezogener Erwägungen in die Schadensprognose ist der für das Vorliegen einer Gefahr maßgebliche Wahrscheinlichkeitsgrad durch eine Relativität gekennzeichnet, die sich auf den verfassungsrechtlich verankerten Grundsatz der Verhältnismäßigkeit gründet (HANSEN-DIX, 1982, S. 43). Polizei- und ordnungsrechtliches Einschreiten zur Gefahrenabwehr bezweckt die Sicherung der Rechtsgüter der Allgemeinheit bzw. anderer Bürger. Ein solches Gefahrenabwehrrecht findet seine Grundlage in dem aus den Grundrechten abzuleitenden Auftrag des Gesetzgebers, sich schützend und fördernd vor diese Rechtsgüter zu stellen und diese vor rechtswidrigen Eingriffen zu bewahren (BVerfGE 56, S. 73 ff.). Diesem Schutzauftrag trägt die Relativität des Gefahrenbegriffs Rechnung, der über den maßgeblichen Wahrscheinlichkeitsgrad den gebotenen Ausgleich widerstreitender Interessen gewährleistet. Der eine Gefahr begründende Grad der Wahrscheinlichkeit ist danach eine Frage der wertenden Güterabwägung im Einzelfall (DREWS et al., 1986, S. 224; HANSEN-DIX, 1982, S. 45).

**836.** Angesichts dieser Zusammenhänge verbleiben Zweifel, ob die Abgrenzung von Gefahrenabwehr und Vorsorge begrifflich vorgenommen werden kann. Fließende Übergänge der beiden Bereiche, die in dem Phänomen des Gefahrenverdachts als Grenzfall zwischen Gefahrenabwehr und Risikovorsorge (BREUER, 1988, S. 995) ihren Ausdruck finden, legen die An-



nahme nahe, daß eine Abgrenzung letztlich nur aufgrund politischer Entscheidung erfolgen kann. Die Leitlinien der Bundesregierung zur Umweltvorsorge sehen – allerdings mit Beschränkung auf den Bereich der Umweltpolitik – dementsprechend von einer Unterscheidung zwischen Vorsorge und Gefahrenabwehr ab.

Die Rechtsprechung (BVerwGE 72, S. 300) nimmt im Atomrecht eine Abgrenzung von Gefahr und Risiko nicht vor und verlangt, daß Gefahren und Risiken von Kernkraftwerken im Hinblick auf den Stand von Wissenschaft und Technik „praktisch“ ausgeschlossen sein müssen, während sie im Immissionsschutzrecht auf der Unterscheidung beharrt (BVerwGE 39, S. 37). Dieser Befund legt es nahe, den Gefahrenbegriff entsprechend den jeweiligen gesetzlichen Gegebenheiten zu variieren.

**837.** Soweit zur Bewältigung der Altlastenproblematik das Instrument der polizei- und ordnungsrechtlichen Generalklausel in Betracht kommt, bleiben freilich dessen normative Grenzen entscheidend. Da die Möglichkeit einer Inanspruchnahme des Verursachers oder des Eigentümers als Zustandsstörers an der Gefahrengrenze halt macht, muß eine Abgrenzung erfolgen (anderer Meinung SCHRADER, 1989, S. 290f.). Sie kann sich sicherlich nicht allein an dem Bestreben orientieren, einen Privaten mit den Sanierungskosten zu belasten. Gerade angesichts der faktischen Rückwirkung der polizeirechtlichen Störerhaftung gebietet eine rechtsstaatliche Gesetzesauslegung, den Gefahrenbegriff nicht zu strapazieren. Er bezeichnet bei der Altlastensanierung eine hohe Eingriffsschwelle. Andererseits sind Abgrenzungen, die im Rahmen besonderer Gesetze wie des Bundes-Immissionsschutzgesetzes erfolgt sind, nicht schlechthin maßgeblich. Soweit der Rat im Sondergutachten „Waldschäden und Luftverunreinigungen“ – unter der Voraussetzung des Vorliegens hinreichender objektiver Anhaltspunkte – den bloßen Verdacht von Ursache-Wirkungs-Beziehungen trotz gegenwärtiger und künftig sicherer Schäden in den Bereich der Vorsorge verwies hat (SRU, 1983, Tz. 406 ff.), muß dies vor dem Hintergrund der Regelungsstruktur des Bundes-Immissionsschutzgesetzes gesehen werden; auch geht es beim Altlastenproblem überwiegend nicht um ungeklärte Ursache-Wirkungs-Beziehungen, sondern um die Wahrscheinlichkeit der Schadstoffausbreitung und der Exposition.

**838.** Für den Schutz des Verursachers vor übermäßiger Inanspruchnahme ist auch wichtig, daß dem Gefahrenbegriff eine individualisierende Betrachtung zugrunde liegt, welche im Hinblick auf die Relevanz der Wertigkeit des betroffenen Schutzgutes und des Ausmaßes des möglichen Schadens die Einbeziehung der konkreten örtlichen Gegebenheiten (Vorbelastung, Nutzungssituation usw.) erforderlich macht. Insbesondere die konkrete Nutzungssituation spielt dabei eine besondere Rolle. Je nach der Nutzung sind unterschiedliche Rechtsgüter von den Auswirkungen einer Altlast betroffen, und auch die Intensität des möglichen Schadens kann entsprechend variieren. Bei gleicher Bodenbelastung ist gegebenenfalls eine Gefahr zu bejahen oder aber zu verneinen, wenn eine solche Fläche als Wohngebiet, Grünfläche oder Freifläche genutzt wird oder nach einem Bebauungsplan

der Gemeinde genutzt werden soll (OVG Münster, NVwZ 1985, S. 355; SCHINK, 1987, S. 402f.). Die in anderem Zusammenhang entwickelte Figur der „latenten Gefahr“ kann auch auf Altlasten angewendet werden. Diese bezeichnet eine Sachlage, die noch nicht für sich allein, sondern erst durch Hinzutreten einer – absehbaren – Veränderung der Umgebung zur Gefahrenquelle wird (DREWS et al., 1986, S. 322). Danach kann sich etwa die „angelegte Gefahrenneigung“ eines Grundstücks mit Altlasten zu einer Gefahr bzw. Störung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung verdichten, wenn die Bauleitplanung der Gemeinde ein Heranrücken der Wohnbebauung an dieses Grundstück vorsieht. Die Gefahr ist bereits latent vorhanden, aktualisiert sich jedoch zu einer konkreten Gefahr erst durch die nutzungsspezifische Veränderung der Umgebung (OVG Münster, OVG 11, S. 250; VG Gelsenkirchen, NVwZ 1988, S. 1062). Bei Naturgütern, die als Schutzgut auch der polizeilichen Gefahrenabwehr in Betracht kommen (Tz. 796), ist entsprechend je nach Art und Ausmaß der Beeinträchtigung ihrer Funktion zu variieren.

**839.** Ein mögliches Postulat der Multifunktionalität der Nutzung bei der Altlastensanierung kann daher im Rahmen der polizeirechtlichen Generalklausel nicht auf Kosten des Verursachers verfolgt werden. Dies schließt die Verfolgung des Ziels der Multifunktionalität – z. B. bereits gegenwärtig bei geeigneten Standorten nach Maßgabe einer Kosten-Nutzen-Bewertung oder allgemein als Langzeitstrategie – auf Kosten der öffentlichen Hand nicht aus. Der Pflichtige kann dann aber nur für Teilmaßnahmen in Anspruch genommen werden.

**840.** Aus der individualisierenden Betrachtungsweise ergeben sich notwendig auch Einschränkungen im Hinblick auf den Einsatz formalisierter Bewertungsverfahren zur Gefahrenbeurteilung, die auf Abstrahierung und Schematisierung nicht verzichten können, dies um so mehr, wenn der in diesen Verfahren ausgewiesene naturwissenschaftliche Erkenntnisstand eine Definition der Gefahrenschwelle für das relevante Schutzgut – noch – nicht gestattet.

### 7.3.2 Der Gefahrenverdacht

**841.** Die Entscheidung darüber, ob eine Gefahr vorliegt, erfordert eine Prognose über den zu erwartenden Geschehensablauf, wobei die streng einzelfallbezogene Perspektive des Gefahrenbegriffs der polizei- und ordnungsrechtlichen Generalklausel bedingt, daß sich die Besorgnis des Schadeneintritts aus den konkret vorliegenden Umständen ergeben muß. Vor diesem Hintergrund ist die Prognose auf der Grundlage der im Beurteilungszeitpunkt vorhandenen Erkenntnismöglichkeiten unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Erfahrungssätze zu treffen (DREWS et al., 1986, S. 223; GÖTZ, 1988, Rn. 132). Das Vorliegen einer Gefahr begegnet vielfach Zweifeln, wenn der Behörde lediglich erste Anzeichen bekannt werden, die auf die mögliche Gefährdung eines Schutzgutes hindeuten, z. B. über das Vorhandensein problematischer Stoffe in einer Altablagerung ohne Kenntnisse über deren Ausbreitung in das Grundwasser oder den Untergrund. Der Erkenntnishorizont ist

in dieser Situation dadurch bestimmt, daß bei verständiger Berücksichtigung der Umstände Zweifel am Vorhandensein einer Gefahr verbleiben und gleichzeitig Anhaltspunkte für deren Vorliegen gegeben sind. Die Sachlage, die der Behörde die Entscheidung über die Wahrscheinlichkeit des Schadeneintritts erschwert, ist gekennzeichnet durch Unsicherheiten bei der Diagnose des Sachverhalts und/oder bei der Prognose über den Kausalverlauf. Es besteht – lediglich – ein Gefahrenverdacht (DREWS et al., 1986, S. 226; GÖTZ, 1988, Rn. 128).

Die Frage, ob der begründete Gefahrenverdacht als Vorstadium einer Gefahr zu qualifizieren ist oder bereits eine Gefahr im Rechtssinne darstellt oder als „Grenzfall“ erscheint, ist rechtlich umstritten (DREWS et al., 1986, S. 226).

Zu betonen ist in diesem Zusammenhang, daß das gelegentlich angeführte Differenzierungskriterium, nämlich die „Ungeklärtheit“ der Situation, kein Spezifikum des Gefahrenverdachts darstellt, sondern das wesentliche Element einer jeden Gefahrenaussage. Wenn ein Sachverhalt vorliegt, bei dem eine Gefahr möglich erscheint, dann ist damit auch bereits der Eintritt eines Schadens möglich. Der Gefahrenverdacht erscheint insoweit als eine Gefahr geringeren Wahrscheinlichkeitsgrades (DARNSTÄDT, 1983, S. 96; SCHNEIDER, 1980, S. 408). Es liegt nahe, diesem Begriffsverständnis jedenfalls bei hoher Wertigkeit des Schutzgutes, z. B. in bezug auf die menschliche Gesundheit oder das Grundwasser, zu folgen. Der Gefahrenverdacht ist in solchen Fällen dem Bereich der Gefahr zuzuordnen.

#### 7.4 Bewertungsverfahren aus rechtlicher Sicht

**842.** Aus der Orientierung des Gefahrenbegriffs am Einzelfall, insbesondere aus seiner Relativität im Hinblick auf die Wertigkeit des beeinträchtigten Rechtsgutes und den Umfang des zu erwartenden Schadens ergeben sich deutliche Grenzen für die Verwendung von Grenzwertkonzepten im weiteren Sinne und formalisierten Bewertungskonzepten bei der Ermittlung und Bewertung von Altlasten und der Entscheidung über die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen.

##### 7.4.1 Prüfwerte und formalisierte Bewertungsverfahren

**843.** Prüfwerte sind stoffbezogene Konzentrationswerte, die dazu dienen, Art und Ausmaß der Gefährdung eines bestimmten Umweltmediums durch einen aus einer Altlast stammenden Schadstoff abzuschätzen und die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen zu beurteilen (s. Kap. 2, Tz. 154f.). Prüfwerte erfassen aber nur das stoffbezogene Gefährdungspotential einer Altlast und selbst dies nicht in all den Fällen mit hinreichender Zuverlässigkeit, in denen der Anteil der geogenen Hintergrundbelastungen und der Belastungen aus anderen Quellen an der Schadstoffkonzentration nicht gesondert berücksichtigt werden. Jedenfalls setzt die Annahme einer Gefahr im Sinne der polizei- und ordnungsrechtlichen Generalklausel vor-

aus, daß zusätzlich Einwirkungen des Schadstoffs auf bestimmte Schutzgüter, d. h. Ausbreitung auf einem Belastungspfad wie Grund- oder Oberflächenwasser, Boden, Luft, sowie Exposition von Menschen, Tieren oder Naturgütern festgestellt werden und eine hinreichende Schutzwürdigkeit der gefährdeten Schutzgüter gegeben ist, was insbesondere auch von der Nutzung und von Art und Ausmaß der Beeinträchtigung der Funktion des Umweltmediums abhängt. Hierfür bedarf es einer wertenden Entscheidung unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls. Die begriffliche Verknüpfung von Art und Konzentration bestimmter Stoffe in einem Umweltmedium und zu ergreifenden Folgemaßnahmen, z. B. nähere Untersuchung oder aber Sanierungsuntersuchung mit darauf folgender Sanierung, suggeriert einen Automatismus, der zwar nicht gewollt ist, weil die Prüfwerte als Empfehlungen begriffen werden, der jedoch in der Praxis durchaus zu erwarten ist. Sie ist dazu angetan, in der praktischen Handhabung die quantifizierbaren Gesichtspunkte in den Vordergrund zu stellen und gar zum alleinigen Beurteilungsmaßstab zu erheben, während andere Aspekte der örtlichen Situation sowie Schutzwürdigkeit des betroffenen Schutzgutes aufgrund konkret beeinträchtigter Funktion und Nutzung tendenziell in den Hintergrund treten. Ein faktisches Übergewicht der quantitativen Aspekte solcher stoffbezogener Prüfwerte wird nach ersten Erfahrungen mit der Niederländischen Liste und anderen Modellen bereits konstatiert und zunehmend kritisiert (BACHMANN, 1988, S. 119; SCHRADER, 1989, S. 293). Die wenigen bisher – meist allerdings im Eilverfahren – ergangenen Entscheidungen deutscher Gerichte begnügen sich vielfach mit der Feststellung einer Überschreitung bloßer Orientierungswerte oder empfohlener Richtwerte. Teilweise könnte – und sollte – diesen Einwänden Rechnung getragen werden, wenn es gelänge, die Prüfwerte nicht nur nach betroffenen Umweltmedien, sondern auch nach der abstrakten Schutzwürdigkeit des betroffenen Schutzgutes, insbesondere der Empfindlichkeit der ausgeübten Nutzungen oder verwirklichten Funktionen zu differenzieren. Daß dies prinzipiell möglich ist, zeigen die Ansätze der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA, 1989; vgl. Tz. 183 und 219f.).

**844.** Auch bei einer derartigen Differenzierung bleibt jedoch unter dem Gesichtspunkt der rechtlichen Begründbarkeit aus der polizei- und ordnungsrechtlichen Generalklausel ein einzelfallbezogener Relativierungsbedarf, weil entscheidende Elemente des Gefahrenbegriffs, insbesondere die Belastung aus anderen Quellen, die Ausbreitung des Schadstoffs, die Exposition von schutzwürdigen Individuen sowie Besonderheiten der Nutzung nach der örtlichen Situation, sich nicht für alle Fälle abstrahieren lassen. Hieraus ergibt sich, daß Prüfwerte nur Werte mit Relativierungsvorbehalt im Einzelfall sein können. Sie sind den „Signalwerten“ nach Ziffer 2.5.2 in Verbindung mit Ziffer 2.2.1.2 der TA Luft vergleichbar, deren Überschreitung eine Einzelfallprüfung auslöst, nicht aber schon die Entscheidung über die Genehmigung der Anlage bestimmt (vgl. FELDDHAUS und LUDWIG, 1983, S. 565). Diese Aussage gilt mit Sicherheit in „positiver“ Hinsicht. Mit der Überschreitung der Prüfwerte steht noch nicht fest, daß eine Altablagerung

eine Gefahr verursacht. Eher denkbar wäre es, den Prüfwerten — genauer: den Prüfwerten für eine nähere Untersuchung — weitergehende Wirkungen in „negativer“ Hinsicht zuzusprechen, so daß bei Einhaltung der Werte davon auszugehen wäre, daß von dem Standort keine Gefahr ausgeht (s. Kap. 2). Jedoch ist auch insoweit im Hinblick auf die örtlichen Besonderheiten, insbesondere die erhöhte Empfindlichkeit einer Nutzung, ausnahmsweise eine gegenteilige Beurteilung denkbar. Man wird den Prüfwerten daher hier zwar eine gesteigerte Wirkung nach Art einer tatsächlichen Vermutung für die Entbehrlichkeit einer weitergehenden Prüfung, nicht jedoch eine abschließende Bewertung zuerkennen können.

**845.** Zur Vorsicht bei der Heranziehung der Prüfwerte zur Gefahrenbeurteilung nötigt auch der Umstand, daß die Rahmenbedingungen des Verfahrens, in dem das Zahlenwerk festgelegt worden ist, bei den bestehenden Listen nicht immer eindeutig erkennbar sind. Mangels gesetzlicher Ermächtigungen für die Aufstellung von Prüfwerten bleibt vielfach unklar, ob sie humantoxikologisch oder ökotoxikologisch begründet sind und ob sie sich durchweg noch im Bereich der Gefahrenabwehr bewegen oder bereits die Grenze zur Vorsorge überschreiten. Eine humantoxikologische Rechtfertigung läßt sich vielfach schwer finden, bei einer ökotoxikologischen Begründung weist die Abgrenzung zur Vorsorge besondere Probleme auf. Wenngleich die Unterscheidung zwischen Gefahrenabwehr und Vorsorge bei der Bewältigung der Altlastenproblematik schwer vollziehbar ist (Tz. 835 f.), bleibt sie angesichts der normativen Grenzen der polizei- und ordnungsrechtlichen Generalklausel, aber auch von § 10 Abs. 2 AbfG, von grundlegender Bedeutung (VG Berlin, UPR 1987, S. 238). Prüfwerte, die von ihrem Anspruch her nicht einmal zu erkennen geben, welches Schutzziel sie verfolgen, sind als Mittel rationaler Steuerung der Sanierungsaktivitäten der Verwaltung gegenüber Altlasten von fragwürdigem Wert.

**846.** Schließlich ist zu bedenken, daß Prüfwertkonzepte unabhängig von dem beanspruchten Verbindlichkeitsgrad verallgemeinerungsfähige Aussagen nur im Zusammenhang mit den vorgeschriebenen bzw. verwendeten Beurteilungsverfahren gestatten. In der methodischen Absicherung, Nachvollziehbarkeit und Vereinheitlichung des Untersuchungskonzepts, insbesondere der Probenahme, liegen bisher erhebliche Probleme (s. Abschn. 3.3.1.4). Auch aus diesem Grunde ist bei Anwendung von Prüfwerten ohne eindeutige Festlegung der Randbedingungen ein weit bemessener Relativierungsvorbehalt unabdingbar.

**847.** Rechtliche Einwände im Hinblick auf die Generalisierbarkeit richten sich nicht nur gegen stoffbezogene Prüfwertlisten, sondern, wenngleich in minderm Maße, auch gegen Bewertungskonzepte, die — mit oder ohne zugehörige stoffbezogene Prüfwerte — eine einzelfallbezogene Bewertung von Altablagerungen im Hinblick auf Stoffeigenschaft, Einwirkungen auf die Umwelt, Schutzwürdigkeit und Schadensumfang in einem formalisierten Bewertungsverfahren anstreben (s. Kap. 3). Die Überlegenheit solcher Verfahren gegenüber reinen Prüfwertkonzepten ist zwar

offensichtlich, weil sie tendenziell alle bei der einzelfallbezogenen Gefahrenabschätzung erheblichen Umstände in die Bewertung einstellen. Jedoch bildet die Zuteilung quantifizierter Gewichtungsfaktoren und der daraus zwangsläufig folgende Bewertungsautomatismus in der Einzelfallbewertung eine Quelle möglicher Fehlbewertungen, die mit den Grundsätzen der Konkretisierung der polizei- und ordnungsrechtlichen Generalklausel in Konflikt geraten können. Die formalisierten Verfahren dürften daher in erster Linie für eine vorläufige Bewertung, z. B. im Rahmen der Prioritätensetzung, weniger für die endgültige Bewertung als Teil der Sanierungsentscheidung geeignet sein. Letztlich bedarf es auch hier einer einzelfallbezogenen, qualitativen Relativierung des Bewertungsergebnisses, so daß auch derartige Bewertungskonzepte nicht als zwingende, sondern nur als Verfahren mit Richtwertcharakter unter Relativierungsvorbehalt verstanden werden können.

#### 7.4.2 Orientierungswerte

**848.** Problematisch ist auch die Verwendung von Orientierungswerten bei der Untersuchung, Bewertung und Sanierung (s. auch Kap. 2). Soweit es sich, wie bei den Prüfwerten, um rein stoffbezogene Konzentrationswerte handelt, gelten im Hinblick auf den polizei- und ordnungsrechtlichen Gefahrenbegriff die gleichen grundsätzlichen Einwände gegen die Überbetonung des stoffbezogenen Gefährdungspotentials gegenüber anderen Bewertungsfaktoren. Darüber hinaus ist zu beachten, daß Orientierungswerte nur Hilfsgrößen zur Beurteilung des Kontaminationszustandes der altlastverdächtigen Flächen beim Fehlen von Prüfwerten sind, die aus anderen Gesetzen oder Regelwerken entnommen sind (z. B. Trinkwasserverordnung, TA Luft) und sich nicht unmittelbar auf Gefährdungen im Zusammenhang mit altlastverdächtigen Flächen beziehen. Es bedarf daher stets einer auf den Einzelfall bezogenen, sorgfältigen Prüfung des Aussagegehalts der Orientierungswerte im Hinblick auf Schutzziel und Schutzintensität, Art der Gefährdung, Schutzwürdigkeit der Nutzung oder Funktion des Umweltmediums, bevor diese Werte auch nur als Hilfsgrößen zur Bewertung herangezogen werden können (SCHINK, 1987, S. 401 f.). Insbesondere ist zu beachten, daß es sich vielfach um Vorsorgewerte handelt. Sie können dann bei der Gefahrenbewertung mit dem Ziel der Sanierung nur mit Zuschlägen zugrunde gelegt werden. Immerhin erscheint es denkbar, die Überschreitung individualschützender Vorsorgewerte, z. B. von Emissionswerten der TA Luft für krebserzeugende Stoffe, zum Anlaß für die Prüfung zu nehmen, ob eine nähere Untersuchung stattzufinden hat, da diese Werte eine qualifizierte Nähe zur Gefahr indizieren und die nähere Untersuchung bereits bei bloßem Gefahrenverdacht erforderlich sein kann. Insgesamt nötigen diese Überlegungen dazu, Orientierungswerte im Rang deutlich hinter den Prüfwerten zurückzusetzen. Sie können grundsätzlich nicht mehr sein als Material, das im Rahmen der Einzelfallbewertung nach bestem fachlichem Wissen verwertet werden kann. Die Bewertung als Gefahr oder Gefahrenverdacht selbst vermögen sie allein nicht zu begründen.

### 7.4.3 Referenzwerte

**849.** Referenzwerte beschreiben die Stoffkonzentrationen in nicht spezifisch kontaminierten Medien (s. auch Kap. 2). Sie dienen daher in erster Linie der Beschreibung eines Zustands normaler geogener Hintergrundbelastung und anthropogener Belastung, deren Aussagekraft freilich bei einer Durchschnittsbetrachtung oder beim Fehlen einer Aussage zum Verhältnis zwischen geogener und anthropogener Belastung gemindert wird. Trotz dieser Einschränkungen wird man davon ausgehen können, daß bei Einhaltung der Referenzwerte keine Gefahrensituation besteht, die zu Untersuchungs- oder gar Sanierungsmaßnahmen nötigt. Umgekehrt bedeutet die bloße Überschreitung von Referenzwerten noch nicht, daß eine Gefahr besteht, da bereits die geogene Hintergrundbelastung im Einzelfall durchaus höher liegen kann (VG Berlin, UPR 1987, S. 238; s. Abschn. 2.5.2 und 2.5.5).

### 7.4.4 Höchstwerte

**850.** Höchstwerte für Schadstoffbelastungen speziell durch Altlasten, die nicht überschritten werden dürfen, gibt es bisher nicht. Jedoch sind einige Regelungen, die Höchstwerte für Trinkwasser, Futter- und Lebensmittel festsetzen (z. B. Trinkwasserverordnung, Futtermittelverordnung, Schadstoffhöchstmengen-Verordnungen), mittelbar auch für die Gefährdungsabschätzung und Sanierung von Bedeutung. Werden durch die Auswirkungen einer Altlast die für die konkrete Nutzung maßgeblichen Höchstwerte nicht eingehalten, müssen grundsätzlich Sanierungsmaßnahmen oder Nutzungseinschränkungen erfolgen. Die Überschreitung von Höchstwerten begründet eine Gefahrensituation, weil die betroffene Nutzung nur noch in der Weise ausgeübt werden kann, daß Normen zum Schutz Dritter verletzt werden (s. Abschn. 7.5.2).

### 7.4.5 Prioritätensetzung

**851.** Der Prioritätensetzung kommt bei der Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und insbesondere der Sanierung von Altlasten entscheidende Bedeutung zu, da andernfalls eine effiziente und an sachgerechten Kriterien ausgerichtete Altlastenbeseitigung nicht zu gewährleisten ist. Im Rahmen des polizei- und ordnungsrechtlichen Opportunitätsprinzips ist im Hinblick auf die Verfügbarkeit von finanziellen Mitteln und die begrenzte personelle Verwaltungskapazität eine Prioritätensetzung je nach der Dringlichkeit des Problems ohne weiteres zulässig. Auch wenn neben der Dringlichkeit des Problems gegebenenfalls andere Gesichtspunkte eine Rolle spielen können, wie z. B. die Kostenwirksamkeit von Maßnahmen oder die Verfügbarkeit von Sanierungsmethoden, wird die Dringlichkeit der Dekontaminations- oder Sicherungsmaßnahme stets von ausschlaggebender Bedeutung sein müssen. Maßgeblich für die Beurteilung der Dringlichkeit ist vor allem, welche Schutzgüter bedroht sind, wie groß im Zeitpunkt der Prioritätensetzung das Ausmaß der Bedrohung ist und wie es sich in

Zukunft verändern wird. Hieraus folgt, daß für die Prioritätensetzung keine grundsätzlich anderen Kriterien gelten können als für die Gefahrenabschätzung hinsichtlich einer einzelnen altlastverdächtigen Fläche. Die Prioritätensetzung stellt vielmehr nur eine vergleichende Beurteilung verschiedener gefahrverdächtiger oder als gefährlich eingestufte Flächen dar. Aus der Sicht einer einzelnen altlastverdächtigen Fläche stellt sich daher das Verfahren der Prioritätensetzung als ein phasenbezogenes, d. h. wiederholt zu durchlaufendes, integriertes Element der Gefahrenbeurteilung dar. Es gelten daher die allgemeinen Prüfkriterien, die nur im Hinblick auf die relative Gewichtung der Einzelbewertungen gegebenenfalls zu ergänzen sind. In den in Abschnitt 7.4.1 beschriebenen Grenzen besitzen daher Prüfwerte und formalisierte Bewertungsmethoden Bedeutung auch für die Prioritätensetzung. Sie sind hier am ehesten vertretbar.

### 7.4.6 Maßnahmenbezogene Differenzierung

**852.** Prüfwerte und formalisierte Bewertungsverfahren, die auf der Grundlage solcher Werte operieren, dienen nicht lediglich der Bewertung einer altlastverdächtigen Fläche als Gefahr, sondern sind darüber hinaus als Kriterien zur Auslösung konkreter Maßnahmen gedacht. Die Begriffsbildung „Prüfwert“ verdeckt dabei, daß es sich um ein ganzes Bündel von Maßnahmen handeln kann, die von der weitergehenden Untersuchung über die Sanierungsuntersuchung bis hin zur Sanierung reichen können. Da im Anwendungsbereich der polizei- und ordnungsrechtlichen Generalklausel insbesondere zwischen der Gefahrenforschung und der Gefahrenbeseitigung unterschieden wird (s. Tz. 841), muß sich diese grundsätzliche Zweiteilung auch in den Prüfwerten widerspiegeln. Zwar ist es denkbar, einheitliche Prüfwerte im Sinne eines Stufenmodells oder einer gleitenden Skala zu konzipieren, bei der die einfache Überschreitung des Prüfwertes Gefahrenforschungseingriffe auslöst, während Sanierungsuntersuchungen und Sanierung erst bei „qualifizierter“ Überschreitung oder bei hinzutretenden einzelfallbezogenen Gefährdungsfaktoren in Betracht kommen. Jedoch ist damit die Steuerungseffizienz der Prüfwerte in Frage gestellt, da eine einheitliche Verwaltungspraxis hinsichtlich der Voraussetzungen von Sanierungsmaßnahmen nicht gewährleistet ist. Eine Differenzierung der Prüfwerte in Untersuchungs- und Sanierungswerte, wie sie der Niederländischen und Hamburger Liste zugrunde liegt, kann daher zweckmäßig sein, auch wenn man ohnehin das Schwergewicht auf die einzelfallbezogenen Gefährdungsfaktoren legen muß.

**853.** Die Intensität der jeweils vorzunehmenden Sanierungsmaßnahmen, insbesondere also das Sanierungsziel, kann durch die Prüfwerte oder durch formalisierte Bewertungsverfahren nicht vorgezeichnet werden. Abgesehen vom Fall der freiwilligen Eigen-sanierung darf und muß die Beseitigung einer Altlast so weit – aber auch nur so weit – ausgedehnt werden, daß die von ihr ausgehende Gefahr behoben wird. Das Sanierungsziel hängt damit im wesentlichen von den Faktoren ab, die die Einstufung der Alt-

last, d. h. die Feststellung von Art und Umfang der Gefahr, begründet haben. Die Unterschreitung der Prüfwerte ist nicht notwendig Ziel der Sanierung, so z. B. nicht, wenn eine Sicherungsmaßnahme die weitere Ausbreitung von Schadstoffen über den Deponiebereich hinaus verhindern kann und das Deponiegebiet nicht in einer Weise genutzt werden soll, daß damit Gefahren verbunden sind. Allerdings läßt sich umgekehrt die Aussage treffen, daß die Einhaltung der Prüfwerte im allgemeinen ausreicht, um die von der Altlast ausgehende Gefahr zu beseitigen. Nur in diesem letzteren Sinne kann man sagen, daß die Einhaltung der Prüfwerte Ziel der Sanierung ist. Unterhalb dieser Werte muß gegebenenfalls in Ausnahmefällen saniert werden, wenn im Hinblick auf die besondere Empfindlichkeit einer bestimmten Nutzung oder Funktion eines betroffenen Umweltmediums eine Gefahr bereits unterhalb der Werte angenommen wurde. Darüber hinaus steht es der öffentlichen Hand frei, unter Vorsorgegesichtspunkten auf eigene Kosten eine weitergehende Sanierung durchzuführen.

#### **7.4.7 Erhöhung des Verbindlichkeitsgrades von Prüfwerten und formalisierten Bewertungsverfahren**

**854.** Die aufgezeigten Grenzen der vorhandenen Prüfwerte und formalisierten Bewertungskonzepte im Hinblick auf die polizei- und ordnungsrechtliche Generalklausel werfen auch in rechtlicher Hinsicht die Frage auf, ob dieses Konzept ausgebaut und verbessert oder aber das Feld der Altlastensanierung ganz der durch Gutachten durchzuführenden Einzelbewertung überlassen werden sollte. Das letztere Verfahren ist wissenschaftlich sicherlich überlegen. Jedoch sprechen Gesichtspunkte gesteigerter Transparenz und Verwaltungseffizienz sowie der Gleichbehandlung für den Ausbau generalisierter Untersuchungs- und Bewertungsverfahren. Bei reiner Einzelfallentscheidung besteht eher die Gefahr einer unsachgemäßen Einflußnahme des zahlungspflichtigen Verursachers oder der betroffenen Gemeinde sowie einer Blockade notwendiger Sanierungsmaßnahmen, z. B. durch Anrufung der Verwaltungsgerichte, im Hinblick auf anders entschiedene, aber vergleichbare Einzelfälle. Den Nachteilen unwissenschaftlicher Modellvereinfachungen und Modelllücken kann nach den obigen Darlegungen durch Verfahrenstransparenz und einen Relativierungsvorbehalt für den Einzelfall ausreichend Rechnung getragen werden. Stofflisten und Bewertungsschemata können danach nur anleitenden Charakter haben.

**855.** Prüfwerte und formalisierte Bewertungsverfahren zur Gefahrenabschätzung bei altlastverdächtigen Flächen haben bisher lediglich Empfehlungscharakter. Das erscheint solange angemessen, wie sich die Verwaltung bei der Gefährdungsabschätzung und Sanierung von Altlasten noch in der Phase der Sammlung von Erfahrungen befindet. Für die nahe Zukunft ist jedoch ein stärkerer Verbindlichkeitsgrad der – vorzugsweise schutzgut- und nutzungsbezogen auszugestaltenden – Prüfwerte und formalisierten Bewertungsverfahren anzustreben, um eine einheitliche Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Altla-

sten sicherzustellen (ebenso SCHRADER, 1989, S. 294). Die Länder können auch ohne gesetzliche Ermächtigung Verwaltungsvorschriften erlassen, die den Gefahrenbegriff im Hinblick auf altlastverdächtige Flächen verbindlich für die zuständigen Behörden interpretieren. Eine Bindung auch der Verwaltungsgerichte (genauer: eine nur beschränkte gerichtliche Nachprüfung) kann nach der derzeitigen Rechtsprechung (BVerwGE 55, S. 256 und 72, S. 314 ff.; BVerwG, NVwZ 1988, S. 824; BVerwG, DVBl. 1989, S. 517; OVG Lüneburg, NVwZ 1987, S. 342; OVG Münster, DVBl. 1988, S. 152) nur erreicht werden, wenn es sich um normkonkretisierende Verwaltungsvorschriften handelt. Dies setzt nach der derzeitigen Rechtsprechung voraus, daß der Gesetzgeber durch eine spezielle Ermächtigung die Exekutive zur Normkonkretisierung ermächtigt und die Verwaltungsvorschrift unter Beachtung der gesetzlichen Wertungen auf der Grundlage sorgfältig und umfassend ermittelter wissenschaftlich-technischer Erkenntnisse in einem gesetzlich vorgeschriebenen Verfahren erlassen wird. Derartige Verwaltungsvorschriften binden – vorbehaltlich atypischer Fallgestaltungen oder gesicherter neuer Erkenntnisse – auch die Verwaltungsgerichte.

Ob gegenwärtig bereits ausreichend gesicherte Erkenntnisse bestehen, um Verwaltungsvorschriften mit gesteigerter Bindungswirkung für die Gefährdungsabschätzung und Sanierung von Altlasten zu rechtfertigen, erscheint dem Rat zweifelhaft. Jedoch sollten bereits jetzt Ermächtigungen geschaffen werden, um entsprechend den zu erwartenden Erkenntnisfortschritten jedenfalls für Teilaspekte Verwaltungsvorschriften erlassen zu können. Der Weg über Verwaltungsvorschriften mit gesteigerter Bindungswirkung hätte auch den Vorteil, daß der Prozeß der Entscheidungsfindung nicht ein bloßes Verwaltungsinternum bliebe, sondern mit Beteiligung der Öffentlichkeit, jedenfalls unter transparent zu machender sorgfältiger Auswertung aller verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen erfolgen müßte.

**856.** Die gegenwärtige Praxis ist nicht nur durch das Fehlen verbindlicher Kriterien für die Gefährdungsabschätzung und Sanierung von Altlasten, sondern auch durch eine außerordentliche Vielfalt der Kriterien, Konzepte, Methoden und Finanzierungsweisen von Bundesland zu Bundesland, zum Teil auch innerhalb desselben Bundeslandes, gekennzeichnet. Der Rat hält eine Vereinheitlichung jedenfalls der Kriterien für die Gefährdungsabschätzung und Sanierung von Altlasten für erforderlich (s. auch Kap. 3). Den von Land zu Land bestehenden Unterschieden hinsichtlich Problemdruck, Verwaltungskapazität, Finanzierungsbedarf und Finanzierungsmöglichkeiten kann durch jeweils unterschiedliche Prioritätensetzung ausreichend Rechnung getragen werden. Insoweit sollte jedes Bundesland, z. B. durch eine ermessenslenkende Verwaltungsvorschrift, Ausmaß und Geschwindigkeit der Altlastensanierung zwar weiterhin selbst bestimmen können. Die Gefahrenkriterien, die bei der Prioritätensetzung sowie bei der Untersuchung, Bewertung und Sanierung zugrunde zu legen sind, sollten jedoch nicht von Land zu Land verschieden sein, weil es sich beim Altlastenproblem um ein

gravierendes Umweltproblem von gesamtstaatlicher Bedeutung handelt, das einheitliche Problemlösungsstrategien erfordert. Einheitliche, explizit gemachte Kriterien sind geeignet, die Transparenz und Effizienz der Altlastensanierung auf allen Entscheidungsebenen sicherzustellen, unsachgemäße Außeneinflüsse zu neutralisieren und eine Kontrolle über die Aussagen der im Einzelfall hinzuzuziehenden Sachverständigen auszuüben. Diese Vorteile überwiegen bei weitem gewisse Akzeptanzprobleme, die man bei numerischen Werten haben mag, zumal die Werte, die sich der Rat hier vorstellt, nur als „Signalwerte“ gedacht sind, die eine Bewertung im Einzelfall nicht erübrigen; es dürfte möglich sein, dies der betroffenen Bevölkerung zu verdeutlichen.

**857.** Um ein einheitliches methodisch-konzeptionelles Vorgehen der Behörden in der Bewertungsphase anzuregen, sollte nach Auffassung des Rates der Bund seine bisherige Abstinenz in der Altlastenfrage jedenfalls teilweise aufgeben und im Abfallgesetz entsprechende Ermächtigungen zum Erlass normkonkretisierender Verwaltungsvorschriften schaffen. Alternativ käme auch eine informelle Vereinheitlichung durch eine in der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) abgestimmte Länderverwaltungsvorschrift in Betracht. Dieses Verfahren führt nach den bisherigen Erfahrungen mit abgestimmten Länderverwaltungsvorschriften jedoch nicht in gleichem Maße zu einer Vereinheitlichung der Verwaltungspraxis. Um eine gesteigerte Bindungswirkung zu erreichen, bedürfte es auch der Einfügung gesetzlicher Ermächtigungen in sämtliche Landesabfallgesetze. Eine Bundesregelung ist nach Auffassung des Rates daher vorzuziehen.

**858.** Die Regelung sollte sich auch auf Altstandorte beziehen. § 11 Abs. 1 Satz 2 AbfG erstreckt die abfallrechtliche Überwachung bereits auf Altstandorte, auf denen vor Inkrafttreten des Gesetzes Abfälle angefallen sind. Kraft des objektiven Abfallbegriffs rechnen hierzu auch Reststoffe, die in den Boden gelangt sind; die inzwischen regelmäßig eingetretene feste Verbindung des Reststoffs mit dem Boden steht dem nicht entgegen. Um unterschiedliche Vorschriften hinsichtlich Altablagerungen und Altstandorten zu vermeiden und den Grundstückseigentümer ebenfalls erfassen zu können, ist eine abfallrechtliche Regelung sinnvoll, selbst wenn künftig bei bestehenden Anlagen Betreiberpflichten auch für die Zeit nach ihrer Stilllegung im Bundes-Immissionsschutzgesetz vorgesehen werden und darüber hinaus die wasserrechtlichen Anforderungen zu beachten sind. Eine abfallrechtliche Regelung wäre von der Gesetzgebungszuständigkeit nach Art. 74 Nr. 24 und notfalls nach Art. 74 Nr. 11, Art. 75 Nr. 4 GG gedeckt.

**859.** Inhaltlich stehen gegenwärtig Prüfwerte für die human- und ökotoxikologische Gefahrenbewertung wichtiger Stoffe mit bekannten Eigenschaften in Altlasten sowie entsprechende Prüfraster und Untersuchungsmethoden für die nähere Untersuchung im Vordergrund. Auf lange Sicht hält es der Rat auch für sinnvoll, Prüfwerte im Vorsorgebereich aufzustellen, um künftige Sanierungsaktivitäten auf Kosten der öffentlichen Hand über das dem Verursacher zuzurechnende Maß hinaus zu steuern. In diesem Zusammen-

hang könnte auch dem Problem der Gefährdungsabschätzung gegenwärtig nicht bewertbarer Stoffe Rechnung getragen werden, z. B. durch vorläufige Einordnung in eine bestimmte Gefahrenkategorie nach dem Vorbild der Verwaltungsvorschrift des Bundes über wassergefährdende Stoffe.

## 7.5 Durchführung von Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen

### 7.5.1 Untersuchungsmaßnahmen

**860.** Die polizei- und ordnungsrechtliche Generalklausel ermächtigt die Behörde, die notwendigen Maßnahmen zur Gefahrenbeseitigung zu treffen. Dazu rechnen auch Maßnahmen der näheren Untersuchung und Überwachung bei festgestellten Altlasten. Die Generalklausel deckt aber in bestimmten Grenzen auch solche Verfügungen, welche die Behörde erst zwecks Ermittlung und Abschätzung einer Gefahr erläßt. Maßnahmen, die der Ermittlung eines gefahrenverdächtigen Sachverhalts dienen (Gefahrenerforschungseingriffe), knüpfen schon an einen durch Tatsachen erhärteten Gefahrenverdacht an (BVerwGE 39, S. 41; VGH Mannheim, DÖV 1985, S. 688 f.; DREWS et al., 1986, S. 227).

**861.** Hinsichtlich des Umfangs etwaiger Maßnahmen besteht weitgehend Einigkeit dahin, daß vorläufige Maßnahmen zur Unterbrechung des gefahrenverdächtigen Kausalverlaufs ergriffen werden dürfen (BREUER, 1987, S. 754; SCHINK, 1986, S. 166). Der Katalog zulässiger Maßnahmen umfaßt nicht zuletzt die Vornahme von Probebohrungen, Messungen und Sicherstellungen. Wird der Verdacht auf diese Weise weder bestätigt noch entkräftet, sind ausnahmsweise auch Maßnahmen zur endgültigen Gefahrenbeseitigung statthaft, wenn und soweit besonders gewichtige Rechtsgüter auf dem Spiel stehen (SCHINK, 1986, S. 166). Begrenzungen ergeben sich daraus, daß der Eingriff nicht das zur Gefahrenabwehr erforderliche Maß überschreiten darf.

**862.** Unterschiedliche Auffassungen bestehen hinsichtlich der Frage, ob die zur Aufklärung des Sachverhaltes erforderlichen Ermittlungsmaßnahmen ausschließlich von der Behörde vorzunehmen und von dem Verdachtsbetroffenen lediglich zu dulden sind oder diesem durch Ordnungsverfügung zur Vornahme aufgegeben werden können. Rechtsprechung (VGH Mannheim, DÖV 1985, S. 688; OVG Saarlouis, DÖV 1984, S. 471; VG Karlsruhe, ZfW 1985, S. 59) und Schrifttum (SCHINK, 1986, S. 166) bejahen überwiegend die Inanspruchnahme des möglicherweise Pflichtigen unter Hinweis darauf, daß dieser als „vorläufiger“ Störer in Betracht komme. Dagegen werden jedoch Bedenken insoweit vorgebracht, als ein Verdachtsbetroffener, gleichgültig ob im Stadium des Gefahrenverdachts oder des — bei Vorliegen einer Gefahr bestehenden — Verursachungsverdachts, nur solche Maßnahmen hinzunehmen habe, die mit dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu vereinbaren seien. Insoweit könne ein Verdachtsbetroffener grundsätzlich nur in diesem Umfang — reflexartig — in Anspruch genommen werden, nicht jedoch zur ei-

genständigen Vornahme von Gefahrenforschungsbzw. Gefahrenabwehrmaßnahmen (BREUER, 1987, S. 754; vgl. auch STRIEWE, 1986, S. 280; OVG Koblenz, NVwZ 1987, S. 240f.).

**863.** Ebenfalls nicht abschließend geklärt ist die mit dem Begriff des Gefahrenforschungseingriffs verbundene Problematik, ob der Verdachtsbetroffene im nachhinein die Kosten der behördlicherseits vorgenommenen Maßnahmen der Sachverhaltsermittlung zu tragen hat. Soweit sich der Gefahrenverdacht durch die Ermittlungen nicht bestätigt, verbleibt die Kostenlast bei der ermittelnden Behörde (BREUER, 1987, S. 755; KLOEPFER, 1987, S. 19; PAPIER, 1985, S. 875; SCHINK, 1986, S. 166); diese trägt das Risiko des Gefahrenforschungseingriffs. Eine andere Beurteilung soll sich jedoch dann ergeben, wenn die Gefahr aufgrund der Ermittlungen bewiesen wird. In diesem Fall steht nach überwiegender Auffassung (BREUER, 1987, S. 755; KLOEPFER, 1987, S. 19; SCHINK, 1986, S. 166; VGH Mannheim, NVwZ 1986, S. 325) einer Kostenübertragung auf den Verantwortlichen nichts im Wege. Eine andere Ansicht (DREWS et al., 1986, S. 678; PAPIER, 1985, S. 875) verneint dies demgegenüber unter Hinweis auf die das Verwaltungshandeln prägenden Prinzipien der Amtsermittlung.

**864.** Insgesamt ist das polizei- und ordnungsrechtliche Instrumentarium für die Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und festgestellten Altlasten zwar geeignet, trägt aber den Besonderheiten der Problematik nicht ausreichend Rechnung. So ist nach den Polizei- und Ordnungsgesetzen zwar das Betreten von Grundstücken zulässig, es fehlt jedoch an Vorschriften, die den Pflichtigen auch zur Erteilung von Auskünften, Vorlage von Unterlagen oder Duldung der Einsichtnahme in Unterlagen verpflichten. Eine allgemeine Regelung der Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und festgestellten Altlasten nach dem Muster des § 19 AbfG HE erscheint dem Rat für die Zukunft in allen Bundesländern erforderlich.

## 7.5.2 Ordnungsrechtliche Sanierungsmaßnahmen

### Verhältnismäßigkeit

**865.** Die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen bei Altlasten auf Kosten des Verursachers oder sonstige Verantwortlichen unterliegt den Anforderungen des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit. Die Maßnahmen müssen geeignet sein, die Gefahr zu beseitigen, müssen sich auf das Erforderliche beschränken und dürfen nicht außer Verhältnis zu dem angestrebten Ziel stehen; dabei ist in gewissem Umfang auch die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit des Pflichtigen zu berücksichtigen. Stehen mehrere zur Gefahrenabwehr geeignete Sanierungsverfahren im Zeitpunkt der Entscheidung zur Verfügung, muß außerdem der durch die kostenträchtigere Maßnahme verursachte Mehraufwand zu dem Grad der Mehrentlastung der Umwelt durch gerade diese Maßnahmen in Bezug gesetzt werden (s. auch Kap. 5). Diese Gesichtspunkte beeinflussen auch die Frage, ob eine Sicherungs- oder eine Dekontaminationsmaßnahme durchzuführen ist. Wenngleich grundsätzlich der Dekontamination der

Vorzug zu geben ist, weil sie die Gefahrenquelle beseitigt, so kann doch in bestimmten Fällen eine Sicherungsmaßnahme die einzig verhältnismäßige Lösung sein, zum Beispiel wenn mangels genauer Kenntnis der Altlast das Risiko, daß durch die Dekontaminationsmaßnahmen die Gefahr vergrößert wird, zu hoch erscheint. Unabhängig von der Art der geplanten Maßnahme ist das Risiko des Fehlschlages eines grundsätzlich geeigneten Sanierungsverfahrens in die Prüfung der Verhältnismäßigkeit einzubeziehen (s. Tz. 480). Nutzungseinschränkungen kommen aufgrund von ordnungsbehördlichen Verfügungen grundsätzlich nur als vorläufige Maßnahmen in Betracht. Eine rechtmäßig ausgeübte, gar planerisch ausgewiesene Nutzung muß grundsätzlich nicht zurücktreten, nur weil die Dekontamination oder Sicherung mit erheblichen Aufwendungen verbunden ist. Dies schließt freilich einen eigenen angemessenen Beitrag des Opfers zur Schadensminderung nicht aus. Im einzelnen dürften hier die Grundsätze anwendbar sein, die die zivilrechtliche Rechtsprechung im Rahmen der nachbarrechtlichen Haftung entwickelt hat (BGHZ 66, S. 78; 70, S. 111). Der Rat weist aber darauf hin, daß derartige Billigkeitsgesichtspunkte nicht so weit gehen dürfen, daß nunmehr zum Beispiel die chemische Aufbereitung von Trinkwasser verlangt werden könnte. Außerdem bleibt eine – nach Maßgabe der §§ 39ff. BauGB entschädigungspflichtige – Nutzungsänderung aufgrund eines Bebauungsplans möglich. Alle genannten Überlegungen müssen vor dem Hintergrund der hohen umweltpolitischen Bedeutung der Bewältigung der Altlastenproblematik für die Bundesrepublik betrachtet werden. Auch beim Vorliegen aller Voraussetzungen verbleibt der Behörde jedoch ein sogenanntes Opportunitätsmessen, ob sie mit den Mitteln des Polizei- und Ordnungsrechts einschreiten will. Abgesehen von einem Verzicht des Tätigwerdens kommen zum Beispiel der Abschluß eines Verwaltungsvertrages sowie sonstige stärker kooperative Strategien in Betracht.

### Instrumentarium

**866.** Ein an der Problematik der Altlastenbeseitigung orientiertes, insbesondere die Planung der Beseitigungsmaßnahmen steuerndes Instrumentarium fehlt im geltenden Recht. Ermächtigungsgrundlagen, die die Behörden in die Lage versetzen, durch feststellenden Verwaltungsakt eine Altlast bindend festzustellen, fehlen mit Ausnahme Hessens (§ 18 AbfG HE), so daß diese Feststellung bürgerwirksam erst mit einer Sanierungsanordnung erfolgen kann. Auch fehlt es an einer Ermächtigung zu Sanierungsanordnungen, mit denen dem Pflichtigen die Erstellung eines Sanierungsplans aufgegeben werden kann (s. auch Abschn. 4.3.1).

**867.** Ein besonderes Problem der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen liegt darin, daß diese zu neuen Umweltbelastungen führen können. Dieser Gesichtspunkt ist nicht nur im Rahmen des Opportunitätsprinzips bei der Entscheidung der Frage wichtig, ob überhaupt und welche Maßnahmen durchgeführt werden sollten. Vielmehr bestimmt er auch die rechtlichen Anforderungen an die Durchführungsmaßnahmen selbst. Grundsätzlich gelten insoweit die alle-

meinen auf die jeweilige Art der Durchführungsmaßnahme anwendbaren gesetzlichen Regelungen. Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen können im allgemeinen nach Polizei- und Ordnungsrecht durchgeführt werden. Bei „in situ“-Sanierung kann Wasserrecht anwendbar sein, z. B. bei hydraulischen Maßnahmen und Immobilisierungsmaßnahmen (vgl. Abschn. 4.3.2); das gleiche gilt bei einer „on site“-Sanierung für das Waschen von kontaminiertem Erdreich in mobilen Anlagen (STAUPE, 1988, S. 612). Soweit Maßnahmen zur Durchführung einer Sanierung mit Errichtung oder Abbruch von Bauwerken verbunden sind, gilt Bauordnungsrecht. Nutzungsbeschränkungen bis zur Durchführung einer Sanierung bei geplanten Baumaßnahmen sind ebenfalls nach Bauordnungsrecht möglich, weil die Eignung des Unterbodens nach seiner Beschaffenheit zu den Voraussetzungen der Erteilung der Baugenehmigung gehört (s. auch Abschn. 5.1.2, Tz. 656). Bei Altablagerungen, die nach dem Inkrafttreten des Abfallgesetzes von 1972 stillgelegt worden sind, ist für Sanierungsanordnungen § 10 Abs. 2 AbfG anwendbar. Das schließt eine Genehmigungspflicht der angeordneten Maßnahme nach anderen Rechtsvorschriften nicht aus.

#### Anwendung des Abfallrechts

**868.** Sanierungsmaßnahmen sind vielfach auch mit einer Abfallbehandlung oder Abfallablagerung verbunden. Soweit die altabgelagerten Abfälle oder das verunreinigte Erdreich weiterhin am Standort verbleiben, wie bei der „in situ“-Behandlung, handelt es sich nach geltendem Recht nicht um Abfälle; unter den Abfallbegriff des § 1 Abs. 1 AbfG fallen nur bewegliche Sachen. Zum Abfall kann kontaminiertes Erdreich aus Altlasten aber mit dem Ausbaggern werden, weil hier neue Gefahren nicht auszuschließen und daher die abfallrechtlichen Schutzgüter berührt sind (BARZ und KAUFMANN, 1987, S. 23f.; SCHINK, 1985, S. 1151; STAUPE, 1988, S. 611). Oft werden schon die Voraussetzungen des subjektiven Abfallbegriffs gegeben sein. Jedenfalls liegt im allgemeinen Abfall im objektiven Sinne vor, da eine ordnungsgemäße Entsorgung geboten ist. Etwas anders sind diejenigen Fallgestaltungen zu bewerten, in denen ausgehobenes Erdreich nach der Entfernung der Verunreinigungen rückverfüllt werden soll, wenn also ein über die Abwehr der am Standort drohenden Gefahr hinausgehendes Ziel verfolgt wird. Ein solcher Vorgang ist als Verwertung anzusehen. Auf die Verwertung ist Abfallrecht solange nicht anwendbar, wie sie der ehemalige Betreiber einer stillgelegten Anlage selbst durchführt oder durch einen Dritten durchführen läßt (s. Tz. 873). Wird eine dem Abfallrecht unterfallende Sanierung „on site“ durchgeführt, so kann sich die Errichtung kleinerer oder größerer Behandlungsanlagen als erforderlich erweisen, die der Zulassung nach § 7 AbfG, gegebenenfalls sogar der Planfeststellung, bedürfen (STAUPE, 1988, S. 611). Denkbar ist auch, daß die zu sanierende Fläche insgesamt im Hinblick auf den weiten Anlagenbegriff des Abfallrechts (BVerwGE 66, S. 309) eine Anlage zur Abfallbehandlung darstellt, die nach § 7 AbfG insgesamt der Zulassung bedürfte und nach den Maßstäben des § 8 Abs. 3 AbfG zu beurteilen wäre.

Aus dem Gesetz ergibt sich nicht mit hinreichender Deutlichkeit, daß diese Konsequenz des Begriffs der Abfallentsorgungsanlage beabsichtigt ist. Die Regelungen über Sanierungsmaßnahmen bei Stilllegung von Neuanlagen legen eher die Folgerung nahe, daß die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen in einer vor Inkrafttreten des Abfallgesetzes stillgelegten Altdeponie, sowie an einem Altstandort, nicht unbedingt einer abfallrechtlichen Zulassung bedarf. Bei Neuanlagen können – und müssen – Vorkehrungen gegen schädliche Umwelteinwirkungen nach Stilllegung Gegenstand schon des Planfeststellungsbeschlusses sein (HÖSEL und von LERSNER, bis 1989, § 10 Rn. 9ff.; SCHWERMER, 1988, § 10 Rn. 16). § 10 Abs. 2 AbfG bietet die Möglichkeit ergänzender Auflagen nach Stilllegung, soweit im Planfeststellungsbeschuß noch keine entsprechenden Auflagen enthalten sind oder sich deren Notwendigkeit erst nach der Stilllegung herausstellt. Insoweit verlangt das Gesetz keine Ergänzung des bestehenden Planfeststellungsbeschlusses. Es ist jedoch zu beachten, daß § 10 Abs. 2 AbfG der zuständigen Behörde ergänzende Befugnisse zu nachträglichen Auflagen verleiht, die insofern der Zulassung gleichwertig sind, als sie der Verhütung von Beeinträchtigungen der abfallrechtlichen Schutzgüter dienen.

**869.** Auch bei Altlasten ist daher der Träger der Sanierung im Hinblick auf neue, mit der Sanierung verbundene Risiken nicht schon deshalb von der Einhaltung der abfallrechtlichen Anforderungen freigestellt, weil es sich bei der Altlastensanierung nur um Gefahrenabwehr handelt. Die Zulassungsbedürftigkeit der belasteten Fläche als Abfallentsorgungsanlage – wie auch das Verbot, Sanierungsmaßnahmen an ausgebagertem Erdreich außerhalb zugelassener Anlagen durchzuführen (§ 4 Abs. 1 AbfG) – dient dem Zweck sicherzustellen, daß durch die Sanierungstätigkeit nicht neue Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit (§ 2 Abs. 1 Satz 2 AbfG) verursacht werden. Auch ist im Fall der Planfeststellungspflichtigkeit künftig die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung gewährleistet. Allerdings ist das Planfeststellungsverfahren nach seiner Ausgestaltung ein besonders umfangreiches und zeitaufwendiges Verfahren; es dauert im Abfallbereich oft mehrere Jahre. Einen solchen Zeitaufschub erlauben Sanierungsmaßnahmen häufig bereits aus Gründen der Gefahrenabwehr nicht. Soweit möglich sollte daher das Genehmigungsverfahren nach § 7 Abs. 2 AbfG gewählt werden; aufgrund der geringen Zeitdauer der Sanierungsmaßnahme wird es sich im allgemeinen – freilich nicht immer – um eine unbedeutende Anlage handeln (anderer Meinung SCHWERMER, 1988, § 7 Rn. 55). Der Nachteil des Genehmigungsverfahrens liegt freilich darin, daß dann die Konzentrationswirkung der Planfeststellung entfällt, so daß nach anderen Gesetzen, insbesondere nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz, erforderliche Genehmigungsverfahren gesondert durchzuführen sind. Die Verfahrensdauer des immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens liegt jedoch in der Praxis meist deutlich unter der des Planfeststellungsverfahrens.

**870.** Unabhängig von der Wahl der Verfahrensart sind die materiellen Anforderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes zu beachten, soweit es sich



um eine nach der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) dem Genehmigungserfordernis unterliegende Anlage handelt. Dies ist insbesondere für Verbrennungs- und Waschanlagen der Fall (Spalte 1 Nr. 8.1, 8.2 und 8.4 des Anhangs der 4. BImSchV), wobei die zweifelhafte Frage, ob Verbrennungsanlagen unter Nr. 8.1 oder, weil Ziel der Behandlung nicht die nahezu vollständige Beseitigung des gesamten Erdreichs ist, unter Nr. 8.4 fallen, für ortsfeste Anlagen unerheblich ist.

**871.** Durch die Anwendung des Abfallrechts darf die Begrenzung des Sanierungsziels auf Gefahrenabwehr nicht überspielt werden; zum Beispiel kann nicht eine Sanierung einer Altablagerung auf das Anforderungsniveau einer nach modernen Maßstäben angelegten Deponie verlangt werden. Die polizeirechtlichen Kriterien sind daher auch im Rahmen des § 2 Abs. 1 Satz 2 AbfG zu beachten. Soweit durch die Sanierungstätigkeit neue Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit drohen, müßte gegebenenfalls im Wege der Abwägung entschieden werden, ob der Nutzen der Beseitigung der Gefahr aus der bestehenden Altlast das mit den Sanierungsmaßnahmen verbundene Risiko (s. auch Abschn. 4.3.1.3) derart überwiegt, daß die Maßnahmen insgesamt dem Wohl der Allgemeinheit entsprechen. Diese Abwägung kommt auch im Anwendungsbereich des Immissionsschutzrechts in Betracht, soweit es um Anforderungen der Vorsorge geht. In jedem Fall ist freilich zu prüfen, ob nicht Sanierungsalternativen zur Verfügung stehen, die nicht zur teilweisen Aufgabe der gesetzlichen Schutzgüter zwingen. In der Ermöglichung einer derartigen Abwägung sowie der Pflicht zur Durchführung einer UVP bei größeren Sanierungsmaßnahmen liegt der Vorteil einer modifizierten Anwendung des Abfallrechts auf die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen am Standort der Altdeponie oder der stillgelegten Anlage.

**872.** Erfordert die Durchführung der Sanierung eine Verbringung von altabgelagerten Abfällen, von kontaminiertem Erdreich oder von Rückständen aus Behandlungsanlagen in eine Sonderabfalldeponie, so unterliegen die Einsammlung, die Zwischenlagerung, der Transport und die Deponierung ohne weiteres dem Abfallrecht. Dabei können aber gegebenenfalls – außer bezüglich der Deponierung – Ausnahme genehmigungen nach § 4 Abs. 2 AbfG in Betracht kommen.

**873.** Fraglich ist bei der Sanierung von Altlasten auch die rechtliche Beurteilung der Verwertung. § 1 Abs. 1 Satz 2 AbfG unterstellt eine von der entsorgungspflichtigen Körperschaft oder einem von ihr beauftragten Dritten durchgeführte Verwertung von Sachen, die diesen vom Besitzer überlassen worden sind, dem Regime des Abfallrechts. Es liegt nahe, diese Vorschrift auch für die Verwertung von altabgelagerten Abfällen oder zu Abfall gewordenem Erdreich aus Altstandorten anzuwenden. Zusätzlich gelten die immissionsschutzrechtlichen Anforderungen. Die Anwendung des Abfallrechts hat für die Durchführung von Verwertungsmaßnahmen auf dem Gelände ähnliche Konsequenzen wie im Fall einer anderweitigen Sanierung; auch bei Verbringung der Stoffe in eine andere ortsfeste Verwertungsanlage würden grund-

sätzlich die abfallrechtlichen Anforderungen gelten mit der Konsequenz, daß nur solche Verwertungsanlagen bedient werden dürfen, die nach Abfallrecht zugelassen sind. Andererseits vermag die bloße Möglichkeit einer öffentlichen Verwertung nach dem Abfallgesetz eine Verwertung durch den ehemaligen Betreiber einer stillgelegten Anlage oder durch einen in seinem Auftrag tätigen Dritten nicht zu verdrängen. Eine private, dem Regime des Bundes-Immissionsschutzgesetzes unterstellte Verwertung kann lediglich dann unterbunden werden, wenn im Einzelfall nur eine als öffentliche Einrichtung nach Abfallrecht betriebene Anlage die Umweltauswirkungen des Verwertungs Vorganges oder des Verwertungsproduktes in den gebotenen Grenzen halten kann.

#### Mobile Anlagen

**874.** Besondere Bedeutung besitzt bei der Altlastensanierung der Einsatz mobiler Behandlungsanlagen, insbesondere Verbrennungs- und Waschanlagen. Verbrennungsanlagen sind nach § 1 BImSchG in Verbindung mit Nr. 8.1 des Anhangs der 4. BImSchV genehmigungsbedürftig, wenn zu erwarten ist, daß sie mehr als sechs Monate nach der Inbetriebnahme an einem Ort betrieben werden; für Anlagen zur Beseitigung von Stoffen, die halogenierte Kohlenwasserstoffe enthalten, gilt das Genehmigungserfordernis auch bei einer kürzeren Verweildauer an einem Standort. Der hierdurch gewährleistete besondere Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft gegen Gefahren beim Verbrennen halogener Kohlenwasserstoffe spricht dafür, Verbrennungsanlagen stets nach der Nr. 8.1 und nicht nach der Nr. 8.4 der 4. BImSchV zu behandeln, obwohl man sie, da ihr Ziel regelmäßig nicht die nahezu vollständige Beseitigung des Erdreichs ist, auch als Anlagen zur Aufbereitung fester Abfälle im Sinne der Nr. 8.4 ansehen könnte; der Wortlaut der Nr. 8.1 läßt diese Auslegung zu. Waschanlagen sind nach Nr. 8.4 der 4. BImSchV ebenso genehmigungspflichtig, wenn sie eine Leistung von einer Tonne oder mehr je Stunde aufweisen und voraussichtlich sechs Monate und mehr am selben Ort betrieben werden. In Fällen der Genehmigungspflichtigkeit ist das Genehmigungsverfahren für den betreffenden Standort unter Berücksichtigung aller vom Gesetz erfaßten Umweltauswirkungen aufgrund des Standorts, der Betriebswerte und der Beschaffenheit der zu verarbeitenden Stoffe durchzuführen. Ein Wechsel des Standorts stellt eine Neuerrichtung dar, die ein neues Genehmigungsverfahren auslöst, sofern nicht ausnahmsweise die Erstgenehmigung für mehrere Standorte erteilt wurde. Hierdurch kann sichergestellt werden, daß die Auswirkungen der Anlage auf die jeweilige Umgebung am neuen Standort unter Beteiligung von Nachbarn und Öffentlichkeit überprüft werden. Für eine analoge Anwendung des § 7 Abs. 2 AbfG auf andere mobile Anlagen (so GASSNER, 1989, S. 405) fehlt es an Anhaltspunkten im Gesetz; die Entstehungsgeschichte des Änderungsgesetzes zum Abfallgesetz von 1976 spricht gegen eine derartige Analogie.

**875.** Mobile Anlagen können auch einer Zulassungspflicht nach Abfallrecht bedürfen. Bildet die mo-

bile Anlage einen Teil von Altdeponien oder von Altstandorten, die im Hinblick auf die Art und Dauer der Sanierungsarbeiten insgesamt als bedeutende Abfallentsorgungsanlage gelten, so ist die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens erforderlich, in dem unter Einbeziehung der immissionsschutzrechtlichen Anforderungen der Schutz der abfallrechtlichen Rechtsgüter umfassend überprüft wird. Bei der häufiger in Betracht kommenden Durchführung eines Genehmigungsverfahrens hat dagegen das immissionsschutzrechtliche Verfahren Vorrang und die Einhaltung der abfallrechtlichen Anforderungen ist in diesem Verfahren zu prüfen. Eine abfallrechtliche Zulassung ist stets erforderlich, wenn die mobile Anlage im Hinblick auf ihre Benutzung auf längere Zeit an einem Standort – wie nach Bauordnungsrecht – als ortsfest anzusehen ist (KUNIG, 1988, § 4 Rn. 17). Dies dürfte unter den gleichen Voraussetzungen wie nach Immissionsschutzrecht zu bejahen sein, so daß die 6-Monatsfrist der 4. BImSchV maßgeblich ist (HOLTMEIER, 1988, S. 304f.). Damit sind in diesen Fällen im Hinblick auf jeden Standort unter anderem die standortspezifischen Auswirkungen des Anlagenbetriebs zu überprüfen; es ist gegebenenfalls auch die Einhaltung der baurechtlichen Anforderungen sicherzustellen.

Die betreffenden Regelungen gewährleisten, daß die Auswirkungen der mobilen Anlage an einem bestimmten Standort ebenso wie ihre Eignung für den konkreten Entsorgungsvorgang im Rahmen der Altlastensanierung umfassend überprüft werden. Die Verfahrensdauer kann dadurch verkürzt werden, daß man sich möglichst des Genehmigungsverfahrens nach § 7 Abs. 2 AbfG bedient, wodurch der Vorrang des immissionsschutzrechtlichen Verfahrens begründet wird.

**876.** Unsicherheiten in der rechtlichen Behandlung herrschen allerdings hinsichtlich des Einsatzes mobiler Anlagen, die nur auf kurze Zeit an einem Standort betrieben werden und daher nicht unter die Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) fallen. Zum Teil wird die Auffassung vertreten, daß es sich hierbei um „zugelassene Anlagen“ im Sinne von § 4 Abs. 1 AbfG handele (BIRN, bis 1989, § 4 Anm. 1.4; HÖSEL und von LERSNER, bis 1989, § 4 Rn. 2). Dies hat zur Befürchtung geführt, daß diese Anlagen dann grundsätzlich ohne Überprüfung ihrer Umweltauswirkungen betrieben werden könnten. Dem ist jedoch entgegenzuhalten, daß derartige mobile Verbrennungsanlagen unter die immissionsschutzrechtliche Generalklausel des § 22 BImSchG fallen, deren Vollzug im Einzelfall durch bestimmte Anforderungen konkretisiert werden kann. Gesichtspunkte der Vorsorge können aufgrund einer Verordnung nach § 23 BImSchG zur Geltung gebracht werden, so daß das an sich bestehende Anforderungsgefälle im Verhältnis zu genehmigungsbedürftigen Anlagen beherrschbar ist. Das Waschen von kontaminiertem Erdreich in mobilen Anlagen unterliegt der wasserrechtlichen Kontrolle. Hieraus ergibt sich, daß auch ohne Anwendung des Abfallrechts die Umwelt nicht schutzlos ist. Lehnt man diese Auffassung ab, daß es sich hierbei um „zugelassene“ Anlagen im Sinne des § 4 Abs. 1 AbfG handelt, so kann die Zulässigkeit des Einsatzes solcher Anlagen bei der Altlastensanierung

wohl über eine abfallrechtliche Ausnahmegenehmigung nach § 4 Abs. 2 AbfG hergestellt werden (KUNIG, 1988, § 4 Rn. 17). Eine derartige Ausnahmegenehmigung ist dem Abfallbesitzer für einen bestimmten Standort zu erteilen. Dabei sind unter dem Gesichtspunkt des Wohls der Allgemeinheit auch die konkreten Umweltauswirkungen des Anlagenbetriebs an dem Standort zu überprüfen.

**877.** Das geltende Recht ist auf die besonderen Probleme der Errichtung und des Betriebs von Anlagen zur Altlastensanierung nicht zugeschnitten. Die unterschiedliche rechtliche Behandlung derartiger Anlagen und die problematische Abgrenzung von Abfall- und Immissionsschutzrecht stellen zwar keine unüberwindbaren Barrieren für die Altlastensanierung dar, sie behindern jedoch den behördlichen Vollzug und damit zumindest die zügige Sanierung, erhöhen die Kosten der Altlastensanierung, hemmen die technische Entwicklung in diesem Bereich und führen nicht zuletzt mangels ausreichender Transparenz zu Akzeptanzproblemen. Der Rat schlägt daher vor, die in Betracht kommenden Anlagen, auch bei einer vorgesehenen Betriebsdauer von weniger als sechs Monaten, je nach Gefährdungspotential in Spalte 1 oder Spalte 2 des Anhangs der 4. BImSchV aufzunehmen und damit insgesamt genehmigungspflichtig zu machen.

Ob Sanierungsanlagen, die dem Abfallrecht unterliegen und gleichzeitig nach Immissionsschutzrecht genehmigungsbedürftig sind, darüber hinaus von der Zulassungsbedürftigkeit nach § 7 AbfG ausgenommen werden sollten (BT-Drucksache 11/4909, Anlage 2, Nr. 50), kann nur generell, nicht aber isoliert für Sanierungsanlagen entschieden werden.

**878.** Notwendig sind ferner Maßnahmen, die der Dringlichkeit der Altlastensanierung einerseits und der schnellen Entwicklung der Sanierungstechnik andererseits Rechnung tragen und diese möglichst fördern. Für eine zügige Entwicklung der Sanierungstechnik sind Versuchsanlagen unumgänglich. Für Versuchsanlagen, die der Erprobung neuentwickelter Verfahren dienen, sollten nach dem Vorbild des § 2 Abs. 3 Satz 1 der 4. BImSchV auch im Abfallrecht gesetzliche Grundlagen geschaffen werden. Es ist an ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren zu denken, das eine schnelle Genehmigung ermöglicht und auf Anlagen anwendbar ist, die bis zu zwei Jahren betrieben werden. Diese Zeitdauer erscheint im Hinblick auf die Neuartigkeit vieler Techniken zur Altlastensanierung erforderlich. Zu denken ist auch daran, im Abfallrecht entsprechend der Regelung in § 9 BImSchG (vgl. JARASS, 1983, § 9 Rn. 3) einen Vorbescheid in der Form des Konzeptvorbescheids für Sanierungsanlagen gesetzlich einzuführen. Schließlich kommen gesetzliche Regelungen für ortsveränderliche Sanierungsanlagen in Betracht, die in Anlehnung an § 33 BImSchG eine Bauartzulassung ermöglichen und so das Genehmigungsverfahren entlasten.

### 7.5.3 Bauleitplanung und städtebauliche Sanierung

**879.** Ein auf die Besonderheiten von Altlasten zugeschnittenes Instrumentarium zur Planung der Durch-

führung von Nutzungsbeschränkungen und Sanierungsmaßnahmen gibt es im geltenden Recht – von gewissen Ausnahmen abgesehen – nicht.

**880.** Auf Altlasten bezogene oder doch auf sie anwendbare Regelungen bietet das Baugesetzbuch zunächst im Vorfeld von Sanierungsmaßnahmen. Ein Mittel der Offenhaltung von planerischen Entscheidungsoptionen hinsichtlich Altablagerungen ist die nach § 5 Abs. 1 Satz 2 BauGB bei Flächennutzungsplänen gegebene Möglichkeit, für bestimmte Flächen innerhalb des Plangebiets Nutzungsaussagen zu unterlassen. Bei Ungewißheit über das Gefahrenpotential von altlastverdächtigen Flächen sowie in Fällen, in denen gegenwärtig keine geeigneten Sanierungsverfahren zur Verfügung stehen, kann die Gemeinde darauf verzichten, im Flächennutzungsplan Nutzungsaussagen zu machen (HENKEL, 1988, S. 373). Zweifelhaft ist dagegen, ob diese Vorschriften auch anwendbar sind, wenn zwar Art, Umfang und Gefährdungspotential der Altlast bekannt sind, aber mit der Entscheidung über eine Sanierung noch gewartet werden soll.

**881.** Die Pflicht der Gemeinde, bei der Aufstellung von Bauleitplänen solche Flächen zu kennzeichnen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind (§ 9 Abs. 5 Ziff. 3 BauGB), dient der Information künftiger Nutzer über einen bestehenden Sanierungsbedarf, erübrigt jedoch nicht eine sachgerechte Abwägung über die Nutzung als solche wegen der Belastung. Für Flächen, die in einem Flächennutzungsplan für eine Bebauung vorgesehen werden sollen, enthält § 5 Abs. 3 Ziff. 3 BauGB eine entsprechende Regelung. Ähnlich wie im Rahmen des polizei- und ordnungsrechtlichen Gefahrenbegriffs kann das Merkmal der Erheblichkeit nicht ausschließlich quantitativ anhand von Prüf- oder Orientierungswerten bestimmt werden, sondern setzt eine einzelfallbezogene Risikobeurteilung voraus. Die Erheblichkeitsschwelle ist im Hinblick auf den städtebaulichen Charakter der Kennzeichnungspflicht nutzungsbezogen zu verstehen, so daß es darauf ankommt, ob eine Altlast Einfluß auf die konkret vorgesehene Nutzung haben kann (DIECKMANN, 1987, S. 517; HENKEL, 1988, S. 375). In diesem Rahmen ist Schutzgegenstand der Kennzeichnungspflicht nicht nur die menschliche Gesundheit, sondern auch die Umwelt (HENKEL, 1988, S. 374; SCHINK, 1987, S. 405f.). Die Kennzeichnungspflicht macht nicht am polizei- und ordnungsrechtlichen Gefahrenbegriff halt. Der Begriff der erheblichen Belastung mit umweltgefährdenden Stoffen deckt auch die Einbeziehung festgestellter Altablagerungen und Altstandorte, deren Risikopotential unterhalb der Gefahrenschwelle bleibt, aber für die künftige Nutzung erheblich ist. Bloße Verdachtsflächen sind dagegen nicht zu kennzeichnen.

**882.** Beschränkungen künftiger Nutzungen bei der Ausweisung von Flächen durch Bauleitpläne können als Mittel der Gefahrenabwehr bei Altlasten eingesetzt werden. Auf der Ebene der Bauleitplanung ist im Rahmen der Abwägung darüber zu entscheiden, ob und in welchem Ausmaß festgestellte Altlasten Auswirkungen auf die Planung haben können. Wird durch eine Altlast die vorgesehene Nutzung in Frage

gestellt, bestehen insbesondere Zweifel an der Bebaubarkeit, so ist diese Frage im Normsetzungsverfahren zu klären (BGH, NJW 1989, S. 976; VG Gelsenkirchen, NVwZ 1988, S. 573). Flächen, die durch Altlasten Gesundheitsgefahren verursachen, dürfen im Hinblick auf die Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sowie die Sicherheit der Wohn- und Arbeitsbevölkerung (§ 1 Abs. 5 Satz 2 Ziff. 1 BauGB) nicht überbaut werden. Damit sind Flächen, die mangels Dekontamination oder Sicherung eine Gefahr im polizei- und ordnungsrechtlichen Sinne verursachen, von der Bebauung ausgeschlossen. Soweit ein bestehender Bebauungsplan noch nicht oder nicht vollständig vollzogen ist, obliegt der Gemeinde unter den gleichen Voraussetzungen eine Pflicht zur Anpassung, sofern nicht alsbald eine Sanierung durchgeführt wird (SCHINK, 1988, S. 533). Häufig wird auch in diesen Fällen die Frage von Entschädigungsleistungen akut werden, insbesondere wenn die Bebaubarkeit des Grundstückes verlorengeht. Unabhängig vom polizei- und ordnungsrechtlichen Gefahrenbegriff dürften freilich Baubeschränkungen bei der Neuaufstellung eines Bebauungsplans oft bereits dann angemessen sein, wenn nach den Gefährdungsmaßstäben der Fachgesetze, insbesondere des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und des Wasserhaushaltsgesetzes, ein Gefährdungspotential absehbar ist. Das Verbot, durch Planung polizeirechtliche Gefahren zu verursachen, bildet nur die äußere Grenze der planerischen Gestaltungsfreiheit (BGH, ZfBR 1982, S. 91; SCHINK, 1987, S. 403); jedoch wird eine Abwägung, die sich auf bloße Einhaltung der ordnungs- und polizeirechtlichen Anforderungen beschränkt, vielfach fehlerhaft sein. Dies dürfte insbesondere Flächen betreffen, bei denen nach Durchführung von Sanierungsmaßnahmen noch ein erhebliches Risiko verbleibt. Von praktischer Bedeutung ist in jedem Fall die Möglichkeit, im Bebauungsplan Teilflächen von einer Überbauung freizuhalten, wenn nur von diesen Gefahren ausgehen. Für diese Flächen kann dann eine unempfindlichere Nutzung gewählt werden, die die Gefahr ausschließt (sanierungsabwehrende Nutzungsänderung). Die Ausschöpfung dieses rechtlich zulässigen Gestaltungsspielraums ist unter Umweltschutzgesichtspunkten nicht immer befriedigend.

**883.** Für die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen sind in gewissem Umfang, jedoch nicht für alle Fälle, die Bauleitplanung und die städtebauliche Sanierung einsetzbar. Eine Verpflichtung, sich bei der Altlastensanierung dieser Instrumente zu bedienen und damit in einem rechtlich geregelten Verfahren unter Einschaltung der Öffentlichkeit Sanierungsziele und Sanierungsmaßnahmen festzusetzen, besteht nicht.

Die Bebauungsplanung kommt aus tatsächlichen oder rechtlichen Gründen jedenfalls dann nicht in Betracht, wenn die kontaminierten Flächen sehr klein sind, wenn ihre Nutzung beibehalten werden soll oder wenn es lediglich um Grundwassergefährdungen geht. Auch besitzt die bei Altlasten nötige Bodensanierung häufig eine Komplexität, die mit dem Instrument der Bauleitplanung nicht bewältigt werden kann, da dieses nicht auf die Maßnahmendurchführung zugeschnitten ist (CLAUS, 1988, Kennziffer 6420, S. 15).

**884.** Besser geeignet erscheint das Verfahren der städtebaulichen Sanierung (§§ 136ff. BauGB), das trotz unterschiedlicher historischer Zielsetzung im Hinblick auf die Offenheit des Sanierungsbegriffs auch für die Altlastensanierung einsetzbar ist (BT-Drucksache 10/6166, S. 146; KRAUTZBERGER, 1987, § 136 Rn. 12). Auch die Bundesregierung empfiehlt in ihrem Bodenschutzprogramm die Verwendung dieses Instrumentariums (BT-Drucksache 10/2977, S. 45f.). Mit dem Erfordernis des städtebaulichen Mißstandes, den umweltbezogenen Sanierungszielen, der Beteiligung der Betroffenen, der förmlichen Abgrenzung des zu sanierenden Gebiets, der Maßnahmenplanung und der Geltung des Abwägungsgebots bei Zielsetzung und Maßnahmenplanung enthalten die Vorschriften des Baugesetzbuches über die städtebauliche Sanierung Elemente eines auch der Problemstruktur der Altlastensanierung angemessenen Verfahrens. Hinderlich ist freilich, daß das Instrumentarium stark auf bauliche Durchführungsmaßnahmen zugeschnitten ist, während die für die Sanierung in Betracht kommenden ordnungsrechtlichen Maßnahmen (§ 147 Abs. 1 Ziff. 3 BauGB) in den Hintergrund treten. Gleichwohl ist insbesondere bei überbauten Altlasten in Wohn- und Industriegebieten mit einer Vielzahl Betroffener die Anwendung dieses Instrumentariums sinnvoll, wenn Gemeinden wegen ihrer eigenen Planungsfehler oder aus politischen Gründen auf eigene Kosten eine Sanierung durchführen, die über bloße Gefahrenbeseitigung hinausgeht. In anderen Fällen ergeben sich gewisse Probleme daraus, daß die Zielsetzung des § 136 Abs. 4 BauGB über die bloße Gefahrenbeseitigung hinausgreift, das heißt eine Sanierung unter dem Gesichtspunkt der Vorsorge gebietet, für die der Verursacher nicht in vollem Umfang verantwortlich gemacht werden kann. Auch ist das Verfahren der städtebaulichen Sanierung auf Förderung durch die öffentliche Hand zugeschnitten und daher zwar rechtlich zulässig, aber weniger attraktiv, wenn ein Verur-

sacher herangezogen werden kann (KRAUTZBERGER, 1986, S. 112).

**885.** Das Instrumentarium der städtebaulichen Sanierung bietet zwar keine umfassende, wohl aber eine in den meisten Fällen brauchbare Lösung für die Planung und Durchführung der Altlastensanierung. In der Praxis ist eine Reihe von Altlastsanierungen im Rahmen von städtebaulichen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt worden. CLAUS (1988, Kennziffer 6420, S. 15ff.) hat demgegenüber die Entwicklung eines besonderen Planungsverfahrens für die Durchführung der Altlastensanierung vorgeschlagen, das Elemente der Bauleitplanung und der städtebaulichen Sanierung enthält. Die von ihm eingebrachten Vorstellungen können nach Auffassung des Rates schon weitgehend im Rahmen des Instrumentariums der städtebaulichen Sanierung verwirklicht werden. So ist eine erweiterte Bürgerbeteiligung möglich, wenn die Gemeinde im Rahmen der Sanierung Bauleitpläne aufstellt, ändert oder aufhebt, was häufig der Fall sein wird; hier kann die Gemeinde die Beteiligung nach § 3 mit der Beteiligung nach § 137 Satz 1 BauGB verbinden. Die von CLAUS vorgeschlagene Bildung einer auch Dritte umfassenden Sanierungsgemeinschaft und die obligatorische Durchführung des Sanierungsverfahrens lassen sich auf dem Boden des geltenden Rechts nicht verwirklichen.

**886.** Insgesamt läßt sich feststellen, daß die für die Durchführung von Maßnahmen zur Altlastenbeseitigung geltenden Rechtsvorschriften nicht nur recht vielfältig sind, sondern daß sie in ihrer Gesamtheit keine der Eigenart und Bedeutung der Dekontamination und Sicherung von Altlasten entsprechende Regelungsdichte und Struktur aufweisen. Sowohl das allgemeine Polizei- und Ordnungsrecht als auch das Abfallrecht, soweit dieses überhaupt anwendbar ist, begnügen sich mit Generalklauseln, die in der Praxis schwer vollziehbar sind.

## 8 Schlußfolgerungen und Empfehlungen

### 8.1 Zur derzeitigen Altlastensituation

#### 8.1.1 Dimension des derzeitigen Altlastenproblems

##### Erkennen des Altlastenproblems

**887.** Bis zum Ende der 70er Jahre befaßten sich Behörden und die Öffentlichkeit vorwiegend mit den Altlasten, die auf Altablagerungen zurückzuführen waren. Sie entstanden durch Abfälle aus dem häuslichen und gewerblichen Bereich, die ohne genügende Rücksicht auf den Schutz der Böden, des Untergrundes und des Grundwassers teilweise auf ungeeigneten Ablagerungsplätzen abgekippt oder vergraben wurden.

**888.** In den letzten Jahren hat sich der Bereich der Altlasten durch eine verstärkte Einbeziehung der Altstandorte wesentlich erweitert. Die Ursachen für die Entstehung von Altlasten an Altstandorten sind vielfältiger als bei Altablagerungen; sie hängen eng mit den Aktivitäten der gewerblichen Wirtschaft und öffentlicher Einrichtungen in früheren Jahren zusammen. Durch falsche Einschätzung des Gefährdungspotentials in Verbindung mit sorglosem und leichtfertigen Umgang nicht nur mit Produktionsabfällen, sondern auch mit Zwischenprodukten und Betriebsstoffen sowie durch Leckagen kam es zu Verunreinigungen von Böden und Untergrund auf dem Betriebsgelände mit Auswirkungen auf die Umgebung.

**889.** Die Leckagen stammen nicht nur aus Produktions- und Lagereinrichtungen, sondern auch aus undichten Leitungs- und Kanalsystemen.

**890.** Besondere Aufmerksamkeit gilt auch denjenigen Flächen, auf denen Spreng- und Kampfstoffe sowie Kampfmittel der beiden Weltkriege hergestellt, gelagert, ab- und umgefüllt, erprobt, abgelagert oder vernichtet worden waren.

**891.** Die Tragweite der Gefährdung an Altablagerungsplätzen und Altstandorten wurde erst erkannt, nachdem eine moderne Analytik und neue Erkenntnisse über das Verhalten und über das Gefährdungspotential von Schadstoffen vorlagen. Durch das Auftreten spektakulärer Fälle von Umweltschäden zeigte sich, daß das als Selbstverständlichkeit vorausgesetzte Selbstreinigungsvermögen von Böden und Untergrund früher überschätzt wurde. Durch eingetretene Schadensfälle wurde das Umweltbewußtsein im Hinblick auf den Schutz der Böden und des Untergrundes sensibilisiert.

**892.** In diesem Zusammenhang sieht der Rat die Notwendigkeit, bei der Information der Bevölkerung immer wieder darauf hinzuweisen, daß Altablagerungen und Altstandorte in Verdacht stehen können, Gefahren oder Umweltschäden zu verursachen, daß aber nicht jede dieser Flächen tatsächlich eine Gefährdung für Mensch und Umwelt darstellt. Der Nachweis von

Verunreinigungen und Schadstoffen in der Umwelt, der mit moderner Analytik bis in den Bereich extrem geringer Spuren möglich ist, erlaubt noch keine Aussage über den Grad der Gefährdung.

##### Auswirkungen auf die Umwelt

**893.** Nach Auffassung des Rates stellen Altablagerungen weniger eine Bodengefährdung als eine Gefährdung von Grundwasser und Untergrund dar, da die Nutzung einer Fläche zur Abfallablagerung ohnehin mit einer Zerstörung der gewachsenen Böden einhergeht. Die Gefährdung von Grundwasser und Untergrund erfolgt über die Schadstoffe im Sickerwasser. Außerdem können auf bewachsenen Altablagerungen Schadstoffe von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden und dadurch in die Nahrungskette gelangen. Gasaustritte und Staubverwehungen führen ebenfalls zu Umweltbelastungen.

**894.** An Altstandorten können darüber hinaus die Anreicherungen bestimmter Schadstoffe in Böden und im Untergrund die Regelungsfunktionen, die Produktionsfunktionen und die Lebensraumfunktionen nachteilig verändern. Hierdurch werden die Verunreinigungen an Altstandorten schwerpunktmäßig auch zu einem Bodenschutzproblem.

**895.** Die vorliegenden Erkenntnisse aus den bisher erfaßten altlastverdächtigen Flächen lassen den Schluß zu, daß alle Schutzgüter betroffen sein können, wenn es zu entsprechender Ausbreitung der Schadstoffe und zur Exposition kommt.

**896.** Aufgrund der Vielfalt der Möglichkeiten von Gesundheits- und Umweltgefährdungen durch Altablagerungen und Altstandorte sieht der Rat in der Erfassung und Gefährdungsabschätzung altlastverdächtiger Flächen und in der Sicherung und Dekontamination der Altlasten eine besondere und wichtige Aufgabe des Umweltschutzes. Sie verlangt eine medienübergreifende Denk- und Handlungsweise und steht beispielhaft für die Weiterentwicklung von der sektoralen zur integralen Betrachtungsweise im Umweltschutz. Eine solche Handlungsweise verlangt eine übergreifende Zusammenarbeit der betroffenen Fachdisziplinen und Behörden.

**897.** Die von Altablagerungen und Altstandorten ausgehenden Gefährdungen können in akute und latente Gefährdungen der Schutzgüter unterschieden werden. Unter akut wird dabei in Übereinstimmung mit dem polizei- und ordnungsrechtlichen Gefahrenbegriff ein Zustand verstanden, der schon Schäden bzw. Beeinträchtigungen der Schutzgüter verursacht hat oder bei ungehindertem Ablauf des Geschehens in überschaubarer Zukunft mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu einem Schaden an einem oder mehreren Schutzgütern der öffentlichen Sicherheit führen wird.

Von einer latenten Gefährdung wird dann gesprochen, wenn schädliche oder nachteilige Umwelteinwirkungen oder Gesundheitsbeeinträchtigungen mit einer gewissen Eintrittswahrscheinlichkeit, die im Sinne des polizeirechtlichen Gefahrenbegriffs als noch nicht hinreichende Wahrscheinlichkeit bezeichnet wird, erst zukünftig zu besorgen sind oder durch Nutzungsänderungen hervorgerufen werden können.

**898.** Art und Grad der Gesundheits- und Umweltgefährdungen bestimmen sich nicht nur durch die Schadstofflast in einer Altablagerung oder an einem Altstandort, sondern wesentlich durch die Exposition, die von der Art der Nutzung der Flächen und ihrer Umgebung, z. B. Wohnbebauung oder Trinkwassergewinnungsgebiet, abhängig sein kann. Deshalb sollte das jeweilige durch Exposition und Nutzung gegebene Potential der Gesundheits- und Umweltgefährdung zur Festlegung von Notwendigkeiten und Prioritäten bei der Untersuchung und Sanierung herangezogen werden.

#### Zur Akzeptanz

**899.** Neben den Belastungen der Umwelt können Altablagerungen und Altstandorte wirtschaftliche und auch soziale Auswirkungen haben. Besondere soziale Auswirkungen treten dann auf, wenn Wohngebäude oder ganze Wohnsiedlungen auf Altlasten oder in deren unmittelbarer Nachbarschaft errichtet worden sind.

**900.** Nach Auffassung des Rates handelt es sich bei dem gesamten Problembereich der Altlasten um gesellschaftliche Lasten, Entscheidungen und Risiken, die nur in öffentlichen, das heißt politisch organisierten, Prozessen bewältigt werden können. Damit wird der Verursacher einer Altlast nicht aus seiner Verantwortung und Finanzierungsverpflichtung entlassen. Aber sowohl Altlasten als auch deren Sanierung sind mit Belastungen und Gefahren verbunden. Ihre Akzeptanz setzt voraus, daß alle unmittelbar und mittelbar Betroffenen die Belastungen und Gefahren aus der Durchführung oder Unterlassung von Sanierungsmaßnahmen kennen und sie bewußt um eines bestimmten Zieles und Nutzens willen in Kauf nehmen. Auf Dauer gesehen ist nur eine Bevölkerung, die unvermeidbare Belastungen bewußt zu akzeptieren gelernt hat, ein verlässlicher Partner für die schwierige, langwierige und teure Aufgabe der Altlastensanierung. Die Aufgabe von Wissenschaftlern und Experten besteht darin, durch Information und Aufklärung, insbesondere durch die Erarbeitung von Bewertungskriterien und ihre Erläuterung, den allgemeinen politischen Willensbildungsprozeß zu unterstützen und zu fördern.

**901.** Im Interesse einer schnellen und wirksamen Sanierung von Altlasten hält es der Rat für unbedingt notwendig, eine möglichst weitgehende Akzeptanz für das geplante Vorgehen bei den Betroffenen und der Öffentlichkeit zu erreichen. Die ohne diese Akzeptanz auftretenden Behinderungen und Verzögerungen können die Entstehung und die Fortdauer von Belastungen begünstigen und die damit verbundenen

Risiken vergrößern. Der Rat sieht Programme zur Beteiligung der Öffentlichkeit und zur Einbeziehung der Betroffenen in die Entscheidungsprozesse als unverzichtbaren Bestandteil jeder Sanierungsplanung an.

#### Altlastendefinition

**902.** Um eine gleichartige Erfassung und Beurteilung altlastverdächtiger Flächen und eine einheitliche Handhabung bei der Gefährdungsabschätzung und bei den Sanierungsmaßnahmen in der Bundesrepublik zu erreichen, schlägt der Rat folgende Definition für Altlasten vor:

Altlasten sind Altablagerungen und Altstandorte, sofern von ihnen Gefährdungen für die Umwelt, insbesondere die menschliche Gesundheit, ausgehen oder zu erwarten sind.

##### 1. Altablagerungen sind

- verlassene und stillgelegte Ablagerungsplätze mit kommunalen und gewerblichen Abfällen,
- stillgelegte Aufhaldungen und Verfüllungen mit Produktionsrückständen auch in Verbindung mit Bergematerial und Bauschutt sowie
- illegale („wilde“) Ablagerungen aus der Vergangenheit;

##### 2. Altstandorte sind

- Grundstücke stillgelegter Anlagen und Nebeneinrichtungen,
- nicht mehr verwendete Leitungs- und Kanalsysteme sowie
- sonstige Betriebsflächen oder Grundstücke,

in denen oder auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen wurde, aus den Bereichen der gewerblichen Wirtschaft oder öffentlicher Einrichtungen.

Der Rat ist sich bewußt, daß es sich bei diesem Definitionsansatz um eine Konvention handelt, die sich auf die heute erkennbaren Schwerpunkte des Altlastenproblems konzentriert. Kriegs- und rüstungsbedingte Altlasten können sowohl dem Bereich der Altablagerungen als auch dem der Altstandorte zugeordnet werden.

Der Rat befürwortet eine bundesgesetzliche Initiative, durch die Bund und Länder an diese Definition gebunden werden.

#### Stand der Erfassung

**903.** Bezüglich der Erfassung altlastverdächtiger Flächen kommt der Rat zu dem Schluß, daß wegen abweichender Definitionen, differierender Vorgehensweisen und eines unterschiedlichen Bearbeitungsstandes in den einzelnen Bundesländern derzeit noch keine abschließenden Angaben über die Zahl der Altablagerungen und Altstandorte möglich sind. In den nächsten Jahren wird die Zahl der altlastverdächtigen Flächen noch weiter ansteigen. Um ein eindeutiges Bild auch über die Art und Lage der Ver-

dachtsflächen zu erhalten, empfiehlt der Rat, Übersichten nach einer einheitlichen Struktur in allen Bundesländern zu erstellen.

**904.** Trotz des noch unvollständigen Standes der Erfassung altlastverdächtiger Flächen in der Bundesrepublik machen die jetzt schon vorliegenden Zahlen deutlich, daß nicht alle Bundesländer gleichermaßen von den Problemen der Altablagerungen und Altstandorte betroffen sind.

Sowohl nach der Art der Verunreinigungen als auch nach der Anzahl und schwerpunktmäßigen Verteilung bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den Ländern mit hohem Industrieanteil und den eher landwirtschaftlich ausgerichteten Bundesländern. Eine Verschärfung der Lage ergibt sich vor allem für die vom industriellen Strukturwandel betroffenen Länder. Im Einzelfall sind erhebliche technische und finanzielle Anstrengungen für Untersuchung und Sanierung von Altlasten auch in Bundesländern, in denen die Land- und Forstwirtschaft flächenmäßig einen großen Anteil einnimmt, freilich nicht auszuschließen.

**905.** Altlasten sind nicht nur auf die Bundesrepublik beschränkt. Der auf internationaler Basis begonnene Erfahrungsaustausch sollte intensiviert werden, um auf dem Gebiet der Erfassung, besonders aber auf den Gebieten der Gefährdungsabschätzung und der Sanierungsmaßnahmen die Erfahrungen mit dem Ausland auszutauschen.

**906.** Die Bundesregierung und die Länder haben zahlreiche Arbeitsgruppen eingerichtet, die sich mit der Altlastenproblematik beschäftigen. Es liegen einige wichtige Arbeitsergebnisse vor. Dennoch erscheint dem Rat eine Intensivierung der Arbeiten erforderlich, um für die Umwelt nachteilige Entwicklungen zu verhindern und um schneller zu einheitlichen Auffassungen auf hohem Niveau zu kommen.

**907.** Der Rat sieht auch in dem weitgehenden Fehlen bundesrechtlicher Gestaltungsmittel auf dem Gebiet der Altlasten Nachteile, die zur unterschiedlichen Bewertung und Behandlung des Problems in den einzelnen Bundesländern führen können. Eigene Zuständigkeiten besitzt der Bund bei Bundesstraßen, Bundesbahn, Bundespost und Bundeswehr. Hier liegt es am Bund selbst, die Altlastenproblematik zügig und in koordinierter Form anzugehen.

### 8.1.2 Grundlagen zur Beurteilung der Gefährdungen

#### Ziele der Beurteilung

**908.** Die Beurteilung der Gefährdungen durch altlastverdächtige Flächen muß sich auf alle potentiellen Wirkungspfade und alle Schutzgüter einschließlich der bestehenden oder geplanten Nutzungen erstrecken.

**909.** Das derzeit noch teilweise fehlende Wissen infolge der Vielfalt von Schadstoffen mit ihren zahlreichen Wechselwirkungen und Reaktionen in den Umweltmedien macht eine quantitative Beschreibung des Risikos nicht möglich. Nach Auffassung des Rates bleibt es deshalb immer nur bei einer Abschätzung

der Gefährdung bzw. des Risikos. Die fehlenden Kenntnisse über vorhandene Schadstoffe sollten aber bei Altablagerungen nicht dazu führen, in jedem Fall von den ungünstigsten Annahmen auszugehen, zum Beispiel von abgelagerten dioxinhaltigen Abfällen. Von den ungünstigsten Voraussetzungen sollte nur ausgegangen werden, wenn begründete Verdachtsmomente bestehen und wenn zusätzlich die Ausbreitung des betreffenden Schadstoffes zu einer Exposition führen kann, die eine Gefährdung für die Schutzgüter und hier insbesondere für die menschliche Gesundheit bedeutet.

Der Rat empfiehlt, durch Forschungsarbeiten und durch systematisches Auswerten aller vorhandenen Erkenntnisse die mit einer Abschätzung verbundene Unsicherheit der Aussage über das Gefährdungspotential ständig zu verringern.

**910.** Die Vielzahl der möglichen Schadstoffe macht es notwendig, sich auf eine begrenzte Zahl relevanter Stoffe festzulegen, auf die sich eine Beurteilung des Gefährdungspotentials stützen soll. Als Auswahlhilfen können hierbei Vorkommen, Mobilität, Toxizität, Bioakkumulierbarkeit, Abbaubarkeit und Langzeitgefährdungspotential dienen. Der Rat empfiehlt, die von der Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“ der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall für diesen Zweck erarbeiteten Beurteilungshilfen laufend fortzuschreiben. Bei der allgemeinen Beurteilung des Gefährdungspotentials sind auch Stoffe aus dem Bereich der Altlasten aus Rüstungsbetrieben und der Kanalisation einzubeziehen.

**911.** Unter den zahlreichen Einflußfaktoren auf das Verhalten von festen, flüssigen und gasförmigen Schadstoffen bei den einzelnen Wirkungspfaden spielen die Transportmechanismen bei der Ausbreitung von Schadstoffen aus Altablagerungen oder aus verunreinigtem Erdreich eine herausragende Rolle. Vor allem für Stoffe, die beim Transport Reaktionen unterliegen, bestehen hinsichtlich der Erfassung der Transportphänomene im Untergrund noch Wissenslücken. Der Rat empfiehlt, durch entsprechende Forschungsvorhaben das Gebiet der numerischen Simulationsmodelle zum Stofftransport weiterzuentwickeln. Der Einsatz derartiger Modelle kann einen wichtigen Beitrag zur Lösung der Probleme beim Erkennen und Voraussagen von kritischen Beeinträchtigungen in Böden, Untergrund und Grundwasser liefern.

**912.** Als Schutzgüter gelten insbesondere die Gesundheit des Menschen, weiter die Umweltmedien Wasser, Boden, Luft, die pflanzlichen und tierischen Lebewesen mit ihren Ökosystemen, aber auch die Sachgüter, wie Bauwerke oder Versorgungs- und Entsorgungsleitungen.

Die mögliche Exposition der Schutzgüter Wasser, Boden und Luft erfolgt im Bereich einer Altablagerung oder eines Altstandortes zunächst unabhängig von der tatsächlichen oder geplanten Nutzung durch den Menschen.

Deshalb erscheint dem Rat im Hinblick auf einen umfassenden Umweltschutz eine Unterscheidung zwischen nutzungsunabhängiger und nutzungsabhängiger Exposition bei den verschiedenen Schutzgütern sinnvoll.

**913.** Der Rat vertritt die Auffassung, daß eine auf die Nutzungsart bezogene Gefährdungsabschätzung nicht nur die Nutzungsinteressen des Menschen, sondern auch den Schutz von Ökosystemen an sich vor möglichen Schadeinwirkungen durch Altablagerungen und Altstandorte berücksichtigen muß. Im Interesse einer Dichotomisierung des Schutzgutdenkens im Altlastenbereich sollte daher über den Stellenwert der Abwehr von Gefahren für Leben und Gesundheit des Menschen einerseits sowie für die belebte und unbeliebte Umwelt andererseits bundesweit Einigkeit herbeigeführt werden.

Durch eine solche dichotomische Behandlung der Schutzgüter könnten gegenüber dem geltenden Recht auch erweiterte Möglichkeiten der Altlastensanierung im Sinne des vorsorgenden Umweltschutzes geschaffen werden, die allerdings nicht zu Lasten des Verursachers gehen können.

**914.** Die Exposition der Ökosysteme Grundwasser, Oberflächengewässer und Böden führt nicht nur zu einer Verunreinigung mit Schadstoffen, sondern sie kann auch die Regelungs- und Lebensraumfunktionen nachteilig beeinflussen und zu einer Beeinträchtigung des Naturhaushaltes führen. Da bisher noch keine systematischen Untersuchungen zu ökotoxischen Wirkungen, die von Altlasten ausgehen können, vorliegen, besteht auf diesem Gebiet noch Forschungsbedarf.

**915.** Je nach bestehender oder in Aussicht genommener Nutzung auf der altlastverdächtigen Fläche und in ihrem Einwirkungsbereich sind die Schutzgüter unterschiedlich betroffen. Primär kontaminierte Schutzgüter können zu einer sekundären Belastung weiterer Schutzgüter beitragen und schließlich eine Exposition des Menschen bewirken.

Die Nutzungsabhängigkeit der Gefährdung besteht nicht nur im Hinblick auf die mögliche Exposition gegenüber Schadstoffen, sondern auch in bezug auf das Verhalten und die Empfindlichkeit der Betroffenen, zum Beispiel von Kleinkindern.

Von wesentlicher Bedeutung für die mögliche Belastung ist auch die Dauer der Exposition, die von der bestehenden oder geplanten Nutzung abhängt. Nutzungen mit Daueraufenthalt von Menschen im Bereich Wohnen und Arbeiten sowie die Nutzung von Wasser als Trinkwasser haben ein besonderes Schutzbedürfnis.

Im Hinblick auf die verschiedenen Schutzgüter und Nutzungsformen ist der Rat der Auffassung, daß eine konkrete Gesundheitsgefährdung des Menschen – direkt oder indirekt – stets zum Handeln zwingt.

#### Stoff- und konzentrationsbezogene Kriterien

**916.** Bei den stoff- und konzentrationsbezogenen Kriterien ist zwischen ihrer Anwendung bei der Erkennung von Verunreinigungen und ihrer Anwendung zur Beurteilung des Gefährdungspotentials zu unterscheiden. Eine Verunreinigung liegt dann vor, wenn die Hintergrundwerte der Schadstoffe in den Umweltmedien, d. h. die Referenzwerte, mit Sicherheit und nicht nur geringfügig überschritten sind. In

die Beurteilung des Gefährdungspotentials gehen dagegen nicht nur die Art und Höhe festgestellter Schadstoffgehalte ein, sondern es sind die von ihnen ausgehenden Wirkungen auf die relevanten Schutzgüter in Abhängigkeit von den Nutzungscharakteristiken zu beurteilen.

Für das Erkennen der Verunreinigung und zur Beurteilung des Gefährdungspotentials werden Referenz-, Orientierungs-, Prüf- und Höchstwerte herangezogen.

**917.** Referenzwerte aus Durchschnittswerten für die Hintergrundbelastung von Böden, Grundwässern und Oberflächengewässern sind nur begrenzt verwendbar. Die natürliche Schwankungsbreite der geogen im Boden und Wasser vorhandenen Substanzen und die unterschiedlichen nicht spezifischen anthropogenen Belastungen erlauben die Anwendung von Durchschnittswerten nur für Gebiete mit gleichartigen Bedingungen. Werden im Einflußbereich einer altlastverdächtigen Fläche Belastungen festgestellt, die diese Referenzwerte überschreiten, so sind immer Einzelanalysen der örtlichen Verhältnisse im nicht spezifisch beeinflussten Umfeld erforderlich.

**918.** Die meisten der in der Praxis benutzten Orientierungswerte sind für andere Umgebungsbedingungen oder Nutzungen erarbeitet worden. Hierbei ist besonders zu beachten, daß vielen dieser Werte Gesichtspunkte der Umweltvorsorge und damit strengere Anforderungen zugrundeliegen als bei der Gefahrenabwehr.

Ein Überschreiten von Orientierungswerten macht auf Gefährdungen aufmerksam, die von einer Altablagerung oder einem Altstandort ausgehen können. Ein Unterschreiten bedeutet aber nicht in jedem Fall, daß eine Altablagerung oder ein Altstandort auch zukünftig als unbedenklich eingestuft werden kann.

**919.** Prüfwerte sollten schutzgutabhängig für die einzelnen Umweltmedien und im Zusammenhang mit den nutzungsbezogenen Umwelteinwirkungen festgelegt werden, die von Verdachtsflächen zusätzlich zu den vorhandenen Hintergrundbelastungen ausgehen oder zu besorgen sind.

Listen mit Prüfwerten, die die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen anzeigen, können nur als Anhaltspunkte benutzt werden, die einen Entscheidungsspielraum offen lassen müssen. Der Rat weist darauf hin, daß vor einer Übernahme von Listenwerten eine kritische Überprüfung ihrer Anwendbarkeit erfolgen sollte, um Fehlbewertungen zu vermeiden.

**920.** Werden durch die Auswirkungen von Altlasten Höchstwerte für Schadstoffe bei bestimmten Schutzgütern und Nutzungen überschritten, sind allein schon aus rechtlichen Gründen Maßnahmen, sei es an der Altlast oder am Schutzgut, angezeigt. Für die toxikologische Beurteilung der Grundwasserkontamination sollte hilfsweise von der Annahme der anspruchsvollsten Verwendung, der Verwendung als Trinkwasser, ausgegangen werden. Eine solche Vorgehensweise trägt zugleich der herausragenden Bedeutung des Grundwassers für den Naturhaushalt Rechnung.

**921.** Bei den Oberflächengewässern sind die vom Rat im Umweltgutachten 1987 (SRU, 1987, Tz. 1128)



vorgeschlagenen Parameter mit ihren Werten anzustreben. Dabei geht der Rat davon aus, daß dieses Ziel nicht immer und mit vertretbarem Aufwand zu erreichen ist.

**922.** Der Rat erwartet die differenzierte Festlegung von weiteren Werten für die Beurteilung von Bodenbelastungen in Abhängigkeit vom Bodentyp, der Bodennutzung und den zu erfüllenden Bodenfunktionen. Mit der Erarbeitung derartiger Werte ist die Beantwortung der immer wieder auftretenden Frage nach dem Sanierungsumfang verunreinigter Böden eng verknüpft. Festlegungen dieser Art sollten möglichst bundeseinheitlich erfolgen.

#### Auswirkungen auf die Gesundheit

**923.** Zur Beurteilung der Auswirkungen von Altlasten auf die Gesundheit betroffener Personen ist es notwendig, alle in Betracht kommenden Expositionspfade zu berücksichtigen. Dies sind die orale Aufnahme von kontaminiertem Boden durch Hand-zu-Mund-Kontakt, von belasteten Nahrungsmitteln oder verunreinigtem Trinkwasser, die Inhalation kontaminierter Luft und schließlich der dermale Kontakt mit belastetem Boden oder Wasser.

**924.** Für die toxikologische Abschätzung der Gesundheitsgefährlichkeit einer Exposition ist die aufgenommene Schadstoffmenge entscheidend, die sich aus der Konzentration in den kontaminierten Umweltmedien und der Aufnahmemenge dieser Medien, zum Beispiel aus dem Atemvolumen oder bei Nahrungsmitteln aus der durchschnittlichen täglichen Verzehrmenge, ergibt. Die so ermittelte täglich aufgenommene Menge eines Schadstoffs kann mit Orientierungswerten für die gesundheitlich unbedenkliche Tagesdosis, etwa den duldbaren täglichen Aufnahmemengen der Weltgesundheitsorganisation, mit der Grundbelastung der Bevölkerung in unbelasteten Gebieten oder mit der Belastung aus anderen Quellen verglichen werden.

Um eine Beurteilung der möglichen Gesundheitsgefährdung durch die aus Altlasten aufgenommenen Schadstoffe zu erleichtern, hält der Rat es für notwendig, für eine möglichst große Zahl von anorganischen und organischen Stoffen duldbare tägliche Aufnahmemengen zu ermitteln. Fehlende toxikologische Daten müssen erarbeitet werden.

**925.** Die Vielzahl der möglichen anorganischen und organischen Schadstoffe in Altlasten läßt es nicht zu, eine quantitative Beurteilung der toxikologischen Wirkung vorzunehmen. Dem Problem von Kombinationswirkungen kommt dabei eine geringe Bedeutung zu, solange die Mengen der einzelnen Stoffe deutlich unterhalb von Wirkungsschwellen liegen. Das Vorgehen, organische Verbindungen, zum Beispiel polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, in Gruppen zusammenzufassen, ist für eine toxikologische Bewertung nicht geeignet, weil damit Unterschiede im Wirkungsspektrum, in der Verweildauer im Organismus und in der Metabolisierung der einzelnen Stoffe unberücksichtigt bleiben. Weiterhin ist zu beachten, daß es sich bei vielen Stoffen um mutagene und kanzerogene Substanzen handelt, für die sich im

Gegensatz zu nicht gentoxischen Substanzen keine unwirksamen Konzentrationen angeben lassen.

**926.** Wenn konkrete Anhaltspunkte für eine längerfristig erhöhte Belastung gegeben sind, ist es erforderlich, durch gezielte Untersuchungen der betroffenen Personen die tatsächliche Belastung zu ermitteln. In solchen Fällen ist die Möglichkeit der direkten Quantifizierung der individuellen Exposition aus der Konzentration repräsentativer Stoffe in Körperflüssigkeiten oder -geweben in Betracht zu ziehen. Besonders hier ist ein Vergleich mit unbelasteten Personen, aber auch die Berücksichtigung anderer Einflußfaktoren, besonders anderer Expositionsquellen als der Altlast, erforderlich. Dabei ist darauf zu achten, daß Parameter wie Aufenthaltsdauer, Spiel- und Freizeitverhalten, Umwelteinflüsse u. ä., welche die Exposition beeinflussen, erfaßt werden. Das Problem der datenschutzrechtlichen Hemmnisse für derartige Untersuchungen spielt auch hier eine Rolle und sollte allgemein im Zusammenhang mit dem Datenschutz bei der epidemiologischen Forschung gelöst werden.

**927.** Bei Kleinkindern ist die direkte Aufnahme von Schadstoffen durch intensiven Hand-zu-Mund-Kontakt vorrangig zu beachten. Angesichts der großen Unsicherheiten bei der Abschätzung der von Kindern aufgenommenen Mengen ist hierbei eher von konservativen Annahmen auszugehen. Der Rat empfiehlt, für die Expositionsabschätzung bis zur Erarbeitung gesicherter Daten eine Aufnahme von durchschnittlich 1 g Boden pro Tag für Kinder im Vorschulalter zugrunde zu legen.

**928.** Aus der landwirtschaftlichen und gewerblichen oder privaten gärtnerischen Nutzung von Böden, die mit Schadstoffen aus Altlasten verunreinigt sind, resultiert die Möglichkeit eines Übergangs dieser Stoffe in pflanzliche Nahrungsmittel und Futterpflanzen und damit in tierische Nahrungsmittel. Zur Quantifizierung des Übergangs, insbesondere von organischen Stoffen, aus Böden in Pflanzen, Tiere und Mensch besteht großer Forschungsbedarf.

Bei der Nutzung des Geländes einer Altlast als Weideland ist bei der Festlegung von Werten für die Beurteilung der Bodenkontamination die zusätzliche Belastung der Tiere durch direkte Bodenaufnahme zu berücksichtigen. Gegebenenfalls ist durch Nutzungsbeschränkungen, Anbau- und Düngeempfehlungen dafür zu sorgen, daß keine Gefährdung durch Kontamination von pflanzlichen oder tierischen Nahrungsmitteln auftritt. Hier ist auch an Obst und Gemüse zu denken, das im eigenen Garten gezogen und nicht durch die Lebensmittel-Überwachung kontrolliert wird.

**929.** Der Rat hält es für dringend erforderlich, ein Konzept zur Festlegung von Werten für die Beurteilung der Bodenbelastung für unterschiedliche Nutzungen zu entwickeln, das vor allem auf toxikologischen Erkenntnissen, wie duldbaren täglichen Aufnahmemengen, beruht. Für Wohngebiete sollte der Hand-zu-Mund-Kontakt spielender Kinder als Kriterium im Vordergrund stehen, in landwirtschaftlich genutzten Gebieten die Aufnahme und Akkumulation in Pflanzen und Nutztieren.

**930.** Ein besonderes Problem stellt die häufig beobachtete Belastung des Grundwassers durch Altlasten dar. Hier besteht die Möglichkeit der Schadstoffaufnahme bei der Verwendung als Trinkwasser aus privaten Brunnen. Für die öffentliche Trinkwasserversorgung ist zu beachten, daß nicht alle altlastspezifischen Stoffe durch die Routineanalysen erfaßt werden. Deshalb muß gezielt nach den für die jeweilige Altlast spezifischen Stoffen gesucht werden.

Auch die Nutzung von verunreinigtem Grund- und Oberflächenwasser als Brauchwasser im Gartenbau und in der Landwirtschaft kann zur Kontamination von Nahrungsmitteln führen und ist daher in die Expositionsabschätzung mit einzubeziehen.

**931.** Eine erhöhte Aufnahme flüchtiger Verbindungen ist bei überbauten Altlasten dann von Bedeutung, wenn sich gasförmige Schadstoffe in geschlossenen Räumen anreichern können. Die inhalative Aufnahme von partikelgebundenen Schadstoffen aus der lungengängigen Staubfraktion ist besonders bei Tätigkeiten mit hoher Staubbefreiung zu beachten, wie sie mit sportlichen Aktivitäten oder Sanierungsmaßnahmen verbunden sein können.

Die dermale Aufnahme von Schadstoffen aus Altlasten spielt gegenüber der oralen und inhalativen Aufnahme eine untergeordnete Rolle. Denkbar wäre dagegen eine mögliche allergene Wirkung bei Hautkontakt mit entsprechend belasteten Böden oder Wässern.

### 8.1.3 Erfassung und Methodik der Gefährdungsabschätzung

Allgemeines methodisches Vorgehen

**932.** Angesichts der großen Zahl inzwischen bekannt gewordener altlastverdächtiger Flächen und aufgrund der Kenntnis, daß sie Belastungen und Schäden der menschlichen Gesundheit und der Umwelt verursachen können, bedarf es eines systematischen Vorgehens, um so bald wie möglich diejenigen Flächen herauszufinden, von denen Gefährdungen ausgehen oder zu erwarten sind. Dazu müssen alle altlastverdächtigen Flächen erfaßt, vorhandene und zu erwartende Umweltauswirkungen ermittelt und das Gefährdungspotential jeder Verdachtsfläche bewertet werden. Nur so können bestehende und künftige Gefährdungen abgewehrt und nicht mehr tolerierbare Belastungen von Schutzgütern vermindert werden.

**933.** Der Rat ist der Auffassung, daß ein solches systematisches Vorgehen nach einer bundesweit einheitlichen Strategie erfolgen sollte, da das Altlastenproblem ein bundesweites Umweltproblem darstellt. Aus der Sicht des Umweltschutzes ist es nicht zu begründen, daß das Gefährdungspotential von altlastverdächtigen Flächen in den verschiedenen Teilen der Bundesrepublik nach jeweils unterschiedlichen Konzepten ermittelt und bewertet wird.

**934.** Damit das oben genannte Ziel erreicht werden kann, muß die Vorgehensweise nicht nur wissenschaftlichen Anforderungen genügen, sie muß dar-

über hinaus so konzipiert sein, daß der Aufwand an finanziellen Mitteln und personellen Kapazitäten sowie der Zeitbedarf möglichst effizient gestaltet werden.

Eine solche Strategie sieht der Rat in einem abgestuften Gesamtkonzept des Umgangs mit altlastverdächtigen Flächen und Altlasten, bei dem in den mit Handlungsschritten abwechselnden Entscheidungsprozessen immer wieder erneut über Ausscheiden von Flächen aus der Bearbeitung oder über erforderliche weitere Handlungsschritte geurteilt wird. Die Notwendigkeit eines abgestuften Vorgehens ist inzwischen weitgehend anerkannt; die Anzahl der einzelnen Schritte und deren Inhalte weisen jedoch in den verschiedenen Konzepten insbesondere bei der Gefährdungsabschätzung Unterschiede auf.

#### Erfassung

**935.** Als vordringliche Aufgabe ist in einem ersten Arbeitsschritt die flächendeckende Erfassung aller altlastverdächtigen Flächen erforderlich. Für die Informationssammlung bieten sich zwei unterschiedliche Arbeitsweisen an. Die erste Arbeitsweise nutzt die Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Produktionsverfahren und Ablagerungspraktiken einerseits und den darauf zurückzuführenden Altstandorten und Altablagerungen mit den dort auftretenden Schadstoffen andererseits. Bei der anderen Arbeitsweise wird ein Gebiet anhand von entsprechendem vorhandenem Informationsmaterial flächendeckend nach altlastverdächtigen Flächen abgesehen. Die Informationssammlung kann durch ergänzende Ermittlungen erweitert werden.

**936.** Eine intensive Datenerhebung und Auswertung in der Erfassungsphase dient neben der Lokalisierung noch unbekannter Verdachtsflächen auch dazu, möglichst viele Anhaltspunkte zu erfassen, die im Zusammenhang mit der Beurteilung des Gefährdungspotentials einer festgestellten altlastverdächtigen Fläche wichtig sind. Je früher eine Verdachtsfläche als ungefährlich identifiziert werden kann oder je weniger Informationen erst durch Untersuchungen beschafft werden müssen, um so mehr Mittel können eingespart werden und stehen für schwerwiegende Fälle zur Verfügung. Es ist deshalb in jedem Fall eine eingehende und sorgfältige Erfassung zu empfehlen. Diese sollte zügig fortgeführt werden, da im Laufe der Zeit immer weniger Informationen zur Verfügung stehen werden.

**937.** Um eine schnellere Bestandsaufnahme zu gewährleisten, werden nach Ansicht des Rates mehr finanzielle Mittel und personelle Kapazitäten auf der Ebene der Länder und der kommunalen Gebietskörperschaften aber auch des Bundes benötigt. Sachkundige Dritte können die Arbeiten der Behörden unterstützen.

**938.** Zur Dokumentation der erhobenen Daten kommen bei der großen Zahl zu erfassender Verdachtsflächen und der zu erwartenden Datenmengen nur EDV-gestützte Kataster für altlastverdächtige Flächen und Altlasten in Frage, da sie eine sichere und schnelle Handhabung gewährleisten. Die Anwendung geeig-

netter Programme in den einzelnen Ländern ist dringend zu beschleunigen.

**939.** Trotz unterschiedlich fortgeschrittener Erfassung empfiehlt der Rat, die Strukturen und inhaltlichen Details der Erfassungskonzepte zu vereinheitlichen und möglichst bald bundeseinheitliche Kriterien für die Datenerhebung und die Dokumentation aufzustellen. Als ein wichtiges Hilfsmittel hierbei ist der Mindestkatalog zu erfassender Merkmale von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall anzusehen.

**940.** Für die Datenerhebung bei Verdachtsflächen sowie für die Pflichten von Eigentümern und Nutzungsberechtigten von Altablagerungen und Altstandorten sollten gleichartige rechtliche Regelungen in der Bundesrepublik vorhanden sein, die sich am Beispiel Hessens und Nordrhein-Westfalens orientieren könnten. Dabei sollten auch die Möglichkeiten der Einsichtnahme durch Bürger, die ein berechtigtes Interesse an den Eintragungen des Katasters haben, geregelt werden.

#### Untersuchungsstrategie

**941.** Für die auf die Erfassung folgende Phase der Gefährdungsabschätzung gilt die Forderung nach einer durchdachten und effizienten Vorgehensweise in besonderem Maße. Es ist anzustreben, daß der Bearbeitungsaufwand in angemessenem Verhältnis zur Höhe des Gefährdungspotentials steht. Dies kann durch ein hierarchisch gegliedertes, stufenweises Vorgehen bei der Gefährdungsabschätzung erreicht werden.

Vorhandene Konzepte zur Gefährdungsabschätzung lassen einen entsprechenden Ansatz zwar erkennen, die Anzahl der Schritte und deren inhaltliche Ausgestaltung weichen jedoch voneinander ab. Vielfach liegen noch keine umfassenden Untersuchungsanleitungen und Bewertungsverfahren für alle Schritte und alle Belastungspfade vor, sondern es sind erst einzelne Programme für Teilbereiche erarbeitet worden. Im Hinblick auf die Verwirklichung der angestrebten einheitlichen Vorgehensweise bei der Untersuchung und Bewertung befürwortet der Rat einen verbesserten Kontakt der zuständigen Landesbehörden untereinander und mit der Wissenschaft. Hierbei sollten auch die Überlegungen und Hintergründe dargelegt werden, die zur Wahl einer bestimmten Vorgehensweise geführt haben.

**942.** Bei jeder altlastverdächtigen Fläche ist zunächst eine Erstbewertung vorzunehmen. Hierbei können jene Fälle ausgeschieden werden, bei denen sich der Altlastverdacht hinreichend sicher ausräumen läßt. In sehr vielen Fällen reichen die Informationen jedoch weder für eine solche Aussage noch für die Einstufung einer Fläche als Altlast aus. Bei Fortbestehen des Altlastverdachts sind deshalb Untersuchungen erforderlich, die in Art und Umfang so zu gestalten sind, daß ihre Ergebnisse die Bewertung gestatten, einen Fall dem Grunde nach als Altlast einzustufen oder als ungefährlich von der weiteren Bearbeitung auszunehmen. Bei diesen Untersuchungen sollte der Aufwand auf das jeweils notwendige Mindestmaß beschränkt werden, da sie bei der Mehrzahl aller alt-

lastverdächtigen Flächen vorgenommen werden müssen. Der Rat empfiehlt, hierfür Mindestuntersuchungsprogramme, wie sie für einige Bereiche schon vorliegen, verstärkt zu entwickeln. Die Schwierigkeiten, den aus wissenschaftlicher Sicht erforderlichen Informationsumfang zu bestimmen und die notwendige Verständigung hierüber herbeizuführen, sollten zu lösen sein, wobei Erkenntnislücken durch weitere Forschung zu schließen sind. Da der Informationsumfang von den Bewertungskriterien abhängt, müssen sich die Mindestuntersuchungsprogramme an den entsprechenden Bewertungsanforderungen orientieren. Anzustreben wäre ein Untersuchungssystem, das solche Mindestuntersuchungsprogramme modularartig in ein Gesamtkonzept integriert, das aber auch genügend Spielraum für im Einzelfall sinnvolle Abweichungen zuläßt.

Wenn eine Fläche als Altlast identifiziert worden ist, sind in einem nächsten Schritt weitere, in der Regel aufwendige Untersuchungen zur genauen Bestimmung von Art und Ausmaß einer erkannten Gefährdung erforderlich. Diese Untersuchungen können sich auf die als Altlasten erkannten Fälle und damit auf eine wesentlich geringere Anzahl als die Gesamtzahl der altlastverdächtigen Flächen beschränken.

**943.** In jedem Untersuchungsschritt sind die Untersuchungsmaßnahmen auf die Zielsetzung der anschließenden Bewertung und der dafür erforderlichen Informationen abzustimmen. Der Umfang der Untersuchungen und die Anwendung konkreter Verfahren werden außerdem wesentlich durch die spezifischen Gegebenheiten des einzelnen Falls bestimmt. Dies kann dazu führen, daß zum Beispiel bei komplizierten Untergrundverhältnissen schon zu Beginn der Untersuchungen ein hoher Aufwand erforderlich sein kann.

**944.** Untersuchungen an altlastverdächtigen Flächen müssen alle im Einzelfall relevanten Emissions- und Ausbreitungsmöglichkeiten für Schadstoffe einbeziehen, die Belastungen von Schutzgütern nach Art und Konzentration erfassen und Informationen zur Abschätzung langfristig möglicher Belastungen und Auswirkungen beschaffen. Diese medien- und fachübergreifenden Aufgaben machen die Zusammenarbeit von Fachleuten unterschiedlicher Disziplinen zwingend erforderlich.

**945.** Vor Beginn einer Untersuchungsmaßnahme muß sichergestellt sein, daß diese nicht zu einer dauernden Erhöhung der vom Untersuchungsobjekt ausgehenden Gefährdung führt. Entsprechende Arbeitsschutzvorschriften sind einzuhalten, und umsichtiges Handeln bei erforderlichen Schutzvorkehrungen ist geboten.

**946.** An die Verlässlichkeit von Untersuchungsbefunden sind hohe Anforderungen zu stellen, da hieron die richtige Einschätzung der Gefährlichkeit einer Verdachtsfläche abhängt. Falsche Einschätzungen können einerseits enorme Fehlinvestitionen für unnötige Maßnahmen zur Folge haben, andererseits bei unterlassener Gefahrenabwehr zu schwerwiegenden Schädigungen des Menschen oder der Umwelt führen. Der Rat hält deshalb Qualitätssicherungsmaßnahmen für erforderlich. Er ist der Auffassung, daß die Sicherstellung der Qualifikation von Untersuchungs-

stellen im Bereich altlastverdächtiger Flächen und die der Qualität von Untersuchungsergebnissen einheitlich geregelt und geeignete Beurteilungskriterien festgelegt werden müssen. Die Qualität analytischer Untersuchungen ist durch interne und externe Kontrollmaßnahmen sicherzustellen. Der Rat schlägt vor, im Rahmen eines Forschungsvorhabens zu prüfen, in welchem Umfang praxisadäquate Richtigkeitskontrollproben und Proben für Ringversuche notwendig sind.

Alle vorzunehmenden Maßnahmen, die der Qualitätssicherung dienen, sollten in einem Leitfaden mit Verfahrens- und Arbeitsanleitungen niedergelegt werden, um sie auf Verlangen vorweisen zu können. Außerdem muß über Art und Umfang der Dokumentation der Untersuchungsergebnisse eine Festlegung getroffen werden.

#### Bewertungsmethodik

**947.** In jeder Bewertungsphase muß anhand des Gefährdungspotentials über Notwendigkeit und Art weiterer Maßnahmen entschieden werden. Weiterhin ist durch die vergleichende Bewertung verschiedener Fälle die Dringlichkeit von Maßnahmen festzulegen und eine Prioritätensetzung vorzunehmen.

**948.** Die gegenwärtige Praxis der Bewertung des Gefährdungspotentials altlastverdächtiger Flächen nach unterschiedlichen Methoden auf Landes- oder auch kommunaler Ebene stellt keine befriedigende Lösung dar. Der Rat hält die Anwendung einheitlicher Bewertungsgrundsätze als Bestandteil einer bundesweit einheitlichen Vorgehensweise zur Lösung des Altlastenproblems für geboten. Dies erfordert die Erarbeitung von geeigneten allgemein anerkannten Bewertungskriterien und Bewertungsmaßstäben und ein darauf aufbauendes Bewertungskonzept. Wesentliche Voraussetzung ist, daß das Konzept die Bewertung der individuellen Situation des Einzelfalls gestattet.

**949.** Es dürfen in jedem Fall nur solche Stoffe und deren Gehalte bewertet werden, die auf die altlastverdächtige Fläche zurückgehen, so daß durch andere anthropogene Einwirkungen hervorgerufene Belastungen oder geogene Schadstoffgehalte von der Bewertung ausgeschlossen werden müssen. Der Umstand, daß die Wirkung von Schadstoffen auf Schutzgüter von der Empfindlichkeit ihrer Funktionen gegenüber den vorhandenen Schadstoffen und von der Art des Stofftransfers und der Exposition abhängt, muß ebenfalls bei der Bewertung berücksichtigt werden. Bei einer von der Nutzung abhängigen Exposition ist deshalb die aktuelle und geplante Nutzung ein wesentlicher Faktor. Die genannten Aspekte werden bisher nur in wenigen Bewertungskonzepten, die mit Prüfwerten arbeiten, beachtet. Auch die Verwendung von Grenzwerten aus unterschiedlichen Regelungsbereichen als Bewertungsmaßstab ist unter diesen Gesichtspunkten zu sehen, da diese Werte nur beim Vorliegen der für sie jeweils gültigen Rahmenbedingungen über die Unverbindlichkeit von bloßen Orientierungswerten hinausgehen können. Orientierungs-, Prüf- und Höchstwerte erlauben nur, das stoffliche

Wirkungspotential zu beschreiben, und reichen daher nicht aus, das Gefährdungspotentials einer altlastverdächtigen Fläche insgesamt zu erfassen.

**950.** Formalisierte Bewertungsverfahren bieten den Vorteil, einzelfallbezogen zusätzliche, für die Bewertung des Gefährdungspotentials maßgebliche Sachverhalte einbeziehen zu können. In manche Verfahren fließen Orientierungs-, Prüf- und Höchstwerte zur stoffbezogenen Beurteilung ein. Die Vielzahl des Gefährdungspotential beeinflussender Faktoren, die es abwägend zu gewichten gilt, muß jedoch auf ein überschaubares Maß eingeeengt werden, damit ein solches Verfahren handhabbar wird. In dieser Beschränkung und in der Auswahl der Bewertungskriterien liegt eine der Schwächen formalisierter Verfahren. Ein anderes Problem ergibt sich aus der Quantifizierung der Bewertungskriterien und der Art ihrer mathematischen Verknüpfung, die zu einer fixierten Gewichtung führen, die wissenschaftlich nicht exakt begründet werden kann.

Bei Auswahl geeigneter Bewertungskriterien und bei Zuordnung quantifizierter Bewertungsfaktoren und deren Verknüpfung nach Plausibilitäts Gesichtspunkten kann ein formalisiertes Verfahren jedoch ein nützliches Hilfsmittel bei der Entscheidungsfindung und vor allem ein wichtiges Instrument zur Prioritätensetzung sein. Anzustreben ist ein in seiner Struktur und Herleitung durchschaubares Verfahren, dessen Ergebnis nachvollziehbar und damit überprüfbar ist; es muß von einem fachkundigen Anwender ohne Probleme praktikierbar sein. Die Anwendung eines solchen Verfahrens ist sinnvoll, wenn eine große Zahl altlastverdächtiger Flächen damit bewertet wird. Es gewährleistet, daß nach einheitlichen Kriterien und Maßstäben vorgegangen wird, so daß unterschiedliche Bearbeiter zu verschiedenen Zeiten zu gleichen Ergebnissen kommen.

Geeignete Bewertungskriterien sind spezifisch für jeden Belastungspfad auszuwählen. Der Rat empfiehlt, im Hinblick auf die Vereinheitlichung der Bewertungsweisen Mindestanforderungen für stoffspezifische Charakteristika, Standortverhältnisse bezüglich Schadstoffemission und -ausbreitung sowie die mögliche Exposition von Schutzgütern unter Bezug auf die Nutzungsformen zu erarbeiten. Hierfür ist zunächst zu klären, welches die maßgeblichen Einflußgrößen sind, die die Gefährdung von Schutzgütern auf den einzelnen Belastungspfaden bestimmen. Es sollten solche Kriterien einbezogen werden, die nicht nur wesentlichen Einfluß auf das Gefährdungspotential haben, sondern gleichzeitig für jede altlastverdächtige Fläche im entsprechenden Bearbeitungsschritt in der Regel mit vertretbarem Aufwand zu erhalten sind.

**951.** Schwierigkeiten für eine sachgerechte Bewertung ergeben sich aus den heute noch vorhandenen Erkenntnislücken, vor allem im Bereich der Stoffeigenschaften. Von vielen bei Altlasten auftretenden Stoffen sind ihr Verhalten in der Umwelt und ihre Wirkungen nicht genügend bekannt, so daß die Abschätzung der Stoffausbreitung, der Exposition und möglicher Schadwirkungen noch mit Unsicherheiten behaftet ist. Auf diesen Gebieten bedarf es noch weiterer Forschungsarbeiten. Dies gilt besonders für den Be-

reich der ökologischen Wirkungszusammenhänge, um bei der Bewertung auch den Umweltmedien und ihren Funktionen, die letztlich die menschliche Lebensgrundlage darstellen, sowie dem Schutz von Ökosystemen besser gerecht werden zu können. Die Bewertung des Gefährdungspotentials darf sich nicht nur auf die Gesundheit des Menschen konzentrieren, wenngleich dieser oberste Priorität zukommt.

**952.** Die genannten Schwierigkeiten gelten auch für die Begutachtung altlastverdächtiger Flächen durch nicht formalisierte Verfahren in Form von Einzelgutachten durch Sachverständige. Aufgrund fehlender Erkenntnisse und mangels allgemein anerkannter Maßstäbe für die Heranziehung und Gewichtung von Bewertungskriterien sind die Gutachter genötigt, entsprechend ihren eigenen Maßstäben vorzugehen. Erschwerend kommt hinzu, daß die Bewertung altlastverdächtiger Flächen fachübergreifende Kenntnisse erfordert, die es einem einzelnen Gutachter oft nicht gestatten, alle relevanten Umstände sachgerecht zu erfassen und zu bewerten. Eine Bewertung verschiedener altlastverdächtiger Flächen durch unterschiedliche Einzelgutachter wird nicht die gewünschte Einheitlichkeit herbeiführen. Darüber hinaus ist allein aufgrund der Vielzahl an Verdachtsflächen, die alle mindestens einmal einer Bewertung unterzogen werden müssen, eine Begutachtung jedes einzelnen Falles durch Sachverständigengutachten nicht möglich.

Ein Vorteil dieser Art der Begutachtung liegt jedoch darin, daß jede im einzelnen Fall wichtige Besonderheit in die Bewertung einbezogen werden kann und auch nicht quantifizierbare Umstände berücksichtigt werden können. Dieser Vorteil sollte genutzt werden, wenn im Einzelfall über die erforderlichen Maßnahmen, wie Ausscheiden aus der Bearbeitung, Beobachten, Überwachen und Sanieren, entschieden werden muß.

**953.** Der Rat schlägt deshalb vor, für die Entscheidung über die genannten Maßnahmen die Anwendung eines formalisierten Bewertungsverfahrens mit einer Sachverständigenbegutachtung zu kombinieren. Ein in jüngerer Zeit entwickeltes Verfahren geht bereits diesen Weg. Dabei sollte das Ergebnis der formalisierten Bewertung als eine Art Vorentscheidung gewertet werden, die von einem Gremium von Experten anhand aller über den Einzelfall verfügbaren Informationen geprüft und gegebenenfalls mit Begründung korrigiert werden kann. Auf diese Weise können Entscheidungen über die Sanierungsnotwendigkeit auch unter Einbeziehung weiterer, die Sanierung beeinflussender Kriterien vorbereitet werden. Je besser das formalisierte Verfahren konzipiert ist, um so weniger Änderungen in der Bewertung wird das Expertengremium vornehmen und um so einheitlicher kann die Bewertung einer Vielzahl von Fällen erfolgen. Auch bei einer derartigen kombinierten Bewertung ist deshalb große Sorgfalt auf die Entwicklung des formalisierten Verfahrens zu verwenden. Für die Prioritätensetzung ist nach Auffassung des Rates ein formalisiertes Verfahren alleine ausreichend und hierfür das nützliche Instrument.

**954.** Im Sinne einer bundesweit einheitlichen Vorgehensweise bei der Gefährdungsabschätzung hält der Rat eine bundeseinheitliche Regelung bei der Be-

wertung für die beste Lösung. Um jedoch auch im Falle einer Beibehaltung verschiedener vorliegender Bewertungsverfahren die Vergleichbarkeit sicherzustellen, empfiehlt der Rat jedenfalls eine länderübergreifende einheitliche Regelung. Inwieweit die Informationsschrift „Erfassung, Gefahrenbeurteilung und Sanierung von Altlasten“ der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall hierzu beitragen kann, bleibt abzuwarten.

### 8.1.4 Sanierungsmaßnahmen

#### Sanierungsziel

**955.** Sanierungsmaßnahmen sollen sicherstellen, daß von der Altlast nach der Sanierung keine Gefährdung und gegebenenfalls nur beherrschbare, d. h. geringere, bekannte und kontrollierbare Beeinträchtigungen ausgehen, wobei dieses Ziel möglichst kurzfristig erreicht werden sollte. Der Rat versteht unter Sanierung sowohl die Sicherung als auch die Dekontamination. Der Altlastensanierungsbegriff wird wie folgt definiert:

Altlastensanierung ist die Durchführung von Maßnahmen, durch die sichergestellt wird, daß von der Altlast nach der Sanierung keine Gefahren für Leben und Gesundheit des Menschen sowie keine Gefährdung für die belebte und unbelebte Umwelt im Zusammenhang mit der vorhandenen oder geplanten Nutzung des Standortes ausgehen.

**956.** In den meisten Fällen wird es durch Sanierungsmaßnahmen nicht mehr möglich sein, die Kontamination so zu vermindern, daß an Standorten von nachgewiesenen Altlasten künftig jede Art von Nutzung ermöglicht würde. Die vielfach geäußerte Forderung nach Wiederherstellung des Status quo ante oder der Multifunktionalität von Standorten stößt auf naturgegebene, technische und wirtschaftliche Grenzen. Der Begriff Sanierung kann nicht im Sinne von vollständiger „Genesung“, „Gesundung“ verstanden werden.

Die Sanierung von Altlasten muß in ein planerisches Gesamtkonzept eingebunden werden, das auf den jeweiligen Planungsraum mit seinen speziellen Nutzungen abgestimmt ist. Es bleiben jedoch große Unsicherheiten bei der Begründung sowohl einer Sanierungsentscheidung als auch des erforderlichen Sanierungsgrades. Die Entscheidung, welche Restbelastung und welches Risiko als hinnehmbar und welcher Sanierungsgrad damit als ausreichend gilt, kann zwar durch wissenschaftliche Erkenntnisse gestützt werden; sie ist letztendlich aber eine politische Entscheidung. Nach Ansicht des Rates ist es dringend erforderlich, den notwendigen wissenschaftlichen Rahmen für die Entscheidungsfindung zu erarbeiten. Solange dies nicht geschehen ist, wird in der Praxis die Entscheidung über Sanierungsziele vor allem nach pragmatischen Gesichtspunkten vorgenommen werden. Die an den gegebenen Standortverhältnissen und dem vorgesehenen finanziellen Rahmen orientierte technische Machbarkeit fließt in jedem Fall in die Festlegung von Sanierungszielwerten ein. Sie sollte aber als modifizierendes und nicht als primär bestimmendes Kriterium dienen.

## Art der Sanierung

**957.** Der Rat ist der Auffassung, daß Sicherungsmaßnahmen, die die Emissionswege langfristig unterbrechen, und Dekontaminationsmaßnahmen, die die Schadstoffe in kontaminiertem Erdreich oder Grundwasser bzw. in Abfällen eliminieren, gleichberechtigt sind, wenn hierdurch der Schutz des Menschen und der Umwelt, bezogen auf die entsprechende Nutzung, gewährleistet ist bzw. wenn die Gefährdung, bezogen auf die entsprechenden Schutzgüter und Nutzungen, nicht mehr besteht. Im Hinblick auf einen langfristigen Schutz der Umwelt ist eine Dekontamination dann als höherwertig zu betrachten, wenn hierzu umweltverträgliche Maßnahmen angewandt werden.

Die Anwendung von Sicherungsmaßnahmen ist zum jetzigen Zeitpunkt technisch und wirtschaftlich dann sinnvoll, wenn es an technisch geeigneten und finanziell vertretbaren Dekontaminationsverfahren fehlt oder die Standortgegebenheiten die Anwendung eines verfügbaren Dekontaminationsverfahrens nicht zulassen. Dabei darf nicht vergessen werden, daß Sicherungen von zeitlich begrenzter Dauer sind. Da aber nicht abzusehen ist, ob es in Zukunft mehr Möglichkeiten zur Dekontamination geben wird, ist davon auszugehen, daß Sicherungsmaßnahmen in vielen Fällen, vor allem bei Altablagerungen, langfristige Lösungen darstellen. Sie können aber nur dann die erforderliche Sicherheit bieten, wenn die Sicherungselemente ständig überwacht werden und gegebenenfalls repariert oder erneuert werden können. Die eingesetzten Sicherungselemente müssen sich deshalb durch Langzeitstabilität und durch Reparaturmöglichkeiten besonders auszeichnen.

**958.** Der Rat lehnt die Anwendung der einfachen Umlagerung unbehandelten Materials auf Deponien jeglicher Art als Problemverlagerung in Raum und Zeit im Grundsatz ab, weil nur der Standort, nicht aber die kontaminierten Massen gereinigt werden. In ganz besonderen Ausnahmefällen ist die Umlagerung als standortbezogene Maßnahme allerdings nicht zu umgehen.

## Bewertung der Sanierungstechnik

**959.** Für eine Reihe von Altlastentypen ist es gelungen, geeignete Sanierungstechnologien zu entwickeln und in Einzelfällen auch großtechnisch zu verwirklichen. Die Bewertung der Verfahren läßt den Schluß zu, daß Altablagerungen derzeit im allgemeinen durch Sicherungsmaßnahmen und Altstandorte vielfach durch Dekontamination saniert werden können. Diese allgemeine Strategie sollte durch einzel-fallbezogene Entscheidungsmodelle präzisiert werden. Für die einzelfallbezogene Entscheidung wird ein Sanierungskonzept erarbeitet; Grundlage des Sanierungskonzeptes ist die Sanierungsplanung. Die Sanierungsplanung mit der Sanierungsuntersuchung und Machbarkeitsstudie sollte ein unverzichtbarer Bestandteil jeder Sanierungsmaßnahme sein. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie muß die Abschätzung des mit der Sanierung verbundenen Risikos vorgenommen werden. Hierbei müssen alle Verfahrens-

schritte des Eingriffs und die damit auftretenden Problemverlagerungen behandelt werden.

Schon gegenwärtig gibt es eine Fülle von Sanierungstechnologien, die als Sicherungs- bzw. Dekontaminationsmaßnahme einzusetzen sind, wobei sie untereinander vielseitig kombiniert werden können. Diese Vielfalt macht eine Reihe von Entscheidungen über die geeignete Sanierungstechnologie auf technischer, wirtschaftlicher und politischer Ebene notwendig. Dabei ist auf den verschiedenen Ebenen zwischen allgemeinen strategischen Entscheidungen sowie den Einzelfallentscheidungen zu unterscheiden; in beiden Bereichen muß von Zweck und Ziel der Altlastensanierung ausgegangen werden.

**960.** Allgemeine strategische Entscheidungen sollen sich zum Beispiel mit Grundsätzen für die Art der Sanierung sowie für die Beurteilung der Umlagerung und des Exports befassen. Darüber hinaus gilt es festzulegen, ob in zu schaffenden zentralen Anlagen mit Anschlußzwang zu dekontaminieren ist. Auch ist eine Entscheidung über die Einsatzmöglichkeiten von Dekontaminationsanlagen und ihre entsprechende Zulassung nach den in Betracht kommenden rechtlichen Regelungen zu treffen.

Um den Entscheidungsspielraum und die infrastrukturellen Voraussetzungen für die Einzelfallentscheidungen vorzugeben, sollten die allgemeinen strategischen Entscheidungen auf höherer Ebene vor den projekt- bzw. anlagenbezogenen Einzelfallentscheidungen gefällt werden. Dieser Prozeß ist teilweise im Gange. Die geforderten Vorentscheidungen dürfen jedoch nicht so weit gehen, daß die Besonderheit jedes Sanierungsfalls bei den Sanierungsmaßnahmen nicht mehr berücksichtigt werden kann.

**961.** Dementsprechend müssen die projektbezogenen Einzelfallentscheidungen — über die Vorgabe des Sanierungszieles hinaus — hauptsächlich die Art, den Ort und die Auswahl der Sanierungsmaßnahmen sowie den Finanz- und Zeitbedarf konkret definieren bzw. eingrenzen.

**962.** Es bestehen vielfache Wechselbeziehungen zwischen den aufgezählten Faktoren, die nur aufgrund intensiver Sanierungsuntersuchungen und Machbarkeitsstudien in Form von alternativen Sanierungskonzepten zu berücksichtigen sind. Eine feste Zuordnung von Altlasten zu bestimmten Sanierungstechniken wird im allgemeinen verneint; naturgemäß unterscheiden sich die Konzepte nach Sanierung von Altstandorten und Altablagerungen. Insbesondere für den letzteren Fall empfiehlt es sich, Anregungen aus dem Multibarrierenkonzept für Neudeponien zu übernehmen.

**963.** Bei den Sicherungsmaßnahmen sollte der Kenntnisstand über die Langzeitwirksamkeit der Sicherungselemente noch deutlich verbessert werden. Dies betrifft unter anderem die Maßnahmen der Schadstoffimmobilisierung und der bautechnischen Einkapselung. Der Rat befürwortet daher den versuchsweisen Einsatz von Verfahren zur Immobilisierung sowie die Entwicklung robuster, wartungsarmer und leicht kontrollierbarer Einkapselungssysteme. Der Einsatz solcher Einkapselungen scheint für die Sanierung großvolumiger Altlasten unverzichtbar zu

sein. Alle Sicherungsmaßnahmen sollten spätere mögliche Dekontaminationsmaßnahmen weder behindern noch verhindern.

**964.** Bei der Dekontamination sollte die Umweltverträglichkeit der Maßnahmen im Vordergrund stehen. Mit Hilfe geeigneter Strategien sind Schadstoffe aus der Altlast auszutragen bzw. nach Möglichkeit zu zerstören. Verwertbare Materialien und Stoffe sollten einer Verwertung zugeführt werden. Die nicht zerstörbaren Schadstoffe sowie die Umwandlungsprodukte sollten in aufkonzentrierter Form umweltverträglich abgelagert werden. Die Dekontamination trägt zur Erhöhung der Sonderabfallmengen bei; entsprechende Entsorgungskapazitäten müssen bereitgestellt werden. Bei den mit dem Abwasser, dem Rauchgas und der Abluft ausgetragenen Schadstoffen sind grundsätzlich die Vorsorgewerte des Rechts der Wasser- und Luftreinhaltung einzuhalten; die verbleibende Restbelastung muß als „Tribut der Sanierung“ gesellschaftlich hingenommen werden.

**965.** Die Dekontaminationsstrategie sollte vorwiegend für Altstandorte, aber auch für kleinere, unter finanziellen, technischen und toxikologischen Aspekten zu bewältigende Altablagerungen angewandt werden. Altablagerungen mit hoher Toxizität oder mit großen Abfallmengen können mit Hilfe heute vorhandener und bewährter Verfahren noch nicht dekontaminiert werden.

**966.** Bei den einzelnen Verfahren ist in erster Linie ihre Eignung hinsichtlich der Schadstoffe und der Standorteigenschaften zu berücksichtigen. Bei günstigen Rahmenbedingungen – leicht bewegliche oder leicht zerstörbare Schadstoffe und ein überschaubares, einfaches Schadstoffspektrum in bestimmten Bodenarten – ist eine weitgehende Dekontamination der Altlast mit vergleichsweise einfachen Verfahren möglich. Bei ungünstigen Schadstoff- und Bodenverhältnissen wird die Lösung in Verfahrenskombinationen zu suchen sein; weitere Forschungsanstrengungen auf dem verfahrenstechnischen Gebiet sind sinnvoll und geboten. Insbesondere sollte solchen Verfahren der Vorzug gegeben werden, die prozeßtechnisch gut beherrschbar sind, ohne bzw. mit wenig, zumindest bioabbaubaren Zusatzchemikalien auskommen, in das Grundwasser keine zusätzlichen Stoffe eintragen und die Wiederverwendbarkeit des Erdreiches nicht in Frage stellen.

**967.** Der Rat kommt zu dem Ergebnis, daß die vier Grundtypen von Dekontaminationsverfahren, nämlich hydraulische/pneumatische, thermische, chemisch-physikalische und biologische Verfahren, ihre speziellen Einsatzbereiche haben und in bestimmten Ausführungen auch großtechnisch verfügbar sind. Der Rat favorisiert nach Möglichkeit den „on site“/„off site“-Einsatz der Verfahren, weil sie dadurch ungleich besser steuerbar, kontrollierbar und optimierbar werden. Daneben haben auch „in situ“-Ausführungen ihre speziellen Einsatzbereiche. Wegen ihrer Vielseitigkeit sollten die chemisch-physikalischen, darunter insbesondere die waschextraktiven, und die thermischen Verfahren angewendet werden, vorzugsweise in mobiler oder umsetzbarer Ausführung für den Einsatz vor Ort sowie in stationärer Ausführung in Sanierungszentren.

Die thermische Dekontamination des Erdreiches sollte vorwiegend im Nieder- und Mitteltemperaturbereich durchgeführt werden; freigesetzte organische Schadstoffe sollten jedoch in einer Hochtemperatur-Nachverbrennung thermisch zerstört werden. Die Hochtemperaturbehandlung von Erdreich sollte nur ausnahmsweise, bei der Bewältigung von Spezialfällen, angewandt werden. Der gelegentlich geforderte allgemeine Einsatz sehr hoher Temperaturen ist weder technisch sinnvoll noch energetisch vertretbar. Die Erkenntnisse der Dioxinforschung aus dem Bereich der Abfallverbrennung sind, soweit möglich, auf die thermische Bodenreinigung zu übertragen, damit optimale verfahrenstechnische Kenngrößen, wie Temperaturbereiche und Verweilzeiten, für die Zerstörung von Primär- und Sekundärschadstoffen angegeben werden können.

**968.** Die verfahrenstechnische Optimierung biotechnischer Sanierungsmethoden wird derzeit bedauerlicherweise vernachlässigt, was zu unsicheren bzw. unbekanntem Sanierungsleistungen führt. Der Rat empfiehlt, die Zusammenarbeit zwischen der biologischen Grundlagenforschung, der Bioverfahrenstechnik und den anderen Ingenieurwissenschaften zu stärken. Im Bereich der mikrobiologischen Dekontamination lehnt der Rat derzeit den Einsatz gentechnisch veränderter Organismen im Freiland ab, solange die ökologischen Fragen nicht beantwortet und Risiken nicht zuverlässig abgeschätzt werden können.

**969.** Den Überwachungsaufgaben bei der Altlastensanierung wird sowohl hinsichtlich der Überwachung des Sanierungsprozesses als auch der Überwachung in der Nachsorgephase erhebliche Bedeutung beigemessen. Die Planung der Überwachung sollte schon in der Sanierungsplanung, insbesondere im Rahmen der Machbarkeitsstudie, beginnen. In der Nachsorgephase ist die Überwachung danach zu gestalten, ob eine Dekontaminations- oder eine Sicherungsmaßnahme vorliegt. Wenn nach einer Dekontamination keine wesentlichen Restbelastungen nachweisbar sind, kann auf die Überwachung verzichtet werden; in anderen Fällen muß auf Dauer sichergestellt werden, daß keine Nutzung erfolgt, die dem Reinigungsgrad nicht entspricht.

Der Rat ist der Ansicht, daß auf die Überwachung von Altlasten, die durch Sicherungsmaßnahmen saniert werden, nicht verzichtet werden kann. Die Intensität der Überwachung sollte von den Ergebnissen der laufenden Kontrolluntersuchungen abhängig gemacht werden.

### 8.1.5 Kosten und Finanzierungsbedarf

#### Wirtschaftliche Verluste durch Altlasten

**970.** Der Rat versteht unter den wirtschaftlichen Verlusten diejenigen Kosten, die dem Einzelnen als Besitzer eines Grundstückes oder der Volkswirtschaft durch das Vorhandensein von Altlasten erwachsen. Die volkswirtschaftlichen Verluste sind hier noch weniger als in anderen Umweltbereichen bekannt. Schon die Erfassung der altlastverdächtigen Flächen

ist in der Bundesrepublik keineswegs abgeschlossen. Selbst wenn diese Zahlen vorliegen, wird das Problem der Unsicherheit, das bei der Erfassung und zusätzlich bei der geldlichen Bewertung von Umweltschäden immer vorliegt (SRU, 1987, Tz. 215 – 228), auch für den Bereich der Altlasten nicht beseitigt werden. Einen Hinweis über die zu erwartenden Größenordnungen der volkswirtschaftlichen Verluste durch das Vorhandensein von Altlasten sieht der Rat in dem zu ermittelnden Finanzierungsbedarf.

**971.** Grundstücke, auf denen eine Altlast vorhanden ist, erleiden einen dem Risiko entsprechenden Wertabschlag. Aber auch allein die Befürchtung, es könne sich bei einer altlastverdächtigen Fläche um eine Altlast handeln, kann die wirtschaftliche Verwertung von Grundstücken erheblich erschweren. Ist eine Sanierung erforderlich, können die aufzuwendenden Sanierungskosten den Wert des sanierten Grundstückes übersteigen.

Diese Erkenntnisse und die höchstrichterlichen Urteile, wonach die Zulassung der Überbauung von Altlasten durch einen Bebauungsplan zu einem Ausgleich des geldwerten Vermögensnachteils des Eigentümers oder Erwerbers führen kann, sollte auch Initiativen auslösen, um vorab durch Sanierung die Wertminderung eines Grundstückes und Schadenseratzleistungen zu vermeiden.

#### Sanierungsaufwand

**972.** Zum Sanierungsaufwand rechnet der Rat die für die einzelnen Arbeitsschritte anfallenden tatsächlichen Kosten. Ziel muß es sein, die Sanierung in allen Arbeitsschritten mit den geringsten betriebswirtschaftlichen Mitteln zu erreichen. Sanierungsmaßnahmen müssen insgesamt auch mit effektivem Einsatz volkswirtschaftlicher Mittel durchgeführt werden. Durch eine systematische und hierauf abgestimmte Vorgehensweise bei der Erfassung und Gefährdungsabschätzung sowie durch eine optimale Sanierungsplanung können Kosten bei Sicherungs- und Dekontaminationsmaßnahmen eingespart werden, wenn dadurch Fehlentscheidungen vermieden werden und die beste Sanierungslösung erreicht werden kann. Da noch keine einheitlichen Konzepte für die Erfassung und Gefährdungsabschätzung vorliegen, können die hierbei entstehenden Kosten stärker schwanken, als es aufgrund unterschiedlicher objekt-spezifischer Standortverhältnisse gerechtfertigt ist. Es müssen Anstrengungen unternommen werden, die Untersuchungskonzepte zu vereinheitlichen, auch um Vergleiche in Angeboten zu erleichtern.

**973.** Weiterhin sind unbedingt Kosten-Wirksamkeits-Betrachtungen zur kostenmäßigen Bedeutung von alternativen Sanierungsmaßnahmen anzustellen; sie sollten Bestandteil der Sanierungsplanung sein. Bei diesen Kosten-Wirksamkeits-Betrachtungen ist der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu berücksichtigen. Zum Erkennen von Kostenvorteilen verschiedener Sicherungs- bzw. Dekontaminationsmaßnahmen können Kostenvergleichsrechnungen auf der Grundlage der Leitlinie der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser dienen.

**974.** Der Rat empfiehlt, bei der Aufstellung von Prioritäten für Sanierungsobjekte als zusätzliche Entscheidungshilfe auch Kosten-Nutzen-Analysen durchzuführen. Zu den – immer schwierig zu bewertenden – Nutzelementen, die mit einer Altlastensanierung verbunden sein können, sollten auf Bundesebene Rahmenvorgaben erarbeitet werden. Hierbei müßten auch die Grenzen des Betrachtungsrahmens für einzelne Schutzgüter aufgezeigt werden.

Obwohl für die vielfältigen angebotenen Sanierungsverfahren Preise zusammengestellt worden sind, erlauben diese nur eingeschränkte Vergleiche. Die Preisangaben und ihre Bandbreiten sind durch unterschiedliche Randbedingungen, aber auch durch die relativ geringe Zahl von Erfahrungswerten aus der Praxis geprägt. Erst mehr Aufträge und Erfahrungen aus einer größeren Anzahl abgeschlossener Aufträge werden mittelfristig eine Konkretisierung des Sanierungsaufwandes möglich machen.

Schon jetzt sollte die Struktur eines Kostenrahmens erarbeitet werden, der sowohl für die Investitionskosten als auch für die laufenden Kosten bundeseinheitliche Aufschlüsselungen oder Kostengliederungen für die Einzelschritte der Sanierungsmaßnahmen enthält.

#### Finanzierungsbedarf

**975.** Unter dem Finanzierungsbedarf ist das Gesamtvolumen der zu erbringenden geldwerten Leistungen zur Bewältigung der Altlastenproblematik insgesamt oder innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes zu verstehen. Viele der bisher veröffentlichten Zahlenwerte der zu erwartenden Kosten für die Erfassung und Gefährdungsabschätzung altlastverdächtiger Flächen und für die Sanierung der Altlasten sind in ihrer Hochrechnung nur bedingt nachvollziehbar. Eine derartige Situation verführt zu spekulativen Rechnungen.

Der Rat ist sich der Schwierigkeit einer Abschätzung des Finanzierungsbedarfes zum jetzigen Zeitpunkt voll bewußt. Die noch nicht abgeschlossene Aktion zur Erfassung altlastverdächtiger Flächen, die noch nicht bekannte Anzahl der zu sanierenden Altlasten und die unbekanntes Höhe der damit verbundenen Kosten führen bei jeder Art von Schätzung zu großen Unsicherheiten und Fehlerbandbreiten.

**976.** Während die Zahl der altlastverdächtigen Alt-lagerungen inzwischen weitgehend bekannt sein dürfte, und eine Hochrechnung auf der Grundlage der Annahmen von FRANZIUS (1986) möglich ist, können für die Bereiche der Altstandorte einschließlich der kriegs- und rüstungsbedingten Altlasten und für den Bereich stillgelegter Kanalisationen keine ausreichend begründeten Zahlenwerte angegeben werden.

**977.** Der Rat sieht in einer Diskussion über die für die Bundesrepublik zu erwartende Höhe der Gesamtkosten eine Gefahr für eine zügige Bearbeitung der Probleme. Die Frage nach der Finanzierung entschärft sich aber durch ein abgestuftes und schrittweises Vorgehen bei der Bearbeitung der Altlasten. Hierdurch



werden auch die notwendigen Finanzierungsmittel nur nach und nach erforderlich.

**978.** Der Rat empfiehlt den kommunalen Gebietskörperschaften und den Finanzierungsfonds der Länder, sich darauf einzustellen, daß der Finanzierungsbedarf erst in den nächsten Jahren stärker ansteigen wird. Weiterhin ist davon auszugehen, daß auch nach Ablauf des für Hochrechnungen immer wieder angesetzten 10-Jahreszeitraumes ein erheblicher Finanzierungsbedarf bestehen bleibt.

### 8.1.6 Finanzierungsmöglichkeiten

#### Kostenanlastungsprinzipien

**979.** Die Anwendung des Verursacherprinzips zur Finanzierung der Sanierung von Altlasten ist dadurch besonders erschwert, daß die Handlungen in der Vergangenheit stattgefunden haben und in vielen Fällen kein Verursacher im Sinne einer individuellen rechtlich begründbaren Verursacherhaftung oder kein finanzkräftiger Verantwortlicher herangezogen werden kann. Diese Situation führt dazu, daß bei der Kostenanlastung im Bereich der Altlastensanierung zusätzlich auch nach Finanzierungsmodellen gesucht werden muß, die auf einem Kostenanlastungsprinzip beruhen, welches zwischen Verursacher- und Gemeinlastprinzip liegt.

Auf der einen Seite ist ein übereiltes Abheben auf die Gemeinlastlösung zu vermeiden, da sonst die Suche nach rechtlich und finanziell heranziehbarer Verursachern zu schnell abgebrochen wird. Auf der anderen Seite legitimiert das Verursacherprinzip nicht dazu, fehlende Mittel durch Gruppen zu beschaffen, bei denen nur eine Vermutung für die Verursachung spricht. Eine Belastung solcher Gruppen ist unter einem „Gruppenlastprinzip“ zu rechtfertigen. Das „Gruppenlastprinzip“ ist ein umweltpolitisches Prinzip, das nicht in gleicher Weise rechtlich begründbar ist wie das Verursacherprinzip. Hier reicht für die Anlastung der Kosten eine größere Nähe der Gruppenmitglieder zum Finanzierungszweck in der Regel aus. Deshalb legitimiert es, jedenfalls bei Altlasten, vielfach nur freiwillige Lösungen. Derzeitige Abfallproduzenten durch angemessene Abgaben zur Finanzierung heranzuziehen, entspricht diesem Prinzip.

**980.** Neben der Frage, welchen Finanzierungsträgern die Kosten für die Altlastensanierung angelastet werden sollen, stellt sich die Frage, ob durch die Art der Kostenanlastung auch Anreizeffekte zur Vermeidung zukünftiger Altlasten einbezogen werden können. Diese Anreizeffekte sind beschränkt und greifen nur, wenn die früheren Verursacher von Altlasten und der derzeitige oder zukünftige Verursacher weitgehend übereinstimmen.

**981.** Es erscheint nicht geboten, bundesweit einheitliche oder dominante Kostenanlastungsstrategien festzulegen. Es sollten aber in jedem Fall nur solche Modelle realisiert werden, die eine stärkere finanzielle Beteiligung der Gruppen ermöglichen, bei denen ein Verursachungsbezug wahrscheinlich ist. Darüber hinaus sind die regionalen Unterschiede in der Wirtschaftsstruktur und die verschiedenen Altlasten-

typen wesentliche Einflußfaktoren für die Ausgestaltung der jeweiligen Modelle.

**982.** Bundesweite Grundstoffabgaben, insbesondere Grundstoffsteuern, sollten als Finanzierungsquelle ausscheiden, da sie nicht mit der individuellen Verantwortlichkeit gerechtfertigt werden können, die eine bestimmte Verursachergruppe hatte und heute noch hat. Solche Grundstoffabgaben könnten sogar umweltpolitisch unerwünschte Wirkungen auslösen, da unter Umständen ein Umstieg auf andere und eventuell sogar umweltschädlichere Grundstoffe als die mit Abgaben belegten zu befürchten wäre. Diese Gefahr bestünde auch dann, wenn es sich um eine der Altlastenfinanzierung dienende, auf Grundstoffe erhobene Sonderabgabe oder Zwecksteuer handelte.

**983.** Lizenzlösungen sind einer bundesweiten Grundstoffabgabe vorzuziehen, wenn der Kreis der heutigen Sonderabfallerzeuger, auf den die Lizenz gerichtet ist, sich stark mit dem Kreis derjenigen deckt, von denen auch Altlasten verursacht wurden. Auch wenn noch nicht alle Probleme hinsichtlich der Lizenzlösung abschließend geklärt sind, darf nicht verkannt werden, daß durch die Lizenzabgaben Anreize zur Vermeidung von Reststoffen und Abfällen geschaffen werden, so daß hier ein Beitrag zur Vermeidung zukünftiger Altlasten geleistet werden kann.

**984.** Während bei Kooperationsmodellen ein solcher Anreiz weniger stark ausgeprägt vorliegt, stellen sie ein begrüßenswertes Beispiel einer Zusammenarbeit von Staat bzw. Kommunen und Wirtschaft dar. Die hierbei vorgesehene Mischfinanzierung kann als recht brauchbar bezeichnet werden, weil das Gemeinlastprinzip und das „Gruppenlastprinzip“ je nach den Besonderheiten und Bedürfnissen gemeinschaftlich zur Anwendung kommen können. Die flexible und einzelfallbezogene Arbeitsweise ist besonders vorteilhaft.

Der Rat sieht aber auch die Grenzen für die Realisierung derartiger Kooperationsmodelle; sie setzen eine gewisse Überschaubarkeit der Wirtschaftsstruktur und des Umfangs der Altlasten sowie ihres Sanierungsaufwandes voraus.

Weitere Grenzen der Kooperationsmodelle und der Lizenzlösungen können im Satzungszweck, in der zeitlichen Beschränkung und in einem gewissen Spielraum über die Notwendigkeit und das Maß von Sanierungen liegen.

**985.** Der Rat empfiehlt, rechtzeitig über eine eventuelle Fortschreibung der Modelle nachzudenken, wenn sich abzeichnet, daß der zukünftige Finanzbedarf die gegenwärtig festgelegten Finanzvolumina übersteigt.

In diesem Zusammenhang müßte geprüft werden, ob eine langfristige Finanzierungslücke durch neu aufzulegende Finanzierungsprogramme des vorherigen Typs gedeckt werden soll oder ob neben der Industrie auch der Bund sich in irgendeiner Weise an der Finanzierung beteiligen würde. Für diesen Fall wäre auch zu überlegen, ob das Aufkommen aus breit angelegten „Ökosteuern“ oder anderen „Ökoabgaben“ hierfür verwendet werden soll. Grundsätzlich steht der Rat breit angelegten Umweltabgaben skeptisch ge-

genüber, insbesondere weil mit zunehmender Breite immer weniger die Emission als Anknüpfungspunkt dienen kann und folglich der Vermeidungsanreiz verfehlt wird. Wenn aber solche Abgaben dennoch eingeführt und zudem zweckgebunden ausgestattet sind, wogegen der Rat früher ebenfalls Bedenken geäußert hat (SRU, 1985, Tz. 1404), wäre natürlich auch die Altlastensanierung einer von mehreren möglichen Ausgabenzwecken.

#### Finanzierungsmodelle in rechtlicher Sicht

**986.** Der Rat ist der Auffassung, daß gegen das Lizenzmodell des Landes Nordrhein-Westfalen keine durchgreifenden verfassungsrechtlichen Bedenken aus kompetenzrechtlichen Gesichtspunkten bestehen. Vor allem verletzt das Lizenzmodell keine Grundrechte aus Art. 12 Abs. 1 des Grundgesetzes.

Gegen die Einführung einer Sonderabgabe auf den Einsatz bestimmter chemischer Grundstoffe bestehen rechtliche Bedenken bezüglich ihrer Verfassungskonformität. Sie genügt nicht den von der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts aufgestellten Zulässigkeitsvoraussetzungen, da derartige Sonderabgaben nicht gruppennützig verwendet werden. Fremdnutzige Sonderabgaben sind in der Regel unzulässig.

**987.** Demgegenüber kann eine Zwecksteuer als Finanzierungsart für die Altlastensanierung unter rechtlichen Gesichtspunkten in Betracht kommen. Hierbei müßte aber das dem Bund zufließende Steueraufkommen in Form von Finanzhilfen, d. h. als unterstützende Zuwendung bei der Altlastenfinanzierung, den Ländern zufließen.

**988.** Generell sind rechtliche Bedenken gegen Kooperationsmodelle nicht ersichtlich. Auch Bedenken, die sich gegen ihren normvertretenden Charakter richten, greifen nicht durch.

**989.** Ein Verstoß der behandelten Modelle gegen das Recht der Europäischen Gemeinschaften kann ebenfalls nicht festgestellt werden. Sie stellen insbesondere keine unzulässige staatliche Beihilfe im Sinne des EWG-Vertrages dar. Auch die geplante Steuerharmonisierung innerhalb der EG bildet kein rechtliches Hindernis. Bei den Kooperations- und Lizenzmodellen fehlt es bereits an einer Abgabe auf eine Ware. Zu beachten ist ferner, daß der Umweltschutz auch Bestandteil der Steuerpolitik der EG ist.

#### 8.1.7 Rechtsfragen

##### Gesetzlicher Rahmen

**990.** Das für die Zulässigkeit und Erforderlichkeit der Gefährdungsabschätzung und Sanierung von altlastverdächtigen Flächen maßgebliche rechtliche Instrumentarium ist vor allem aus historischen Gründen ausgesprochen zersplittert. Wegen des verfassungsrechtlich begründeten Verbotes, nachträglich ändernd in abgewickelte, der Vergangenheit angehö-

rige Tatbestände einzugreifen, ist diese Situation im Grundsatz durch rechtliche Neuregelungen nicht veränderbar. Allerdings können die nicht speziell auf die Probleme von Altlasten zugeschnittenen Regelungen des Polizei- und Ordnungsrechtes durch Verfahrensregelungen und durch bestimmte materielle Ermächtigungsgrundlagen ergänzt werden. Der Rat befürwortet die Einführung entsprechender Regelungen in allen Bundesländern nach dem hessischen Muster.

**991.** In jedem Fall verbleibt dem allgemeinen Polizei- und Ordnungsrecht ein erheblicher Anwendungsbereich, so daß für die Art der abzuwehrenden Gefahren entscheidend ist, ob es sich bei den von Altlasten betroffenen Gütern um Schutzgüter der öffentlichen Sicherheit und Ordnung handelt. Der Rat zählt hierzu auch die Reinheit des Grundwassers als Teil des Gewässerhaushaltes und die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes.

**992.** Es ist nicht zu verkennen, daß sich die Erkenntnis von Gefahren für Mensch und Umwelt und ein entsprechendes Umweltbewußtsein erst nach und nach herausgebildet haben. Das damalige, auf mangelnden Kenntnissen und auf geringerer Sensibilität beruhende Umweltbewußtsein darf aber nicht den Maßstab dafür liefern, ob von einer altlastverdächtigen Fläche heute eine Gefahr ausgeht. Diese Frage ist vielmehr objektiv unter Zugrundelegung des gegenwärtigen Erkenntnisstandes über mögliche Umweltbelastungen zu beurteilen.

**993.** Die Unterschiede in der rechtlichen Behandlung von Altstandorten gegenüber Altablagerungen sind nicht so geartet, daß sie zu anderen als den oben getroffenen Schlußfolgerungen führten. Der Rat begrüßt ausdrücklich die von der Bundesregierung geplante Einfügung nachwirkender Betreiberpflichten, die auch die Umgebung des Standortes einbeziehen, in das Bundes-Immissionsschutzgesetz.

**994.** Da die Länder mit dem Problem der kriegs- und rüstungsbedingten Altlasten allein überfordert sind, sollte sich der Bund an dieser Aufgabe beteiligen und damit zugleich ihrer gesamtstaatlichen Verursachung Rechnung tragen. Verfassungsrechtliche Bedenken hinsichtlich der Ausgabenzuständigkeit greifen jedenfalls bei einem freiwilligen Tätigwerden des Bundes nicht durch. Fünfzig Jahre nach Ausbruch des zweiten Weltkrieges ist es dringend an der Zeit, dessen schwerwiegende ökologische Hinterlassenschaften zu bewältigen.

##### Verantwortlichkeit

**995.** Die vor allem unter dem Gesichtspunkt der Kostentragung bedeutsame Verantwortlichkeit von Handlungs- und Zustandsstörer nach den Grundsätzen des allgemeinen Polizei- und Ordnungsrechtes ist hinreichend klar. Sie erscheint auch unter Berücksichtigung der speziellen Problematik der Altlasten keineswegs sachwidrig. In den häufig diskutierten Fällen, in denen der Eigentümer ausschließlich durch Fremdeinwirkung eine Kontamination des Grundstückes hinnehmen muß, lassen sich unbillige Ergebnisse ausreichend auf der Ebene der Ermessensent-

scheidung über das „Ob und Wie“ einer Heranziehung vermeiden, insbesondere durch die Beschränkung auf reine Duldungspflichten.

Weit seltener als vielfach angenommen, kann davon ausgegangen werden, daß behördliche Genehmigungen und Duldungen zu einer Legalisierungswirkung in bezug auf eingetretene Verunreinigungen geführt haben. Sie kann sich ohnehin lediglich auf den rechtmäßigen Normalbetrieb und auf diejenigen Gefahren beziehen, die von den seinerzeit bei der Genehmigungserteilung angewandten Gesetzen erfaßt werden. Einschränkungen des Genehmigungsinhaltes können sich ferner daraus ergeben, daß im Gesetz oder im Genehmigungsbescheid die nachträgliche Anordnung von Nebenbestimmungen vorgesehen ist. Schließlich läßt auch die Tatsache, daß bestimmte technische Vorschriften auch früher schon gewisse Risiken aus einem unsachgemäßen Umgang mit Produktionsrückständen erfaßt haben und auf mögliche Formen der Behandlung eingingen, nicht den Schluß zu, daß sich die Genehmigung der Produktionsanlage auch automatisch auf die Durchführung der Entsorgung auf dem Produktionsgelände erstreckt hat. Eine Duldung rechtswidrigen Verhaltens kann nur in Ausnahmefällen aus Gründen der Verhältnismäßigkeit eine Inanspruchnahme beschränken oder verhindern.

**996.** Auch das Argument der mangelnden Erkennbarkeit der Gefahr im Zeitpunkt ihrer Verursachung spielt nicht die Rolle, die ihm verschiedentlich zugewiesen wird. Der Rat hält jedenfalls eine pauschale Risikozuweisung an den genehmigenden Staat nicht für angemessen.

**997.** Insgesamt betrachtet ist der Kreis derer, die mit dem vorhandenen rechtlichen Instrumentarium herangezogen werden können, deutlich größer, als gelegentlich dargestellt. Auch aus diesem Grunde sollte die Suche nach dem rechtlich Verantwortlichen nicht vorschnell abgebrochen werden. Ein wesentliches Problem liegt allerdings in der fehlenden Möglichkeit, den Verursacher oder sonstige Verantwortlichen finanziell heranzuziehen, wenn dieser nicht mehr existiert oder nicht zahlungsfähig ist.

#### Gefahrenabwehr und Vorsorge

**998.** Die Unterscheidung von Gefahrenabwehr und Vorsorge ist vor allem deshalb von zentraler Bedeutung, weil die Inanspruchnahme des Verursachers oder des Eigentümers an der Gefahrengrenze halt macht und er für Vorsorgemaßnahmen nicht mehr herangezogen werden kann. Eine Ausnahme bildet insoweit der Geltungsbereich des im Wasserhaushaltsgesetz verankerten Besorgnisgrundsatzes. Eine Reihe von definitorischen Schwierigkeiten legen die Annahme nahe, daß eine Abgrenzung von Gefahrenabwehr und Vorsorge letztlich nur aufgrund wertender, politischer Entscheidung möglich ist, daß sie zugleich aber auch von den Besonderheiten des jeweiligen Falls und des einschlägigen Rechtsgebietes mitgeprägt wird. Der Versuch einer Abgrenzung kann sich sicherlich nicht allein an dem Bestreben orientieren, einen Privaten mit den Sanierungskosten zu bela-

sten. Gerade angesichts der faktischen Rückwirkung der polizeirechtlichen Störerhaftung gebietet es eine rechtsstaatliche Gesetzesauslegung, den Gefahrenbegriff nicht zu strapazieren.

**999.** Soweit allerdings der Rat in seinem Sondergutachten „Waldschäden und Luftverunreinigungen“ – unter der Voraussetzung des Vorliegens hinreichender objektiver Anhaltspunkte – den Verdacht von Ursache-Wirkungs-Beziehungen trotz gegenwärtiger und künftig sicherer Schäden in den Bereich der Vorsorge verwiesen hat (SRU, 1983, Tz. 406 ff.), lassen sich diese Überlegungen nicht ohne weiteres auf das Altlastenproblem übertragen. Ob Sanierungsmaßnahmen aus Gründen der Gefahrenabwehr oder der Vorsorge ausgelöst werden, hängt vielmehr ganz wesentlich von der Wahrscheinlichkeit der Schadstoffausbreitung und der Exposition ab.

Diese für die Kostentragungspflicht bedeutsame Abgrenzung hindert die öffentliche Hand nicht daran, auf eigene Kosten weitergehende Sanierungsziele zu verfolgen, so auch die Wiederherstellung der Multifunktionalität einer Fläche.

#### Bewertungsverfahren

**1000.** Unter Hinweis auf gewichtige Einschränkungen und begrenzende Anwendungsvoraussetzungen empfiehlt der Rat die Einführung von schutzgut- und nutzungsbezogenen Prüfwerten, die als stoffbezogene Konzentrationswerte dazu dienen, Art und Ausmaß der Gefährdung eines bestimmten Umweltmediums durch einen aus einer Altlast stammenden Schadstoff abzuschätzen und die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen zu beurteilen. Hierzu müssen aber auch noch Fragen der konkreten Einwirkung auf Schutzgüter und die Frage der Schutzwürdigkeit im Einzelfall betrachtet werden. Jeglicher Automatismus in der Auslösung von Maßnahmen bei der Überschreitung von Prüfwerten ist deshalb abzulehnen. Von größter Wichtigkeit erscheint dem Rat daher ein einzelfallbezogener Relativierungsvorbehalt.

Der Einsatz von Prüfwerten hängt weiter davon ab, daß bereits bei ihrer Erarbeitung gewisse Bedingungen eingehalten werden. Sie müssen zumindest erkennen lassen, welches Schutzziel sie verfolgen, sie müssen die Randbedingungen für ihre Anwendung verdeutlichen, und sie müssen entweder in einem transparenten Verfahren zustande gekommen sein, oder die Begründung des Zahlenwerks muß inhaltlichen Mindestanforderungen genügen. Bereits bestehende Listen vermögen in dieser Beziehung nicht immer zu befriedigen.

**1001.** Der Rat hält es für erwägenswert, Prüfwerte aufzugliedern zum einen nach der Schutzwürdigkeit der Medien unter Einbeziehung der ausgeübten Nutzungen, zum anderen nach der Art der gegebenenfalls auszulösenden Maßnahmen. Allerdings macht auch ein solches Vorgehen nicht einen einzelfallbezogenen Relativierungsvorbehalt entbehrlich. Auch läßt sich der Umfang von Sanierungsmaßnahmen selbst durch gestaffelte Werte nicht steuern.

Rechtliche Einwände im Hinblick auf die Generalisierbarkeit richten sich nicht nur gegen stoffbezogene

Prüfwertlisten, sondern, wengleich in mindere Maße, auch gegen formalisierte Bewertungskonzepte. Ihr besonderer Vorzug gegenüber Prüfwertkonzepten liegt in ihrer Eignung zu einer breitgefächerten Einbeziehung einzelfallbezogener Umstände, die Stoffeigenschaft, Einwirkungen auf die Umwelt, Schutzwürdigkeit und Schadensumfang in einem formalisierten Bewertungsverfahren berücksichtigen. Die Schwäche der gegenwärtig angewandten Verfahren beruht vornehmlich darauf, daß sie auf die Verwendung von Gewichtungsfaktoren angewiesen sind und der daraus zwangsläufig folgende Bewertungsautomatismus in der Einzelfallbewertung in Konflikt geraten kann mit den Grundsätzen der Konkretisierung der polizei- und ordnungsrechtlichen Generalklausel. Deshalb erscheinen sie dem Rat in erster Linie geeignet für eine vorläufige Bewertung, z. B. im Rahmen der Prioritätensetzung, weniger dagegen für die endgültige Sanierungsentscheidung. Auch derartige Bewertungskonzepte sind als Verfahren mit Richtwertcharakter unter Relativierungsvorbehalt zu verstehen.

**1002.** Vom Ansatz her überlegen sind gutachtengestützte Einzelbewertungen. Wenn der Rat dennoch unter nochmaliger Betonung der oben genannten Bedingungen Prüfwerten und formalisierten Bewertungsverfahren den Vorzug gibt, so sind hierfür die Gesichtspunkte gesteigerter Transparenz und Verwaltungseffizienz sowie der Gleichbehandlung ausschlaggebend. Zudem wird dadurch die Gefahr unsachgemäßer Einflußnahmen verringert. Ebenfalls abnehmen dürfte der Anreiz, notwendige Sanierungsmaßnahmen durch Anrufung der Gerichte zu blockieren.

**1003.** Das Altlastenproblem stellt eine gravierende Bedrohung der Umwelt von gesamtstaatlicher Bedeutung dar. Der Bundesgesetzgeber sollte daher seine bisherige Abstinenz in der Altlastenfrage aufgeben und in der nahen Zukunft im Abfallgesetz Ermächtigungen zum Erlass geeigneter Verwaltungsvorschriften mit erhöhtem Verbindlichkeitsgrad (normkonkretisierende Verwaltungsvorschriften) schaffen. Um Wertungswidersprüche zu vermeiden, empfiehlt es sich, auch Altstandorte in die abfallrechtlichen Regelungen einzubeziehen. Bedenken hinsichtlich der verfassungsrechtlichen Zuständigkeit des Bundes für Prüfwerte im Bereich der Altlasten teilt der Rat nicht. Auf dieser Grundlage sollten – sobald in stärkerem Maße als bisher gesicherte Erkenntnisse vorliegen – entsprechende Verwaltungsvorschriften ergehen unter Beachtung der von der derzeitigen Rechtsprechung an Verwaltungsvorschriften mit erhöhtem Verbindlichkeitsgrad gestellten Voraussetzungen. Ein solches Vorgehen ist der alternativ in Erwägung zu ziehenden Einführung abgestimmter Länderverwaltungsvorschriften vorzuziehen.

Ungeachtet der Notwendigkeit, zu einer länderübergreifenden Vereinheitlichung der Kriterien für die Beurteilung der Gefährdungen und zur Festlegung der schutzgut- und nutzungsbezogenen Sanierungsziele zu gelangen, sollte die Entscheidung über Ausmaß und Geschwindigkeit der zu ergreifenden Maßnahmen bei den Ländern verbleiben.

Auf lange Sicht hält der Rat es auch für sinnvoll, Prüfwerte im Vorsorgebereich aufzustellen. Mit ihrer Hilfe

könnten Sanierungsaktivitäten auf Kosten der öffentlichen Hand über das dem Verursacher zuzurechnende Maß hinaus gesteuert werden.

**1004.** Referenz- und Orientierungswerte bieten dagegen in rechtlicher Hinsicht nur in eingeschränktem Umfang eine Hilfestellung zur Bewertung von altlastverdächtigen Flächen. Höchstwerte für Schadstoffbelastungen speziell durch Altlasten, die nicht überschritten werden dürfen, gibt es bisher nicht. Werden durch die Auswirkungen einer Altlast die in anderem Zusammenhang aufgestellten, für die konkrete Nutzung maßgeblichen Höchstwerte nicht eingehalten, müssen grundsätzlich Sanierungsmaßnahmen oder Nutzungseinschränkungen erfolgen.

#### Durchführung von Maßnahmen

**1005.** Der Rat hat sich mit den Kriterien, wann eine Sanierungsmaßnahme als verhältnismäßig anzusehen ist, auseinandergesetzt. Er betont, daß rechtmäßig ausgeübte oder planerisch ausgewiesene Nutzungen nicht schon deshalb weichen müssen, weil eine Sanierung mit erheblichen Aufwendungen verbunden ist. Ebenso wenig kann der Sanierungspflichtige anstelle der Durchführung geeigneter Sanierungsmaßnahmen verlangen, daß der Nutzungsberechtigte weitreichende zusätzliche Vorkehrungen trifft, nur damit eine rechtmäßige Nutzung aufrechterhalten werden kann, z. B. durch chemische Aufbereitung des Grundwassers für Trinkwasserzwecke.

Andererseits versetzt das Bauplanungsrecht die Gemeinden in die Lage, Beschränkungen künftiger Nutzungen bei der Ausweisung von sanierungsbedürftigen Flächen als Mittel der Gefahrenabwehr einzusetzen. Allerdings vermögen solche sanierungsabwehrenden Nutzungsänderungen unter Umweltschutzgesichtspunkten nicht immer zu befriedigen. Auch können sie, da sie regelmäßig mit einer Herabstufung der betreffenden Flächen verbunden sind, zu nicht unerheblichen Entschädigungsverpflichtungen der Gemeinden führen.

**1006.** Der Rat weist darauf hin, daß auch die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen nicht deshalb von der Beachtung umweltrechtlicher Verfahrens- und Schutzvorschriften freigestellt ist, weil sie der Gefahrenabwehr dient. Immerhin erlaubt insbesondere der abfallrechtliche Begriff des Wohls der Allgemeinheit eine Abwägung des Nutzens einer Sanierungsmaßnahme mit den aus ihr erwachsenden Risiken und Belastungen.

**1007.** Beim Einsatz mobiler Sanierungsanlagen ist gewährleistet, daß die Umwelt auch in Fällen nicht schutzlos bleibt, in denen das Immissionsschutzrecht, aber nicht das Abfallrecht anwendbar ist. Allerdings ist das geltende Recht auf die besonderen Probleme der Errichtung und des Betriebes von Anlagen zur Altlastensanierung nicht zugeschnitten. Die unterschiedliche Behandlung ähnlicher Typen von mobilen Anlagen behindert den Vollzug und damit zumindest die zügige Sanierung, erhöht die Kosten, hemmt die technische Entwicklung in diesem Bereich und führt nicht zuletzt mangels ausreichender Transparenz zu Akzeptanzproblemen. Der Rat schlägt daher vor, auch

Anlagen mit einer Betriebsdauer von weniger als sechs Monaten der immissionsschutzrechtlichen Genehmigungspflicht zu unterwerfen. Ob Anlagen, die nach Immissionsschutzrecht zu genehmigen sind, aber zugleich dem Abfallrecht unterfallen, künftig von der Zulassungsbedürftigkeit nach dem Abfallgesetz ausgenommen werden sollten, kann nur generell, nicht aber isoliert für Sanierungsanlagen entschieden werden.

**1008.** Für eine zügige Entwicklung der Sanierungstechnik sind Versuchsanlagen unumgänglich. Für den Betrieb solcher Anlagen sollte bis zu einer Dauer von zwei Jahren ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren durch entsprechende Änderung des Immissionsschutz- und des Abfallrechts eingeführt werden. Ebenso ist die Einführung eines Konzeptvorbescheides und für mobile Anlagen die Einführung einer Bauartzulassung jeweils nach immissionsschutzrechtlichem Muster zu erwägen.

**1009.** Das Verfahren der städtebaulichen Sanierung erscheint trotz seiner Betonung baulicher Maßnahmen und einiger anderer Eigenheiten geeignet, für die Problemstruktur der Altlasten nutzbar gemacht zu werden. Eines gesonderten Planungsverfahrens bedarf es daher nicht.

## 8.2 Konsequenzen und Empfehlungen zur Vermeidung von Altlasten in der Zukunft

### 8.2.1 Erkenntnisgrenzen und die Vermeidung von Altlasten

**1010.** Das Wissen über die Eigenschaften von Stoffen und über ihr Verhalten in Abfällen, in Böden, im Untergrund und in Gewässern sowie über ihre Wirkungen auf den Menschen und auf Ökosysteme ist systematisch begrenzt. Es ist daher davon auszugehen, daß auch heute noch infolge stofflicher Einwirkungen in Böden, im Untergrund und im Grundwasser Zustände entstehen, die zukünftig eine Belastung der Umwelt darstellen. Für die überwiegende Zahl der heute auf dem Markt anzutreffenden Chemikalien liegen noch keine Erkenntnisse darüber vor, ob bei einer Exposition mit diesen Stoffen langfristig mit Gesundheits- und Umweltschäden gerechnet werden muß (SRU, 1987, Tz. 1694 ff.). Die derzeitigen Grenzen bei der Ermittlung und Abschätzung sowohl gesundheitlicher als auch ökotoxikologischer Risiken hat der Rat im Umweltgutachten 1987 ausführlich dargelegt (SRU, 1987, Kap. 3.1). Der Rat weist darauf hin, daß es auch in Zukunft schon deshalb immer wieder Altlasten geben kann, weil das Wirken der Faktoren, die das „nicht bestimmbare Risiko“ (SRU, 1987, Tz. 1674) umfassen, nicht unterbunden werden kann. Auch sorgfältige auf heutiger Kenntnis beruhende Risikoabschätzungen können daher nicht ausschließen, daß Stoffe sich in Böden, Untergrund oder Gewässern anders als erwartet verhalten und dadurch Gefährdungen auftreten.

**1011.** Zu den Faktoren, die das Risiko für das Auftreten neuer Altlasten nicht bestimmbar erscheinen lassen, gehören in besonderem Maße

- die unbekanntenen Wirkungen durch Stoffeinträge in Böden, Untergrund, Gewässer und auf Ökosysteme,
- die nicht bestimmbaren Wirkungen unterhalb der derzeitigen Nachweisgrenze von Boden- und Wasserverunreinigungen,
- die lückenhaften Kenntnisse über die Kombinationswirkungen der eingetragenen Stoffe in Böden, im Untergrund und im Grundwasser,
- die unbekanntenen Wirkungen der Metaboliten und deren mögliche Synergismen und Antagonismen,
- die unzureichenden Erfahrungen über die Wirkungen durch die medienübergreifende Summation der Schadstoffeinträge auf Böden, Untergrund und Grundwasser.

Weiterhin gehört zu den Faktoren des nicht bestimmbaren Risikos die Unzulänglichkeit der Beurteilung subjektiv empfundener Beeinträchtigungen, die von Anwohnern altlastverdächtiger Flächen immer wieder angeführt werden.

Auf weitere generelle Einflußfaktoren des nicht bestimmbaren Risikos geht das Umweltgutachten 1987 (SRU, 1987, Tz. 1677) ausführlich ein.

**1012.** Das umweltpolitische Ziel muß es sein, zur Vermeidung zukünftiger Altlasten alle Faktoren des bestimmbaren Risikos, und nicht nur die sich aus den bisher bekannten Schadwirkungen (s. Kap. 2) und aus den Untersuchungsergebnissen zur Gefährdungsabschätzung (s. Kap. 3) ergebenden, bei in Betrieb befindlichen und neu zu errichtenden Anlagen zu berücksichtigen. Das vorliegende Erfahrungspotential muß dazu genutzt werden, daß neue Altlasten in Zukunft nach bestem Vermögen nicht mehr entstehen.

### 8.2.2 Erfassung der Belastung durch andauernde Aktivitäten

**1013.** Im bisher üblichen Sinne ist eine auf Alttablagerungen und Altstandorte bezogene Altlast eine in der Vergangenheit begründete Umweltbelastung, die sich definitionsgemäß auf abgeschlossene Aktivitäten bezieht, die auf ehemaligen und geschlossenen Ablagerungsplätzen sowie in stillgelegten Anlagen und auf Flächen der gewerblichen Wirtschaft und öffentlicher Einrichtungen stattgefunden haben (s. Abschn. 1.3.3). Diese Definition führt zu einer systematischen Unterscheidung von Altlasten und neuen umweltgefährdenden Belastungen, die durch andauernde Aktivitäten in und auf in Betrieb befindlichen Anlagen und Flächen verursacht werden. In diesem Zusammenhang wird gelegentlich auch von „Neulasten“ gesprochen; der Rat hält diesen Begriff für ungeeignet und verwendet ihn nicht. Es ist davon auszugehen, daß Flächen, auf denen heute umweltgefährdende Aktivitäten stattfinden, eines Tages, nach Abschluß dieser Aktivitäten, als altlastverdächtige Flächen auszuweisen sind und zur Altlast werden können.

So werden bei in Betrieb befindlichen Anlagen der Abfallentsorgung, der gewerblichen Wirtschaft oder der öffentlichen Einrichtungen die Ursachen für pro-

blematische Bodenverunreinigungen in einer in der Vergangenheit begründeten, aber noch nicht abgeschlossenen Handlung sowie in einer heute und zukünftig begründeten und noch nicht abgeschlossenen Handlung liegen.

**1014.** Kontaminationen auf Flächen von in Betrieb befindlichen Anlagen können durchaus durch Aktivitäten in früherer Zeit entstanden sein. Sofern nur die Aktivitäten geändert worden sind, zum Beispiel durch Ersatz umweltgefährdender Reinigungsmittel oder durch Beschränkung auf bestimmte Abfallarten, eine Stilllegung der Anlage oder Betriebsfläche aber nicht erfolgte, fällt dieser Bereich derzeit generell nicht unter die Definition der altlastverdächtigen Altablagerungen und Altstandorte und wird daher nicht systematisch erfaßt.

**1015.** Weiterhin können in früheren Jahren aufgetretene Betriebsstörungen oder Unglücksfälle Bodenverunreinigungen hervorgerufen haben, die nicht in allen Fällen beseitigt worden sind. Auch können im Untergrund der Grundstücke durch Kriegseinwirkungen zerstörte oder aus Abbrüchen stammende Anlagenteile mit umweltgefährdenden Kontaminationen vorhanden sein.

Darüber hinaus ist zu erwarten, daß auch derzeit und in Zukunft noch Flächen durch umweltgefährdende Stoffe – wengleich zweifellos in geringerem Maße als früher – verunreinigt werden, die man später als altlastverdächtig ansehen muß.

**1016.** Heute noch als unvermeidbar angesehene betriebliche Dauer- oder Wiederholungsemissionen in geringem Umfang oder Emissionen durch vorsätzliches oder fahrlässiges Fehlverhalten können über Jahrzehnte zu Anreicherungen von Schadstoffen in Böden und Untergrund führen. Diese Allmählichkeitsschäden bleiben zunächst unsichtbar. Bis zur Beeinträchtigung des Grundwassers durch verseuchte Böden können Jahre vergehen. Viele Entwicklungsabläufe sind nicht umkehrbar, die Geschwindigkeit der Regeneration der Böden und des Untergrundes ist gering (BACHMANN, 1985). Die Böden und der Untergrund sind als Schutzgüter vor Schadstoffeinträgen zu bewahren. Sie sollten nicht länger als Senke für Verunreinigungen angesehen werden.

**1017.** Gefahrenabwehr und Schadensbegrenzung bestimmen derzeit die Politik gegenüber Altlasten. Diese Aufgaben haben Priorität. Der Rat betont jedoch auch die Bedeutung präventiven Handelns zur Vermeidung zukünftiger neuer Altlasten, das im Hinblick auf den Schutz der Böden, des Untergrundes und des Grundwassers notwendig ist. Die systematische Erfassung und Prüfung aller stillgelegten Altablagerungen und Altstandorte ist Voraussetzung einer umsichtigen Umweltpolitik. Der Rat empfiehlt, parallel dazu auch die in Betrieb befindlichen Anlagen und Kanalisationen, bei denen sowohl in der Vergangenheit als auch in der Gegenwart und näheren Zukunft die Möglichkeit des Austritts von umweltgefährdenden Stoffen in Böden und Untergrund besonders gegeben ist, zu erfassen. Hierdurch könnten in Form eines Katasters die problematischen von den unproblematischen Fällen unterschieden werden. Diese Phase der Erfassung dient nicht nur der Vorsorge, sondern ermöglicht auch die Anwendung des Verursacherprinzips. Es muß das

Ziel sein, später möglichst nicht mehr auf zufällige Entdeckungen altlastverdächtiger Flächen und die langwierige Suche nach ihren Eigentümern angewiesen zu sein.

**1018.** Diese systematische Erfassung und Prüfung hat derzeit keine eigene rechtliche Grundlage. Allerdings bieten die Regelungen über die Überwachung von Anlagen nach den einzelnen Umweltgesetzen gewisse Möglichkeiten. Darüber hinaus empfiehlt der Rat, die Maßnahmen zum Bodenschutz (BT-Drucksache 11/1625) schnell und zielstrebig umzusetzen. Dabei ist auch an ein Regelwerk zum Bodenschutz zu denken; insbesondere sollten baldmöglichst durch entsprechende bundeseinheitliche Festlegungen über bodengefährdende Stoffe weitere Bodenbelastungen durch problematische Stoffe vermieden werden.

**1019.** Sollte mit dem Einsickern von Stoffen in das Erdreich auf Betriebsgeländen und aus Kanalisationen, einschließlich der kommunalen Kanalsysteme, die Möglichkeit gegeben sein, daß hierdurch die physikalische, chemische und biologische Beschaffenheit des Grundwassers nachteilig beeinflußt wird, so könnte dem Entstehen neuer Altlasten durch Anwendung des in mehreren Vorschriften des Wasserhaushaltsgesetzes niedergelegten Bewirtschaftungs- bzw. Schutzgrundsatzes und zum Teil des strengeren Besorgnisgrundsatzes entgegengewirkt werden. Der Bewirtschaftungs- bzw. Schutzgrundsatz, der auf die Benutzung von Gewässern und auf bestimmte Einwirkungen auf Gewässer sowie auf Anlagen zum Umschlagen wassergefährdender Stoffe Anwendung findet, gebietet keinen absoluten, sondern nur den mit einem bestimmten technischen Niveau erreichbaren bestmöglichen Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen. Er beschreibt damit die für das Wasserrecht maßgebliche Gefahrgrenze. Nach dem Besorgnisgrundsatz, der unter anderem auf das Lagern von Stoffen jeglicher Art und auf die Produktion und Verwendung wassergefährdender Stoffe in Anlagen Anwendung findet, ist jeder auch noch so wenig naheliegenden Wahrscheinlichkeit einer Verunreinigung des Grundwassers vorzubeugen (BVerwG, ZfW 1981, S. 87 ff.). Ob diese Grundsätze verletzt sind, kann von den Vollzugsbehörden aber erst beurteilt werden, wenn die Verhältnisse an den von in Betrieb befindlichen Anlagen benutzten Flächen erfaßt und bewertet worden sind. Der Rat ermutigt die Vollzugsbehörden zum Zwecke der Erfassung von Gewässerverunreinigungen stärker als bisher den Besorgnis- bzw. den Schutzgrundsatz anzuwenden. Allerdings werden damit dem Vollzug noch keine hinreichend konkreten Vorgaben für Geschwindigkeit und Ziel der Sanierung an die Hand gegeben. Es sollte daher geprüft werden, inwieweit die Überlegungen zu Prüfwerten und formalisierten Bewertungsverfahren auch auf zu erlassende wasserrechtliche Verwaltungsvorschriften übertragen werden können. Dies gilt auch für die unter überörtlichen Gesichtspunkten zu betrachtende Prioritätensetzung. Auf dem Gebiet der Kanalisation könnte das von der Abwassertechnischen Vereinigung (ATV) als Entwurf vorgelegte Merkblatt „Grundlagen für die Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Entwässerungskanälen und -leitungen“ (Stand 1988) in Verbindung mit dem

Entwurf des ATV-Arbeitsblattes 140 „Regeln für den Kanalbetrieb“ (Stand 1987) hilfreich sein. Allerdings fehlen auch hier bisher gestaffelte Vorgaben für die zeitlichen Abstände, in denen Inspektionen vorzunehmen sind.

#### 8.2.2.1 Maßnahmen und Empfehlungen für Abfallentsorgungsanlagen

**1020.** Für die in Betrieb befindlichen Anlagen zur Ablagerung von Abfällen sind erst in den letzten Jahren zahlreiche Maßnahmen zum Umweltschutz aufgrund der Anforderungen in den Abfallgesetzen des Bundes und der Länder realisiert worden. Dennoch muß davon ausgegangen werden, daß nicht für alle in Betrieb befindlichen Ablagerungsplätze eine Garantie für sachgemäße Ablagerungen gegeben werden kann. HUTER et al. stellten noch 1985 fest, daß Hausmülldeponien betrieben würden, deren langfristige Sicherheit teilweise gefährdet erscheint. KUHLMANN (1988) ist der Auffassung, daß eine dauernde Sicherheit von Deponien nicht garantiert werden kann. Auf die Umsetzung der Ziele und Anforderungen des Abfallgesetzes aus dem Jahre 1986 mit den entsprechenden Verordnungen und der in Arbeit befindlichen Technischen Anleitung Abfall sowie der Verwaltungsvorschriften zu § 5 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG in die Praxis setzt man auch im Hinblick auf das Vermeiden neuer Altlasten im Bereich der Abfälle und Reststoffe große Erwartungen.

**1021.** Der Rat ist derzeit dabei, sich im Rahmen eines Gutachtens zur Abfallwirtschaft eine eigene Meinung zur langfristigen Sicherung von Deponien zu bilden. Von Bedeutung sind vor allem Anforderungen an die Eigenschaften, die an abzulagernde Stoffe gestellt werden müssen, um umweltverträglich oberirdisch abgelagert werden zu können. Diese Abfälle sind durch entsprechende Behandlung von Schadstoffen zu entfrachten bzw. zu mineralisieren und zu stabilisieren, d. h. endlagerungsfähig zu machen. Diese Behandlungsmaßnahmen wurden weder in der Vergangenheit, noch werden sie derzeit im erforderlichen Umfang und in der notwendigen Vielfalt durchgeführt.

**1022.** Inwieweit die Abdichtungssysteme der in Betrieb befindlichen Deponien einer Freisetzung von Schadstoffen in die Umwelt entgegenwirken, kann nur durch eine dauernde Überwachung beurteilt werden. Diese Überwachung ist auch für geordnete Deponien zwingend, da die Zahl der geordneten Deponien, die über Jahrzehnte überwacht werden, zu einer Extrapolation der Emissionszeiträume noch nicht ausreicht.

Die sich aus der Untersuchung des Gefährdungspotentials altlastverdächtiger Altablagerungen und aus der Überwachung von Sicherungsmaßnahmen ergebenden Erfahrungen sollten in die Überwachung der in Betrieb befindlichen Deponien einfließen.

Der Rat empfiehlt daher, daß in der Bundesrepublik die Erkenntnisse aus der Sanierung von Altablagerungen und aus der Überwachung von in Betrieb befindlichen Deponien zentral gesammelt, ausgewertet und an die Betreiber der Deponien rechtzeitig weiter-

gegeben werden, damit diese für ihre eigenen Anlagen die aus Vorsorgegründen notwendigen Konsequenzen unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit ziehen können.

Um auch bei der künftigen Stilllegung noch in Betrieb befindlicher Deponien alle für eine effektive Überwachung und spätere Planung benötigten Angaben, vor allem über Art, Menge und Verteilung abgelagerter Abfälle im Deponiekörper, verfügbar zu haben, ist zu prüfen, in welcher Form die umweltrelevanten Daten betriebener Deponien in ein Kataster aufgenommen werden können (vgl. Tz. 325).

**1023.** Im Rahmen der Stilllegung einer Deponie sollte gemäß § 10 AbfG in einem Maßnahmenkatalog, der auf die Nutzung abgestimmt sein muß, die Kontrolle, Sicherung und endgültige Rekultivierung festgelegt werden. Nach Auffassung des Rates können die Flächen stillgelegter Sonderabfall- und Hausmülldeponien für eine Wohnbebauung nicht in Frage kommen. Bei anderen Deponien, zum Beispiel für Bodenaushub, Bergematerial oder Bauschutt, ist eingehend zu prüfen, ob eine zukünftige Gesundheits- und Umweltgefährdung bei Wohnbebauung ausgeschlossen werden kann.

**1024.** Unter den im Rahmen von Stilllegungsmaßnahmen gemäß § 10 AbfG gegebenenfalls notwendigen Vorkehrungen, um Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu verhüten, sind nicht nur Sicherungsmaßnahmen, sondern auch Dekontaminationsmaßnahmen zu verstehen. Die Maßnahmen können auch angeordnet werden, wenn sich erst nach der Stilllegung einer Deponie der Verdacht einer möglichen Gefährdung erhärtet.

**1025.** Ob eine zeitliche Begrenzung der Inanspruchnahme des früheren Inhabers oder Betreibers der Deponie anzusetzen ist, läßt sich nach dem gegenwärtigen Stand der Diskussion noch nicht absehen. Wenn es in der Rechtsprechung Tendenzen geben sollte, die Zeit der Haftung übermäßig zu begrenzen, so sollte an eine gesetzliche Regelung gedacht werden, die im Hinblick auf die Langzeitr Risiken das öffentliche Interesse an der Durchsetzung des Verursacherprinzips mit dem Interesse des Betreibers an einer zeitlichen Begrenzung seiner Haftung austariert.

#### 8.2.2.2 Maßnahmen und Empfehlungen für Anlagen und Betriebsflächen der gewerblichen Wirtschaft und der öffentlichen Einrichtungen

**1026.** In den letzten Jahren ist für den Bereich der Produktions-, Weiterverarbeitungs- und Dienstleistungsbetriebe eine Vielzahl von Gesetzen und Verordnungen erlassen worden, die mittelbar oder unmittelbar den Umgang mit umweltgefährdenden Stoffen regeln und damit einen Beitrag zur Vermeidung von Verunreinigungen der Böden, des Untergrundes und des Grundwassers leisten. Historisch bedingt verteilen sich diese Gesetze und Verordnungen auf verschiedene Rechtsgebiete, unter anderem Wasserrecht, Gewerberecht, Immissionsschutzrecht, Baurecht, Bergrecht. Der Rat empfiehlt, mehr Übersichtlichkeit zu schaffen und die Möglichkeiten zu prüfen, ob Vereinfachungen vorgenommen werden können,

die sich besonders auf den Vollzug und auf die Anwendung im Betrieb positiv auswirken.

**1027.** Der Rat begrüßt die beabsichtigte Novellierung der §§ 5 und 16 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, wonach zukünftig Regelungen getroffen werden sollen, die zur Verhinderung von Altlasten und zur Durchsetzung des Verursacherprinzips beitragen. Da Bodenverunreinigungen durch Reststoffe aus in Betrieb befindlichen Anlagen mit ihren Folgen insgesamt vom Abfallgesetz (§ 10) nicht erfaßt werden, ist die Novellierung ein Schritt in die richtige Richtung.

Die neuen Regelungen betreffen die Pflichten des Betreibers genehmigungsbedürftiger Anlagen für die Zeit nach der Betriebseinstellung. Der Betreiber hat sicherzustellen, daß von der stillgelegten Anlage keine schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstigen Gefahren, erheblichen Nachteile und erheblichen Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft hervorgerufen werden können. Darüber hinaus sind vorhandene Reststoffe ordnungsgemäß und schadlos zu verwerten oder als Abfälle ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit zu entsorgen.

**1028.** Nicht berücksichtigt wurde im Entwurf, daß die vorgesehene Regelung möglicherweise eine Lücke für Fälle läßt, in denen durch den Betrieb einer bestehenden Anlage Bodenverunreinigungen in der Vergangenheit verursacht worden sind oder gegenwärtig verursacht werden. Das Problem liegt darin, daß es zweifelhaft erscheint, ob dem Betreiber nach § 5 Abs. 1 Nr. 1 und 2 BImSchG Sanierungsmaßnahmen auferlegt werden können, die nicht unmittelbar betriebsbezogen sind (vgl. VG Berlin, UPR 1987, S. 238). Es erscheint sinnvoll, die Neuregelung des § 5 Abs. 3 BImSchG von vornherein so zu formulieren, daß derartige Auslegungsprobleme vermieden werden (vgl. auch Abschn. 7.1.2). Damit würde es sich auch erübrigen, neben der Stilllegung der ganzen Anlage auch die Stilllegung eines Anlageteils und die wesentliche Änderung, soweit sie einer Teilstillegung gleichkommt, ausdrücklich in die Vorschrift aufzunehmen.

**1029.** Die Einbeziehung der nachträglichen Anordnung nach § 17 BImSchG stellt sicher, daß die oben genannten Pflichten für die Zeit nach der Stilllegung nicht nur durch eine Nebenbestimmung zu einer Neugenehmigung, sondern auch nach Erteilung der Genehmigung angeordnet werden können. Hierdurch können alle in Betrieb befindlichen genehmigungsbedürftigen Anlagen erfaßt werden, zumal die beabsichtigte Betriebseinstellung der zuständigen Behörde anzuzeigen ist (§ 16 Abs. 2 BImSchG).

**1030.** Zu den Betreiberpflichten sollte es insbesondere gehören, daß für den Fall des Abbruchs einer Anlage oder eines Anlageteils, die mit umweltschädlichen Stoffen kontaminiert sind, ein Abbruchkonzept mit Sicherungs- oder Dekontaminationsmaßnahmen erstellt und genehmigt wird. In diesem Zusammenhang ist auch der Gedanke einer Bodenzustandsklärung des Betreibers zu erwägen. Schließlich muß geklärt werden, wie lange die Betreiberpflichten auch nach Betriebseinstellung zeitlich gelten sollen, um die Risiken besser kalkulieren zu können.

**1031.** Es ist nicht auszuschließen, daß bei einer Betriebsaufgabe die Liquidität des Unternehmens nicht mehr gegeben ist, so daß die nach der Betriebseinstellung noch notwendigen Umweltschutzmaßnahmen nicht mehr bezahlt werden können. Für diese Fälle müßten rechtzeitig Überlegungen einer Sicherheitsleistung, zum Beispiel durch Bildung eines Fonds oder durch Nachweis einer Versicherung, angestellt werden. Über die Freigabe einer gestellten Sicherheit müßte die zuständige Behörde entscheiden können.

**1032.** Sobald die Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung altlastverdächtiger Altstandorte einen bundesweiten Überblick erlauben, ist es zweckmäßig zu prüfen, ob der Katalog der genehmigungsbedürftigen Anlagen (§ 4 BImSchG, 4. BImSchV) und der Störfall-Verordnung (12. BImSchV) neueren Erkenntnissen angepaßt werden sollte, eventuell auch hinsichtlich der als Abgrenzungskriterium festgelegten Kapazitätsgrenzen der Anlagen sowie, im Bereich der Störfall-Verordnung, bezüglich der Stoffe und ihrer Mengenschwellen.

**1033.** Derartige Änderungen oder Ergänzungen tragen dazu bei, daß zukünftig durch die Anwendung des novellierten § 5 BImSchG bei allen in Frage kommenden Betrieben das Ziel, Altlasten zu vermeiden, beachtet wird. Entsprechende Überlegungen sollten auch für den Bereich der nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen angestellt werden.

**1034.** Die im Raumordnungsrecht vorgegebene Freiraumsicherung wird auch in den nächsten Jahrzehnten eine hohe Priorität haben. Aus diesem Grund stehen für die Aufnahme neuer wirtschaftlicher Aktivitäten ganz überwiegend nur stillgelegte ehemalige industrielle oder gewerbliche Flächen selbst zur Verfügung (Flächenrecycling). Sie sollten nicht erst dann für diese neue Nutzung bereitstehen, wenn der Betreiber nach der Betriebseinstellung mögliche Kontaminationen beseitigt hat. Es sollten „in situ“-Verfahren zur Dekontamination von Böden weiterentwickelt werden, die es erlauben, bodenfremde umweltgefährdende Kontaminationen noch vor der Betriebseinstellung zu beseitigen. Entsprechende Maßnahmen werden heute schon nach Störfällen oder Unfällen durchgeführt, um die Auswirkungen auf Böden, Untergrund und Gewässer gering zu halten.

Eine solche frühzeitige Dekontamination vor der Betriebseinstellung würde auch der durch die neuere Rechtsprechung des Bundesgerichtshofes über die Amtshaftung der Gemeinde ausgelösten Zurückhaltung, Industriegelände im Rahmen der Bauleitplanung für weitere Nutzungen freizugeben, entgegenwirken.

**1035.** Um der Entstehung von neuen Altlasten im Bereich der gewerblichen Wirtschaft und der öffentlichen Einrichtungen langfristig und erfolgreich entgegenzuwirken, sollten umweltgefährdende Verunreinigungen der Böden und des Untergrundes im Ursprung vermieden werden. Hierzu sind stoff- und verfahrensspezifische Umstellungen, zum Beispiel die Verminderung des Einsatzes umweltgefährdender Stoffe, erforderlich. Die Tendenz einer zunehmenden Zurückhaltung der Abnehmer gegenüber Gefahrstoffen oder umweltgefährdenden Stoffen sollte in aller



Breite unterstützt werden. Diese Zurückhaltung wird die Entwicklung umweltverträglicher Stoffe fördern.

**1036.** An erster Stelle muß die Vermeidung von Leckagen bei Herstellung, Lagerung, Transport und Weiterverarbeitung umweltgefährdender Stoffe stehen. Sie stellt an die Konstruktion technischer Einrichtungen und Geräte, deren Wartung und besonders deren Reparatur höchste Anforderungen. Nicht nur Schutzmaßnahmen, sondern auch ständige Aufklärung und vorbeugende Inspektionen tragen dazu bei, Fehleinschätzungen und Leichtfertigkeiten beim Umgang mit umweltgefährdenden Stoffen wirksam zu begegnen. Hier ist die Eigenverantwortung der Betreiber besonders gefordert.

Solche versteckten, geringen oder über längere Zeiträume andauernden Verunreinigungen der Böden durch Undichtigkeiten oder Kleckerschäden wurden bisher nicht als regelungsbedürftig angesehen (SCHRADER, 1988, S. 61). Der Rat sieht auch Möglichkeiten, daß aufgrund des zu erwartenden neuen Umwelthaftungsrechts diesen Allmählichkeitsschäden, die auch zu Altlasten führen können, innerbetrieblich eine größere Aufmerksamkeit geschenkt wird.

**1037.** Zu den konkreten Bodenschutzmaßnahmen gehört auch die Erstellung von Bodenkarten, Bodenkatastern und Bodeninformationssystemen von Standorten und deren Umgebung. Hierbei sind die neueren Forschungsarbeiten zur Kartierung von Böden hilfreich (ABEL-LORENZ und BRANDT, 1989; BLUME et al., 1989). Darüber hinaus sollte erwogen werden, ob zur Beurteilung der Böden am Standort und als erster Schritt von Maßnahmen zur Überwachung und Erhaltung der Bodenqualität eine repräsentative Zahl von Bodenproben genommen werden soll. Die Proben könnten in einer Bodenprobenbank, die dem Standard der Umweltprobenbank entspricht, zuverlässig auf lange Zeit verwahrt werden. Auf diese Art könnte der Grad einer späteren möglichen Verunreinigung, zum Beispiel durch Inbetriebnahme einer neuen Anlage, und die Verantwortlichkeit durch vergleichende Untersuchungen der alten und neuen Bodenproben mit großer Sicherheit festgestellt werden.

**1038.** Der Rat sieht auch bei in Betrieb befindlichen undichten Leitungs- und Kanalisationssystemen ein Gefährdungspotential für Böden, Untergrund und Grundwasser. Um das Ausmaß der Undichtigkeiten und die damit verbundenen Möglichkeiten der Um-

weltbelastungen schnell erkennen zu können, sollte eine Kanaldokumentation erstellt werden. Der in dieser Dokumentation erfaßte Zustand der Systeme kann dann als Grundlage für entsprechende Maßnahmen der Sanierung oder Überwachung dienen.

### 8.2.3 Schlußbetrachtung

**1039.** In den vorhergehenden Abschnitten sind die Grenzen und Möglichkeiten zur Vermeidung von zukünftigen, das heißt neuen Altlasten dargestellt. Nur durch eine konsequente Politik der Vorsorge mit vielschichtigen und differenzierten Maßnahmen wird es möglich sein, die Zahl neuentstehender Altlasten in Zukunft gering zu halten und die Altlasten selbst beherrschbarer werden zu lassen. Es sind auch schon entsprechende Maßnahmen auf den Weg gebracht, um derzeit in Betrieb befindliche Anlagen der Abfallentsorgung und Anlagen mit ihren Betriebsflächen der gewerblichen Wirtschaft und der öffentlichen Einrichtungen in Zukunft nicht zu Altlasten werden zu lassen. Besondere Beachtung gilt aber auch den Belastungen aus undichten Kanalisationen.

Um dem Entstehen zukünftiger Altlasten entgegenzuwirken, muß der Schwerpunkt der Vorsorge im Schutz der Böden, des Untergrundes und des Grundwassers vor Schadstoffeinträgen liegen. Hierdurch werden die Träger-, Regelungs- und Produktionsfunktionen der Böden und des Untergrundes langfristig gesichert und eine Minderung des Gefährdungspotentials für das Grundwasser durch verunreinigte Flächen erreicht.

Der Rat schlägt vor, ein umfassendes, in sich abgestimmtes Konzept zu erstellen, das alle derzeitigen und noch zu ergreifenden Maßnahmen sowie die rechtlichen, organisatorischen und technischen Notwendigkeiten zusammenfaßt. Ein solches Konzept sollte auch den Nutzen dieser Vorsorge deutlich machen und so gestaltet werden, daß für alle an Altlastenproblemen beteiligten sowie interessierten gesellschaftlichen Gruppen die Vermeidungsstrategie überschaubar und für den jeweiligen Verantwortungsbereich deutlich wird. Der Rat ist der Auffassung, daß ein solches Konzept seine kurzfristigen Wirkungen durch umfassende Schutzmaßnahmen, seine langfristigen Wirkungen aber nur in Verbindung mit einer schnelleren Entwicklung der stoff- und prozeßinduzierten Schadstoffverminderung erreichen kann.

## Anhang

**Erlaß über die Einrichtung eines Rates von Sachverständigen für Umweltfragen bei dem Bundesministerium des Innern**

Vom 28. Dezember 1971

(GMBI. 1972, Nr. 3, Seite 27)

## § 1

Zur periodischen Begutachtung der Umweltsituation und der Umweltbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland und zur Erleichterung der Urteilsbildung bei allen umweltpolitisch verantwortlichen Instanzen sowie in der Öffentlichkeit wird im Einvernehmen mit den im Kabinettausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesministern ein Rat von Sachverständigen für Umweltfragen gebildet.

## § 2

(1) Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen soll die jeweilige Situation der Umwelt und deren Entwicklungstendenzen darstellen sowie Fehlentwicklungen und Möglichkeiten zu deren Vermeidung oder zu deren Beseitigung aufzeigen.

(2) Der Bundesminister des Innern kann im Einvernehmen mit den im Kabinettausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesministern Gutachten zu bestimmten Themen erbitten.

## § 3

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen ist nur an den durch diesen Erlaß begründeten Auftrag gebunden und in seiner Tätigkeit unabhängig.

## § 4

(1) Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen besteht aus 12 Mitgliedern.

(2) Die Mitglieder sollen die Hauptgebiete des Umweltschutzes repräsentieren.

(3) Die Mitglieder des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen dürfen weder der Regierung oder einer gesetzgebenden Körperschaft des Bundes oder eines Landes noch dem öffentlichen Dienst des Bundes, eines Landes oder einer sonstigen juristischen Person des öffentlichen Rechts, es sei denn als Hochschullehrer oder als Mitarbeiter eines wissenschaftlichen Instituts angehören. Sie dürfen ferner nicht Repräsentant eines Wirtschaftsverbandes oder einer Organisation der Arbeitgeber oder Arbeitnehmer sein oder zu diesen in einem ständigen Dienst- oder Geschäftsbesorungsverhältnis stehen; sie dürfen auch nicht während des letzten Jahres vor der Berufung zum Mitglied des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen eine derartige Stellung innegehabt haben.

## § 5

Die Mitglieder des Rates werden vom Bundesminister des Innern im Einvernehmen mit den im Kabinettausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesministern für die Dauer von drei Jahren berufen. Die Mitgliedschaft ist auf die Person bezogen. Wiederberufung ist höchstens zweimal möglich. Die Mitglieder können jederzeit schriftlich dem Bundesminister des Innern gegenüber ihr Ausscheiden aus dem Rat erklären.

## § 6

(1) Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen wählt in geheimer Wahl aus seiner Mitte für die Dauer von drei Jahren einen Vorsitzenden und einen stellvertretenden Vorsitzenden mit der Mehrheit der Mitglieder. Einmalige Wiederwahl ist möglich.

(2) Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen gibt sich eine Geschäftsordnung. Sie bedarf der Genehmigung des Bundesministers des Innern im Einvernehmen mit den im Kabinettausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesministern.

## § 7

(1) Der Vorsitzende beruft schriftlich den Rat zu Sitzungen ein; er teilt dabei die Tagesordnung mit. Den Wünschen der im Kabinettausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesminister auf Beratung bestimmter Themen ist Rechnung zu tragen.

(2) Auf Wunsch des Bundesministers des Innern hat der Vorsitzende den Rat einzuberufen.

(3) Die Beratungen sind nicht öffentlich.

## § 8

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen kann im Einvernehmen mit dem Bundesminister des Innern zu einzelnen Beratungsthemen andere Sachverständige hinzuziehen.

## § 9

Die im Kabinettausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesminister sind von den Sitzungen des Rates und den Tagesordnungen zu unterrichten; sie und ihre Beauftragten können jederzeit an den Sitzungen des Rates teilnehmen. Auf Verlangen ist ihnen das Wort zu erteilen.

## § 10

(1) Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen legt die Ergebnisse seiner Beratungen in schriftlichen Berichten nieder, die er über den Bundesminister des Innern den im Kabinettausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesministern zuleitet.

(2) Wird eine einheitliche Auffassung nicht erzielt, so sollen in dem schriftlichen Bericht die unterschiedlichen Meinungen dargelegt werden.

(3) Die schriftlichen Berichte werden grundsätzlich veröffentlicht. Den Zeitpunkt der Veröffentlichung bestimmt der Bundesminister des Innern.

## § 11

Die Mitglieder des Rates und die von ihm nach § 8 hinzugezogenen Sachverständigen sind verpflichtet, über die Beratungen und über den Inhalt der dem Rat

gegebenen Informationen, soweit diese ihrer Natur und Bedeutung nach geheimzuhalten sind, Verschwiegenheit zu bewahren.

## § 12

Die Mitglieder des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen erhalten pauschale Entschädigungen sowie Ersatz ihrer Reisekosten. Diese werden vom Bundesminister des Innern im Einvernehmen mit dem Bundesminister für Wirtschaft und Finanzen festgelegt.

## § 13

Das Statistische Bundesamt nimmt die Aufgaben einer Geschäftsstelle des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen wahr.

Bonn, den 28. Dezember 1971

Der Bundesminister des Innern  
Genscher

## Literaturverzeichnis

**1 Ursachen, Abgrenzung und Dimension des Altlastenproblems**

- BMU/UBA (1988): Workshop — Remedial Action at Abandoned Waste Sites — Altlasten: Untersuchung, Bewertung und Sanierungstechnologien, 13./14. Oktober 1988. — Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Umweltbundesamt.
- BÖHM, W. (1989): Altlasten in Berlin. — Umwelttechnik Berlin, Sonderh. 3/89, S. 9—10.
- BREUER, R. (1986): Altlasten als Bewährungsprobe der polizeilichen Gefahrenabwehr und des Umweltschutzes. — Juristische Schulung 26 (5), 359—364.
- BT-Drucksache 11/2725: Große Anfrage „Altlasten“, 01. 08. 88.
- BT-Drucksache 11/4104: Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage „Altlasten“, 01. 03. 89. — In Verbindung mit BT-Drucksache 11/4716: Berichterstattung, 07. 06. 89.
- CLAUS, F. (1988 a): Sanierungsplanung: Grundsätze und Verfahren zur Erarbeitung von Sanierungszielen unter Mitwirkung der Bürger. — In: ROSENKRANZ, D. et al. (Hrsg.): Bodenschutz — Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. — Berlin: E. Schmidt. — 1. Lfg. XI/88, Tz. 6420, S. 1—21.
- CLAUS, F. (1988 b): Neue Industriedenkmäler — Altlasten. — In: Umweltbilanz: Die ökologische Lage der Nation. — Hamburg: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND).
- COHEN, S. (1981): Superfund Community Relations Policy. — EPA Journal Vol. 7, Nr. 6, S. 29.
- CONRAD, P. U. (1988): Ausmaß der Altlastenproblematik und Situation in Schleswig-Holstein. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 1.4.2.11, S. 1—10.
- DANNEMANN, H. (1988): Sanierung des ehemaligen Zinkhütten-Geländes Germaniastraße/Zinkstraße, Essen-Borbeck. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 931—944.
- DE BORST, B. (1988): Soziales Umfeld und Akzeptanz bei Bodensanierungen in den Niederlanden. — In: KOMPA, R., FEHLAU, K.-P. (Hrsg.): Altlasten und kontaminierte Standorte. — Köln: Verl. TÜV Rheinland. — S. 329—338.
- DE BRUIJN, P. J., DE WALLE, F. B. (1988): Bodenstandards für Bodenschutz und Sanierungen in den Niederlanden. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 351—365.
- DEGRO, W., SOBICH, P.-R. (1988): Ausmaß der Altlastenproblematik und Situation im Saarland. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 1.4.2.10, S. 1—5.
- DELMHORST, B. (1986): Bodenschutz und Altlasten. — Wasser und Boden 38 (4), 162—164.
- DELMHORST, B. (1989): Bodenschutz als Querschnittsaufgabe in einem künftigen Regelwerk Boden. — Bonn: Verband unabhängig beratender Ingenieurfirmen. — VUBI-Fachgespräch Nr. 1: Der Boden im Spannungsfeld des Umweltschutzes. S. 20—25.
- Der Niedersächsische Umweltminister (1989): Expertengespräch Rüstungsalten 25./26. April 1989 in Hannover. — Hannover: Niedersächsisches Umweltministerium.
- DÖPPERT, M. (1987): Sanierung der Schlammdeponie Brake. — wlb „Wasser, Luft und Betrieb“ 7—8/87, S. 38—43.
- DOWD, R. M. (1988): The Superfund Impasse. — Environmental Science & Technology 22 (8), 877.
- EBEL, W., WEINGRAN, C. (1988): Erfahrungen, Probleme und Lösungsmöglichkeiten bei der Wiedernutzung kontaminierter Industriestandorte aus der Sicht der LEG NW. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 507—516.
- EBERLE, I. (1989): Der Begriff Altlasten: Genese, Eingrenzung und Anwendungspraxis in den Bundesländern. — Zeitschrift für angewandte Umweltforschung 2 (1), 15—24.
- EIKMANN, T. (1987): Gesundheitsrisiken durch Altlasten. — Umwelt (VDI) 7—8/87, S. 423—425.
- FIEBIG, K.-H., OHLIGSCHLÄGER, G. (1989): Altlasten in den Kommunen. — In: KOMPA, R., FEHLAU, K.-P. (Hrsg.): Altlasten '89 — Flächenreaktivierung, Sanierungsziele, Arbeitsschutz, Sanierungsmanagement. — Köln: Verl. TÜV Rheinland. — S. 29—42.
- FRANZIUS, V. (1986): Sanierung kontaminierter Standorte — Vorgehensweise zur Bewältigung der Altlastenproblematik in der Bundesrepublik Deutschland. — Wasser und Boden 38 (4), 169—173.
- FRANZIUS, V. (1989 a): Stand und Entwicklung von Bodensanierungsverfahren. — Umwelttechnik Berlin, Sonderh. 3/89, S. 5—6.

- FRANZIUS, V. (1989b): Neuregelung des „Superfund“-Gesetzes zur Altlastensanierung in den USA. — In: JESSBERGER, H. L. (Hrsg.): Erkundung und Sanierung von Altlasten. — Rotterdam: A. A. Balkema. S. 29–36.
- GIESELER, G. (1987): Altlasten in der EG: Länderübersicht Bundesrepublik Deutschland. — Friedrichshafen: Dornier-System GmbH. — FKZ: 14 60 438. — Im Auftrag der EG und des BMFT/UBA.
- Interministerielle Arbeitsgruppe „Rüstungsaltposten“ des Landes Niedersachsen (1988): Bestandsaufnahme und Handlungskonzept für Rüstungsaltposten in Niedersachsen. — Hannover: Landesregierung Niedersachsen.
- JANIS, J. R. (1981): The Public und Superfund. — EPA Journal Vol. 7, Nr. 6, S. 14–16.
- JAPCA (1989): EPA issues latest Superfund status report. — The Journal of the Air and Waste Management Association 39 (7), 909–910 (eigener Bericht).
- KARPE, H.-J., ZIEGELER, H.-J. (1988): Planerische Fragestellungen beim Einsatz von Sanierungstechnologien. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 621–631.
- KINNER, U. H., KÖTTER, L., NICLAUSS, M. (1986): Branchentypische Inventarisierung von Bodenkontaminationen — ein erster Schritt zur Gefährdungsabschätzung für ehemalige Betriebsgelände. — Berlin: Umweltbundesamt. — Texte 31/86.
- KLOEPFER, M. (1987): Die Verantwortlichkeit für Altlasten im öffentlichen Recht: Dargestellt am Problem der Deponiesanierung. — Natur + Recht 9 (1), 7–21.
- KOEPKE, J. E. (1987): Zukunft der US-Produkthaftpflicht: Steigende Haftpflichtrisiken der Industrie. — Recht der Internationalen Wirtschaft (RIW) 33 (7), 503–506.
- LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall/Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“) (1989): Erfassung, Gefahrenbeurteilung und Sanierung von Altlasten — Informationsschrift. — Entwurf, Stand 27. Februar 1989.
- Landtags-Drucksache des Landes Baden-Württemberg 10/831: Konzeption zur Behandlung von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten in Baden-Württemberg (Stufenplan). — September 1988.
- LIERSCH, K.-M. (1989): Rüstungsaltposten in Niedersachsen: Bestandsaufnahme, Handlungskonzept. — In: Der Niedersächsische Umweltminister: Expertengespräch Rüstungsaltposten 25./26. April 1989 in Hannover. — Hannover: Niedersächsisches Umweltministerium. — 9 S.
- LORIG, M. (1988): Ausmaß der Altlastenproblematik und Situation in Rheinland-Pfalz. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 1.4.2.9, S. 1–9.
- LOSCH, S., NAKE, R. (1988): Direkte und indirekte Flächenansprüche der technischen Infrastruktur als Problem des Bodenschutzes. — In: Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung. — Seminare, Symposien, Arbeitspapiere. Bd. 34, S. 1–40.
- LÜDEKE, H. (1987): Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen auf der Sonderabfalldeponie Münchehagen. — Müll und Abfall 19 (6), 240–248.
- MÜCKE, K. (1988): Ausmaß der Altlastenproblematik und Situation in Niedersachsen. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 1.4.2.7, S. 1–7.
- MWV (1988): Mineralölzahlen. — Hamburg: Mineralölwirtschaftsverband.
- NOEKE, J., TIMM, J. (1989): Sonderabfall, Altlasten und Öffentlichkeit. — AbfallwirtschaftsJournal 1 (3), 24–29.
- SANNING, D. E., SMITH, M. A., BELL, R. M. (1988): NATO/CCMS Pilotstudie zur Demonstration von Sanierungstechniken für kontaminiertes Gelände und Grundwasser — Maßnahmen 1988. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 2, S. 1611–1622.
- SCHMIDT-SALZER, J. (1986): Umwelt-Altlasten und Haftpflichtversicherung. Oder: Das übersehene Risiko. — Betriebs-Berater 41 (10), 605–612.
- SCHNURER, H. (1988): Altlasten in der Bundesrepublik Deutschland. — Gastreferat beim 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung, 11.–15. April 1988, Hamburg (Vortragsmanuskri.).
- SCHULDT, M. (1987): Wie gefährlich sind Altlasten im Boden? — Umwelt (VDI) 5/87, S. 295–298.
- SCHULDT, M. (1988): Ausmaß der Altlastenproblematik und Situation in Hamburg. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, 1. Lieferung, 12/88, Kap. 1.4.2.5, S. 1–6.
- SRU (1974): Umweltgutachten 1974. — Stuttgart: Kohlhammer.
- SRU (1978): Umweltgutachten 1978. — Stuttgart: Kohlhammer.
- SRU (1983): Waldschäden und Luftverunreinigungen (Sondergutachten). — Stuttgart: Kohlhammer.
- SRU (1985): Umweltprobleme der Landwirtschaft (Sondergutachten). — Stuttgart: Kohlhammer.
- SRU (1987): Umweltgutachten 1987. — Stuttgart: Kohlhammer (erschienen 1988).
- Stadt Essen (1988): Flächen-Recycling — Essen. — 2. Fassung vom September 1988. — Essen: Stadt Essen, Amt für Wirtschaftsförderung. S. 295–298.
- STIEF, K. (1986): Technische Konzepte zur Ausbildung von Deponien sowie zur Sanierung von Altlasten in Abhängigkeit des Gefährdungspotentials. — In:

Technische, ökologische und juristische Risiken bei der Planung und Bauausführung von Deponien und bei der Sanierung von Altlasten. – Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb, H. 18, S. 34–48.

STRIEGNITZ, M. (Hrsg.) (1987): Sanierung von Altlasten, Deponien und anderen kontaminierten Standorten: Erfahrungen und Problemstellungen. – Rehbürg-Loccum: Evangelische Akademie Loccum. – Loccumer Protokolle 3/86 (erschienen 1987).

TIEDGE, W. (1988): Ausmaß der Altlastenproblematik und Situation in Hessen. – In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. – Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. – Grundwerk, Kap. 1.4.2.6, S. 1–7.

UBA (1983): Stand der Altlastenproblematik in der Bundesrepublik Deutschland. – Berlin: Umweltbundesamt. – Materialien zum 2. Arbeitsgespräch „Sanierung kontaminierter Standorte“ am 12./13. 4. 1983 in Berlin; auch: zur Sitzung der OECD-WMPG am 20.–22. 4. 1983 in Paris.

UBA (1984): Daten zur Umwelt 1984. – Berlin: Umweltbundesamt (Selbstverl.).

UBA (1986/87): Daten zur Umwelt 1986/87. – Umweltbundesamt (Hrsg.). – Berlin: E. Schmidt.

UBA (1988/89): Daten zur Umwelt 1988/89. – Umweltbundesamt (Hrsg.). – Berlin: E. Schmidt.

Umweltbehörde Hamburg (Hrsg.) (1988): Sanierung der Deponie Georgswerder. – Freie und Hansestadt Hamburg. – 6. Bericht der Reihe „Überwachung und Sanierung der Deponie Georgswerder“.

Umweltbericht (1976): Fortschreibung des Umweltprogramms der Bundesregierung vom 14. Juli 1976. – Stuttgart: Kohlhammer.

Umweltprogramm der Bundesregierung (1971): BT-Drucksache VI/2710.

UWD (1988): F + E Altlastensanierung: Förderungen durch das BMFT. – Umweltschutz-Dienst (UWD) 18 (19/20), 30.

VAN VEEN, F., VAN DER GALIËN, W. (1988): Altlastensanierung in den Niederlanden. – In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. – Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. – Grundwerk, Kap. 1.4.3.2, S. 1–11.

VCI (1988): Umwelt-Leitlinien. – Frankfurt: Verband der Chemischen Industrie.

VOGEL, W. (1986): Probleme mit überplanten Altlasten: Erörterung bau-, planungs- und schadensersatzrechtlicher Probleme an einem Fallbeispiel aus einer westdeutschen Großstadt. – In: Technische, ökologische und juristische Risiken bei der Planung und Bauausführung von Deponien und bei der Sanierung von Altlasten. – Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb, H. 18, S. 169–174.

WEBER, P., WIEGANDT, C.-C. (1988): Probleme der Wiedernutzung einer Altlastenfläche – eine Fallstudie. – In: Abfall und Schadstoffbelastung: Ein interdisziplinäres Kolloquium. – Münster: Westfälische Wilhelms-Universität. – Dokumentationsband, S. 45–48.

WICHERT, H.-W. (1989): Erfahrungen aus der Altlasten-Beratungs-Vermittlung von Industrie und Gewerbe. – In: KEUNE, H., FOUQUET, G. (Hrsg.): Altlasten: Altdeponien – kontaminierte Standorte. – Ehningen: expert-Verl. – Kontakt und Studium. Bd. 269, S. 169–180.

WILLE, B. (1988): Aus der Praxis der Stadt Düsseldorf. – In: Altlasten – Probleme – Aufgaben – Lösungsansätze. – Bonn: Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung. S. 23–30.

ZESCHMAR-LAHL, B. (1988): Altlasten: Erfassung, Untersuchung, Sanierung, Überwachung. – Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit. – Hessen-Information.

ZIRM, K., SANDAUER, C. (1988): Altlastensanierung in Österreich. – In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. – Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. – Grundwerk, Kap. 1.4.3.5, S. 1–6.

ZIRM, K., SANDAUER, C. (1988): Altlastensanierung in Österreich. – In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. – Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. – Grundwerk, Kap. 1.4.3.5, S. 1–6.

## 2 Grundlagen zur Beurteilung der Gefährdungen durch Altablagerungen und Altstandorte

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) (Ed.) (1988): Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1988–1989. – Cincinnati, USA: ACGIH.

ALTENKIRCH, H., WAGNER, H. M., STOLTENBURG, G., SPENCER, P. S. (1982): Nervous system responses of rats to subchronic inhalation of n-hexane and n-hexane + methyl-ethylketone mixtures. – Journal of Neurological Sciences 57, 209–219.

BATTERMANN, G. (1988): Praktische Erfahrungen bei hydraulischen Sanierungsmaßnahmen. – In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. – Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. – S. 1021–1042.

BEALL, M. L., NASH, R. G. (1972): Insecticide depth in soil: Effect on soybean uptake in the greenhouse. – Journal of Environmental Quality 1 (3), 283–288.

BECK, H., ECKART, K., MATHAR, W., WITKOWSKI, R. (1989): PCDD and PCDF body burdens from food intake in the Federal Republic of Germany. – Chemosphere 18, 417–424.

BELL, R. M., SFERRA, P. R., RYAN, J. R., VITELLO, M. P. (1988): Untersuchungen über die Aufnahme organischer Schadstoffe durch Pflanzen. – In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. – 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. – Bd. 1, S. 463–470.

BERNHARDT, H., SCHMIDT, W.-D. (1988): Zielkriterien und Bewertung des Gewässerzustandes und der zustandsverändernden Eingriffe für den Bereich der Wasserversorgung. – Stuttgart: Kohlhammer. – Materialien zur Umweltforschung. 14.

- BG (Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften/Fachausschuß „Tiefbau“) (1989): Sicherheitsregeln für Bauarbeiten in kontaminierten Bereichen. — Entwurf: Juli 1989. — Sankt Augustin. — Bestell-Nr.: ZH 1/183.
- BGA (Bundesgesundheitsamt) (1986a): Richtwerte '86 für Blei, Cadmium und Quecksilber in und auf Lebensmitteln. — Bundesgesundheitsblatt 29 (1), 22—23.
- BGA (Bundesgesundheitsamt) (1986b): Richtwerte '86 für Nitrat in Gemüse. — Bundesgesundheitsblatt 29 (5), 167.
- BINDER, S., SOKAL, D., MAUGHAN, D. (1986): Estimating soil ingestion: The use of tracer elements in estimating the amount of soil ingested by young children. — Archives of Environmental Health 41 (6), 341—345.
- BRAUCH, H.-J., KÜHN, W., WERNER, P. (1987): Vinylchlorid in kontaminierten Gewässern. — Vom Wasser 68, 23—32.
- BRUCKMANN, P., MÜLDER, W. (1982): Der Gehalt an organischen Spurenstoffen in Deponiegasen. — Müll und Abfall 14 (12), 339—346.
- BRUNEKREEF, B., NOY, D., BIERSTEKER, K., BOLEIJ, J. (1983): Blood lead levels of Dutch children and their relationship to lead in the environment. — Journal of the Air Pollution Control Association 33, 872—876.
- BUA (Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe/Gesellschaft Deutscher Chemiker) (1986): Umweltrelevante Alte Stoffe — Auswahlkriterien und Stoffliste. — Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft.
- BUA (Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe/Gesellschaft Deutscher Chemiker) (1988): Umweltrelevante Alte Stoffe II — Auswahlkriterien und 2. Stoffliste. — Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft.
- BUSH, B., SHANE, L. A., WILSON, L. R., BARNARD, E. L., BARNES, D. (1986): Uptake of polychlorobiphenyl congeners by purple loosestrife (*Lythrum salicaria*) on the banks of the Hudson river. — Archives of Environmental Contamination and Toxicology 15, 285—290.
- CLAUSING, P., BRUNEKREEF, B., VAN WIJNEN, J. H. (1987): A method for estimating soil ingestion by children. — International Archives of Occupational and Environmental Health 59, 73—82.
- COCUCCI, S., DI GEROLAMO, F., VERDERIO, A., CAVALLARO, A., COLLI, M. G., GORNI, A., INVERNIZZI, G., LUCIANI, L. (1979): Absorption and translocation of tetrachlorodibenzo-p-dioxine by plants from polluted soil. — Experientia 35 (4), 482—484.
- GRÖSSMANN, G., SEIFERT, D. (1986): Zur Belastung von Böden und Nahrungspflanzen im Bereich der Siedlung Bielefeld-Hagenkamp. — Gutachterliche Stellungnahme im Auftrag der Stadt Bielefeld.
- DAMRATH, D., KOBUS, D., SCHÖTTLER, U., ZIPFEL, K. (1979): Wasserinhaltsstoffe im Grundwasser — Reaktionen, Transportvorgänge und deren Simulation. — Berlin: E. Schmidt. — UBA Berichte 4/79.
- DANNEMAIER, P. (1978): Feststellung von Gasschäden und Abwehrmaßnahmen. — In: UBA (Hrsg.): Gas in Abfallablagerungen. — Berlin: E. Schmidt. — UBA Materialien 7/78, S. 27—31.
- DARIMONT, T., LÜHR, H. P. (1985): Klassifikation des Migrationsverhaltens wassergefährdender Stoffe. — Wasser und Boden 12, 603—605.
- DE BRUIJN, P. J., DE WALLE, F. B. (1988): Bodenstandards für Bodenschutz und Sanierung in den Niederlanden. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 351—365.
- Department of Health Services, Toxic Substances Control Division (1989): Die Entwicklung von Handlungsschwellenwerten bei Bodenkontakt. Ein Szenarium für die Exposition von Menschen durch Boden in Wohngebieten. — Endkonzept, erstellt vom Department of Health Services, Toxic Substances Division, California, USA (Deutsche Übersetzung im Auftrag des UBA). — Berlin: UBA.
- DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) (Hrsg.) (1988a): Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. — Bd. 2: Analysen in biologischem Material. — Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft. — Lose-Blatt-Sammlung, Stand 1988.
- DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) (Hrsg.) (1988b): Polychlorierte Biphenyle: Bestandsaufnahme über Analytik, Vorkommen, Kinetik und Toxikologie. — Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft. — Mitteilung XIII der Senatskommission zur Prüfung von Rückständen in Lebensmitteln.
- DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) (Hrsg.) (1989): Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte 1989. — Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft. — Mitteilung XXV der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe.
- DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung) (1976): Ernährungsbericht 1976. — Frankfurt/M.: Selbstverl.
- DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung) (1980): Ernährungsbericht 1980. — Frankfurt/M.: Selbstverl.
- DIETER, H. H. (1989): Toxikologische Aspekte aus Sicht der Trinkwasserverordnung. — In: Der Niedersächsische Umweltminister: Expertengespräch Rüstungsalasten 25./26. April 1989 in Hannover. — Hannover: Niedersächsisches Umweltministerium.
- DORSTEWITZ, U. (1987): Methodik eines Handlungsmodells zur Abschätzung und Abwehr der Gefahren aus den Altlasten einer Region. — In: Stadtverband Saarbrücken (Hrsg.): Bodenschutz — Altlasten. — S. 10.
- DRESCH, W., EINBRODT, H. J., SCHRÖDER, A. (1976): Zur Beurteilung einer möglichen Gesundheitsgefährdung durch bleihaltige Sportplatzbeläge. — Sportarzt und Sportmedizin 76, 216—219.
- DUYNISVELD, W. H., STREBEL, O. (1983): Entwicklung von Simulationsmodellen für den Transport von gelösten Stoffen in wasserungesättigten Böden und

- Lockersedimenten. – Berlin: Umweltbundesamt. – Texte 17/83.
- DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.) (1975): Eignung von Oberflächenwasser als Rohstoff für die Trinkwasserversorgung. – Arbeitsblatt W 151. – Frankfurt: ZfGW-Verl.
- EHRIG, H. J. (1988): Sickerwasserentstehung in Altlasten und ihre Problematik. – In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. – Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. – 1. Lieferung, Kap. 1.2.2.
- EIKMANN, T., MICHELS, S., KRIEGER, T., EINBRODT, H. J. (1988): Gesundheitsrisiken durch Altlasten: Gefährdungspfade – epidemiologische Untersuchungen. – In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. – Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. – S. 323–334.
- EINBRODT, H. J., RIEDEL, F., EIKMANN, T., WALLISER, L., JAKOBI, N. (1985): Altlasten und Umweltgefährdung – am Beispiel des ehemaligen Erzbergbaus im Raum Mechnich (Eifel). – Wissenschaft und Umwelt H. 2, S. 149–157.
- EPA (U. S. Environmental Protection Agency) (1986): Superfund Public Health Evaluation Manual. – Washington.
- EWERS, U. (1989): Umweltmedizinisch-toxikologische Beurteilung von Gesundheitsrisiken im Zusammenhang mit Altlasten. – In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Untersuchung, Beurteilung und Sanierung industrieller Altlasten. – VDI-Seminar am 13./14. Juni 1989 in Düsseldorf. – Düsseldorf: VDI-Bildungswerk. – o. Zähl./BW 8363.
- EWERS, U., BROCKHAUS, A. (1987): Die biologische Überwachung der Schadstoffbelastung des Menschen und ihre Bedeutung bei der Beurteilung umwelttoxikologischer Einflüsse. – Öffentliches Gesundheitswesen 49 (12), 639–647.
- FEHLAU, K.-P. (1985): Gefährdungsabschätzung von Altablagerungen und Altstandorten in Nordrhein-Westfalen. – In: BMFT/UBA (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte – Dokumentation einer Fachtagung. – Bonn/Berlin. – S. 165–172.
- FRIES, G. F. (1987): Assessment of potential residues in foods derived from animals exposed to TCDD-contaminated soil. – Chemosphere 16 (8/9), 2123–2128.
- GASSNER, E. (1981): Naturschutz als Gefahrenabwehr. – Natur + Recht 3 (1), 6–11.
- GELDNER, P. (1983): Anwendung mathematischer Modelle im Zusammenhang mit Grundwassersanierungen im Bereich von Altablagerungen. – In: BMFT/UBA (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte – Dokumentation eines Arbeitsgesprächs. – Bonn/Berlin. – S. 97–109.
- GEYER, H., SCHEUNERT, I., FILSER, J., KORTE, F. (1986): Bioconcentration potential (BCP) of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (2,3,7,8-TCDD) in terrestrial organisms including humans. – Chemosphere 15 (9–12), 1495–1502.
- GEYER, H., SCHEUNERT, I., KORTE, F. (1987): Bioakkumulation von 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) und anderer polychlorierter Dibenzop-dioxine (PCDDs) in aquatischen und terrestrischen Organismen sowie im Menschen. – In: Verein Deutscher Ingenieure – Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.): Dioxin – eine technische, analytische, ökologische und toxikologische Herausforderung. – Düsseldorf: VDI-Verl. – VDI-Berichte 634, S. 317–347.
- GREIM, H., SUMMER, K.-H. (1988): Gefährdungsabschätzung Altlast Theodor-Fliedner-Straße. – Gutachten für die Stadt Bergisch-Gladbach.
- HAAS, R., von LÖW, E. (1986): Grundwasserbelastung durch eine Altlast: Die Folgen einer ehemaligen Sprengstoffproduktion für die heutige Trinkwassergewinnung. – Forum Städte-Hygiene 37, 33–43.
- HAAS, R., PREUSS, J., von LÖW, E., STORK, G. (1989): Sprengstoffrückstände im Boden und Grundwasser auf dem Gebiet der ehemaligen Sprengstofffabriken in Stadtallendorf/Hessen. – In: Der Niedersächsische Umweltminister: Expertengespräch Rüstungsaltslasten 25./26. April 1989 in Hannover. – Hannover: Niedersächsisches Umweltministerium.
- HECHT, R., BODE, M. (1985): Das Hamburger Bewertungsverfahren zur Abschätzung des Gefährdungspotentials für das Grundwasser. – In: BMFT/UBA (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte – Dokumentation einer Fachtagung. – Bonn/Berlin. – S. 123–156.
- JANSON, O. (1989): Charakterisierung von Deponiegasen anhand ausgewählter Spurenstoffe unter besonderer Berücksichtigung der Schwefelverbindungen. – Müll und Abfall 21 (4), 198–208.
- JONES, K. C., STRATFORD, J. A., WATERHOUSE, K. S., VOGT, N. B. (1989): Organic contaminants in Welsh soils: Polynuclear aromatic hydrocarbons. – Environmental Science & Technology 23 (5), 540–550.
- KERNDORFF, H., ARNETH, J.-D., SCHLEYER, R. (in Vorbereitung): Entwicklung von Methoden und Maßstäben zur standardisierten Bewertung von Altablagerungsstandorten und kontaminierten Betriebsgeländen insbesondere hinsichtlich ihrer Grundwasserverunreinigungspotentiale. – Abschlußbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben FKZ 144 046 43.
- KIMBROUGH, R. D., FALK, H., STEHR, P., FRIES, G. (1984): Health implications of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxin (TCDD) contamination of residual soil. – Journal of Toxicology and Environmental Health 14, 47–93.
- KLAASSEN, C. (1986): Principles of toxicology. – In: KLAASSEN, C. et al. (Eds.): Casarett and Doull's Toxicology. – 3rd Edition. – New York: Macmillan Publishing Company. – S. 17.
- KLEIN, W., KÖRDEL, W., POLSTER, J., KLEIN, M. (1988): Entwicklung eines Modells zur Abschätzung des Verbleibs von Umweltchemikalien – Böden. – UBA Forschungsbericht 10602065.
- KLOKE, A. (1980): Richtwerte '80 – Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente



- in Kulturböden. – Mitteilungen des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA). – Heft 1–3, S. 9–11.
- KLOKE, A. (1988 a): Zur Ermittlung von nutzungsbezogenen, höchsten akzeptierbaren Schadstoffgehalten in innerstädtischen und stadtnahen Böden. – In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. – 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. – Bd. 1, S. 291–303.
- KLOKE, A. (1988 b): Gefahren durch Schwermetalle für Bodennutzung und Nahrungskette. – In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung. – Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. – 1. Lieferung, Kap. 1.3.3.1.
- KRISOR, K. (1987): Neue Arbeiten zur Definition der schwarzen Liste wassergefährdender Stoffe. – Umwelt (VDI) 4/87, S. 234–235.
- LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) unter Mitwirkung des UBA (1983): Deponiegas – Informationsschrift. – In: HÖSEL, G. et al. (Hrsg.): Müll-Handbuch. – Berlin: E. Schmidt. – Kennzahl 4720, Lfg. 1/84.
- LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall/Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“) (1989): Erfassung, Gefahrenbeurteilung und Sanierung von Altlasten – Informationsschrift. – Entwurf, Stand 27. Februar 1989.
- LICHTENSTEIN, E. P. (1980): „Bound“ residues in soils and transfer of soil residues in crops. – Residue Reviews 76, 147–153.
- LILIENBLUM, W. (1988): Bodenuntersuchungsprogramm an der Sonderabfalldeponie Mönchshagen: Bewertung der vorliegenden Daten und Ergebnisse. – Bericht des Niedersächsischen Landesamts für Immissionsschutz (NLIS) an den Niedersächsischen Umweltminister vom 30. März 1988. – Hannover: NLIS.
- LÖLF (Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung) (1988): Mindestuntersuchungsprogramm Kulturboden zur Gefährdungsabschätzung von Altablagerungen und Altstandorten im Hinblick auf eine landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung. – Recklinghausen: LÖLF.
- LÜHR, H. P., ZIPFEL, K. (1989): Beispielhafter Einsatz für ein Bewertungsmodell. – In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz, Berlin (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte 1989. – Seminar-Handbuch, S. 65.
- LWA (Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen) (1984): Weitergehende Anforderungen an Abwassereinleitungen in Fließgewässer: Entscheidungshilfe für die Wasserbehörden in wasserrechtlichen Erlaubnisverfahren. – Anlage 3: Güteanforderungen an „Beregnungswasser für Freilandkulturen“. – Düsseldorf: LWA. – Wasserwirtschaft Nordrhein-Westfalen.
- LWA (Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen) (1989): Leitfaden zur Grundwasseruntersuchung bei Altablagerungen und Altstandorten. – Düsseldorf: LWA. – LWA-Materialien 7/89.
- MALIK, J. K., SUMMER, K. H. (1982): Toxicity and metabolism of malathion and its impurities in isolated rat hepatocytes: role of glutathione. – Toxicology and Applied Pharmacology 66, 69–76.
- MAURER, P. G., BRUNNER, H., SCHINDLER, S., KASTKA, J., KREMER, H., QUILLMANN, H., WIRTH, K. H. (1979): Systemstudie zur Erfassung und Vermeidung von belästigenden Geruchsemissionen. – BMFT Forschungsbericht T 79–114.
- MELUF BW (Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg) (1985): Leitfaden für die Beurteilung und Behandlung von Grundwasserverunreinigungen durch leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe. – 2. Aufl. – Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz. – Wasserwirtschaftsverwaltung, H. 13.
- MELUF BW (Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg) (1987): Grundwassergefährdung durch Altablagerungen am Beispiel Eppelheim. – Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz. – Wasserwirtschaftsverwaltung, H. 17.
- MISCHGOFSKY, F. H. (1986): Hydraulische Maßnahmen, Möglichkeiten, Ziele und Methoden. – In: Beiträge zum Seminar „Altlasten und kontaminierte Standorte“. – Bochum: Ruhr-Universität. – S. 141–157 u. 225–246.
- MOEN, J. E. T. (1988): Bodenschutz in den Niederlanden. – In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. – 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. – Bd. 2, S. 1533–1539.
- MÜLLER, H. (1976): Aufnahme von 3,4-Benzopyren durch Nahrungspflanzen aus künstlich angereicherten Substraten. – Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 6, 685–695.
- NABERT, K., SCHÖN, G. (1980): Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe. – Braunschweig: Deutscher Eich Verl.
- NATO/CCMS (North Atlantic Treaty Organization – Committee on the Challenges of Modern Society) (1988): International Toxicity Equivalent Factor (I-TEF) – Method of risk assessment for complex mixtures of dioxins and related compounds. – NATO/CCMS Report Number 176.
- NICLAUSS, M., WINKELSTRÄTER, J., HUNTING, K. E., HARDES, A. (1989): Inventarisierung von Bodenkontaminationen auf Geländen mit ehemaliger Nutzung aus dem Dienstleistungsbereich. – Berlin. – UBA Forschungsbericht 1070 3007/0.
- OHNESORGE, F. K. (1985): Toxikologische Bewertung von Arsen, Blei, Cadmium, Nickel, Thallium und Zink. – Düsseldorf: VDI. – VDI Fortschrittsberichte, Reihe 15 (Umwelttechnik), Nr. 38.
- OVERCASH, M. R., WEBER, J. B., MILES, M. L. (1982): Behaviour of organic priority pollutants in the

- terrestrial system: Dinitrobutylphthalat ester, toluene and 2,4-dinitrophenol. — *Water Research* 171, 94.
- PLUMB, R. H. (1985): Disposal site monitoring data: Observations and strategy implications. — In: HITCHON, B., TRUDELL, M. (Eds.): *Hazardous wastes in ground water: a soluble dilemma*. — Proceedings of the second canadian/american conference on hydrogeology, Banff, Alberta, Canada, June 25 – 29, 1985. — Dublin, Ohio, USA: National Well Water Association.
- POTT, F. (1985): Pyrolyseabgase, Profile von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und Lungenkrebsrisiko — Daten und Bewertung. — *Staub – Reinhaltung der Luft* 45 (7/8), 369–379.
- RETTENBERGER, G. (1978): Untersuchung zur Entstehung, Ausbreitung und Ableitung von Zersetzungsgasen in Abfallablagerungen. — In: UBA (Hrsg.): *Gas in Abfallablagerungen*. — Berlin: E. Schmidt. — UBA Materialien 7/87, S. 62–67.
- RETTENBERGER, G. (1982 a): Untersuchung zur Entstehung, Ausbreitung und Ableitung von Zersetzungsgasen in Abfallablagerungen. — Berlin: UBA. — Texte 12/82.
- RETTENBERGER, G. (1982 b): Großtechnische Entgassung der Deponie „Am Lemberg“. — Berlin: UBA. — Texte 13/82.
- ROUVÉ, G., DORGARTEN, H. W. (1988): Einsatz von Grundwasser- und Transportmodellen. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): *Handbuch der Altlasten-Sanierung*. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — 1. Lieferung, Kap. 3.2.1.4.
- SAWHNEY, B. L., HANKIN, L. (1984): Plant contamination by PCBs from amended soils. — *Journal of Food Protection* 47 (3), 232–236.
- SCHAEUNERT, I., TOPP, E., SCHMITZER, J., KLEIN, W., KORTE, F. (1985): Formation and fate of bound residues of [<sup>14</sup>C]benzene and [<sup>14</sup>C]chlorobenzenes in soil and plants. — *Ecotoxicology and Environmental Safety* 9, 159–170.
- SCHLATTER, C. (1987): Risiko-Abschätzung (Toxizitätsäquivalente). — In: Verein Deutscher Ingenieure — Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.): *Dioxin — eine technische, analytische, ökologische und toxikologische Herausforderung*. — Düsseldorf: VDI-Verl. — VDI-Berichte 634, S. 503–514.
- SCHLATTER, C., POIGER, H. (1989): Chlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDDs/PCDFs) — Belastung und gesundheitliche Beurteilung. — *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung — Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie* 1 (2), 11–17.
- SCHLIPKÖTER, H.-W. (1985): Gutachten zur Frage des Gesundheitsrisikos durch Bodenverunreinigungen in Dortmund-Dorstfeld. — Medizinisches Institut für Umwelthygiene an der Universität Düsseldorf.
- SCHLIPKÖTER, H.-W., BROCKHAUS, A. (1988): Erfahrungen bei der Beurteilung des Gesundheitsrisikos durch Bodenverunreinigungen. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): *Altlastensanierung '88*. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 421–432.
- SCHNEIDER, U., KÖNIG, W. (1988): Chemische Rüstungsaltlasten. Boden- und Grundwassergefährdung durch Altstandorte der chemischen Rüstungsindustrie in der BRD und DDR. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): *Altlastensanierung '88*. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 403–405.
- SCHULDT, M. (1987): Wie gefährlich sind Altlasten im Boden? — *Umwelt (VDI)* 5/87, 295–298.
- SIMS, R. C., OVERCASH, M. R. (1983): Fate of polynuclear aromatic compounds (PNAs) in soil-plant systems. — *Residue Reviews* 88, 1–68.
- SRU (1978): *Umweltgutachten 1978*. — Stuttgart: Kohlhammer.
- SRU (1985): *Umweltprobleme der Landwirtschaft (Sondergutachten)*. — Stuttgart: Kohlhammer.
- SRU (1987 a): *Umweltgutachten 1987*. — Stuttgart: Kohlhammer (erschienen 1988).
- SRU (1987 b): *Luftverunreinigungen in Innenräumen (Sondergutachten)*. — Stuttgart: Kohlhammer.
- TAKEUCHI, Y., ONO, Y., HISANAGA, N. (1981): An experimental study on the combined effects of n-hexane and toluene on the peripheral nerve of the rat. — *British Journal of Industrial Medicine* 38, 14–19.
- TRGS 403 (1989): Technische Regeln für Gefahrstoffe: Bewertung von Stoffgemischen in der Luft am Arbeitsplatz. — Ausgabe Oktober 1989. — *Bundesarbeitsblatt, H. 10*, S. 71–72.
- UM BW (Umweltministerium Baden-Württemberg) (1989): *Dioxinbelastung*. — Stuttgart. — UM-Datendienst Nr. 89/006 vom 02. 06. 1989.
- UMETSU, N., GROSE, F. H., ALLAHYARI, R., ABUEL-HAJ, S., FUKUTO, T. R. (1977): Effect of impurities on the mammalian toxicity of technical malathion and acephate. — *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 25, 946–953.
- UMK (Umweltministerkonferenz) (1987): *Stoffliste der Bund-Länder-Arbeitsgruppe Bodenschutz*. — 28. Umweltministerkonferenz 07./08. Mai 1987.
- VCI (Verband der Chemischen Industrie) (1987): *Konzept zur Selbsteinstufung von Stoffen und Zubereitungen in Wassergefährdungsklassen*. — Frankfurt/Main: Eigenverl.
- VCI (Verband der Chemischen Industrie) (1989): *Ableitung von Bodenrichtwerten*. — Verband der Chemischen Industrie in Zusammenarbeit mit dem Gesamtverband des Deutschen Steinkohlebergbaus und dem Bundesverband der Deutschen Industrie. — Frankfurt/Main: Eigenverl.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (1966): *Maximale Immissions-Konzentrationen (MIK), Organische Verbindungen*. VDI-Richtlinie 2306. — Düsseldorf: VDI-Verl.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (1974): Maximale Immissions-Werte. VDI-Richtlinie 2310. — Düsseldorf: VDI-Verl.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (1984): Maximale Immissions-Werte zum Schutze des Menschen, Maximale Immissions-Konzentrationen für Schwefeldioxid. VDI-Richtlinie 2310, Blatt 11. — Düsseldorf: VDI-Verl.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (1985): Maximale Immissions-Werte zum Schutze des Menschen, Maximale Immissions-Konzentrationen für Stickstoffdioxid. VDI-Richtlinie 2310, Blatt 12. — Düsseldorf: VDI-Verl.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (1987): Maximale Immissions-Werte zum Schutze des Menschen, Maximale Immissions-Konzentrationen für Ozon (und photochemische Oxidantien). VDI-Richtlinie 2310, Blatt 15. — Düsseldorf: VDI-Verl.

VROM NL (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Niederlande) (1988): Leidraad Bodensanering, Deel II, Technisch-Inhoudelijk Deel — Afl. 4. — 's-Gravenhage: Sdu uitgeverij. — (auch in deutscher Übersetzung im Auftrag des BMU (1989): Leitfaden Bodensanierung, Teil 2. — Bonn: BMU).

WACHS, B. (1989): Ökologisch erarbeitete Schwermetall-Qualitätsziele für Nutzungsarten des Wassers sowie zum aquatischen Ökosystem- und Artenschutz. — gwf-Wasser-Abwasser 130 (6), 277—284.

WHO (World Health Organization) (1972): Evaluation of Certain Food Additives and the Contaminants Mercury, Lead, and Cadmium. — 16th Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. — Geneva: WHO. — Technical Report Series 505.

WHO (World Health Organization) (1980): Recommended Health-based Limits in Occupational Exposure to Heavy Metals. — Technical Report Series 647.

WHO (World Health Organization) (1981): Recommended Health-based Limits in Occupational Exposure to Selected Organic Solvents. — Technical Report Series 664.

WHO (World Health Organization) (1982): Recommended Health-based Limits in Occupational Exposure to Pesticides. — Technical Report Series 677.

WHO (World Health Organization) (1983): Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. — 27th Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. — Geneva: WHO. — Technical Report Series 696.

WHO (World Health Organization) (1984): Guidelines for drinking-water quality. — Vol. 1. Recommendations. — Geneva: WHO.

WHO (World Health Organization) (1987 a): Toxicological Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. — 30th Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. — Cambridge: Cambridge University Press.

WHO (World Health Organization) (1987 b): Air Quality Guidelines for Europe. — Geneva: WHO.

WOLFF, H. J. (1989): Innerbetriebliche Zusammenhänge bei der Sprengstoffherstellung und -verarbeitung am Beispiel der ehemaligen größten TNT-Fabrik in Stadtallendorf/Hessen. — In: Der Niedersächsische Umweltminister: Expertengespräch Rüstungsaltsen 25./26. April 1989 in Hannover. — Hannover: Niedersächsisches Umweltministerium.

WOROBEY, B. L. (1984): Fate of 3,3',4,4'-tetrachloroazobenzene in soybean plants grown in treated soils. — Chemosphere 13 (10), 1103—1111.

ZIPFEL, K. (1985): Erfassung der Hydraulik und Hydrologie in und um kontaminierte Standorte. — In: UBA (Hrsg.): Symposium kontaminierte Standorte und Gewässerschutz. — Berlin: E. Schmidt. — UBA Materialien 1/85, S. 215—233.

### 3 Erfassung und Gefährdungsabschätzung von altlastverdächtigen Flächen

ALBERTI, J. (1988): Analysen für Altlasten. — Umwelt (VDI) 1—2/88, S. 26—27.

ALBERTI, J., FRIEGE, H. (1987): Untersuchung von Altlasten. — In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Untersuchung, Beurteilung und Sanierung industrieller Altlasten. — VDI-Seminar, 1./2. Oktober 1987, Düsseldorf. — Düsseldorf: VDI-Bildungswerk. — o. Zähl.

Arbeitsgemeinschaft Wasserwirtschaft im Schleswig-Holsteinischen Landkreistag (1985 a): Erfassungsbogen zur Erkundung und Voruntersuchung — Altablagerung/sonstiger kontaminierter Standort. — Kiel: Schleswig-Holsteinischer Landkreistag.

Arbeitsgemeinschaft Wasserwirtschaft im Schleswig-Holsteinischen Landkreistag (1985 b): Erfassungsbogen zur Erkundung und Voruntersuchung sonstiger kontaminierter Altstandorte. — Kiel: Schleswig-Holsteinischer Landkreistag.

Arbeitsgemeinschaft Wasserwirtschaft im Schleswig-Holsteinischen Landkreistag (1986): Merkblatt zur Untersuchung der Auswirkungen von Altablagerungen. Bearbeitet vom Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein. — Stand: 15. 4. 1986. — Kiel: Schleswig-Holsteinischer Landkreistag.

ARNETH, J.-D., KERNDORFF, H., BRILL, V., SCHLEYER, R., MILDE, G., FRIESEL, P. (1986): Leitfaden für die Aussonderung grundwassergefährdender Problemstandorte bei Altablagerungen. — Berlin: Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes. — WaBoLu-Hefte 5/1986.

BACHMANN, G. (1987): Der Ansatz „Branchentypische Inventarisierung von Bodenkontaminationen“ — sein Wert als erster Schritt zur Gefährdungsabschätzung und sein Stellenwert im Rahmen der kommunalen Planung. — In: 3. Kolloquium zum Thema Altlasten im Ruhrgebiet am 29. Juni 1987 in Essen — Resümee. — Essen: Kommunalverband Ruhrgebiet. — S. 34—40.

- BÄTHER, W., LÖFFELHOLZ, R. (1988): Schnelltest zur Wasser- und Bodenuntersuchung. — In: Internationales Treffen für Chemische Technik und Biotechnologie — Kurzfassung der Vortragsgruppen Abgas, Abfall, Abwasser — AICHEM 88. — Frankfurt: DE-HEMA. — o. Zähl.
- BAUMGARTEN, J., ZIMMERMANN, H., MÜCKE, K. (1986): Das Altablagerungs- und Altlastenprogramm des Landes Niedersachsen. — Wasser und Boden 38 (10), 497—500.
- BECKER, B. (1986): Grundprobleme der Altlastensanierung in Hessen (Eingriff, Vollzug, Kostenpflichten, Finanzierung und Organisation). — Gutachten im Auftrag des Hessischen Ministers für Umwelt und Energie, Teil I und II. — Wiesbaden: Der Hessische Minister für Umwelt und Energie.
- BENNETT, D. (1988): Preliminary Risk Assessment — US Hazardous Ranking System. — In: BMU/UBA (Hrsg.): Workshop Remedial Action at Abandoned Waste Sites am 13. und 14. Oktober 1988 in Bonn. — Bonn, Berlin. — Workshop A am 13. Oktober 1988.
- BG (Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften/Fachausschuß „Tiefbau“) (1989): Sicherheitsregeln für Bauarbeiten in kontaminierten Bereichen. — Entwurf: Juli 1989. — Sankt Augustin. — Bestell-Nr.: ZH 1/183.
- BIESKE, E. sen., BIESKE, E. jun. (1973): Bohrbrunnen. — 6. Aufl. — München: Oldenbourg.
- BLUME, H.-P., BURGHARDT, W., CORDSEN, E., FINNERN, H., FRIED, G., GRENZIUS, R., KNEIB, W., KUES, J., PLUQUET, E., SCHRAPS, W.-G., SIEM, H.-K. (1989): Kartierung von Stadtböden — Empfehlung des Arbeitskreises Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft für die bodenkundliche Kartieranleitung urban, gewerblich und industriell überformter Flächen (Stadtböden). — Berlin: Umweltbundesamt. — Texte 18/89.
- BRILL, V., KERNDORFF, H., SCHLEYER, R., ARNETH, J.-D., MILDE, G., FRIESEL, P. (1986): Fallbeispiele für die Erfassung grundwassergefährdender Altablagerungen aus der Bundesrepublik Deutschland. — Berlin: Institut für Wasser-, Boden- und Luft-hygiene des Bundesgesundheitsamtes. — WaBoLu-Hefte 6/1986.
- BROWN, K. (1983): Land Treatment of Hazardous Wastes. — In: FRANCIS, C., AUERBACH, S. (Hrsg.): Environment and Solid Wastes: Characterisation, Treatment and Disposal. — Boston: Butterworth. — S. 449—474.
- BROWN, K., DONNELLY, K. (1982): Mutagenic Potential of Water Concentrates from the Effluent of a Waste Oil Storage Pond. — Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 28, S. 424—429.
- BROWN, K., DONNELLY, K. (1984): Mutagenic Activity of Runoff and Leachate Water from Hazardous Waste Land Treatment. — Environmental Pollution (Series A) 35, S. 229—246.
- BUCK, M. (1981): Überlegungen zur Qualitätssicherung von Immissionsmeßverfahren und Immissionsmessungen. — Staub — Reinhaltung der Luft 41, S. 365—369.
- BÜTOW, E., LÜHR, H.-P. (1989): Bewertungsmodell für Altablagerungen in Hessen. — In: Verein zur Förderung des Instituts für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt (Hrsg.): Erkundung und Bewertung von Altlasten — Kriterien und Untersuchungsprogramme. — 15. Wassertechnisches Seminar — Abfallwirtschaft. — Darmstadt: Institut für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt. — Schriftenreihe WAR 35, S. 127—146.
- CALDWELL, S., ORTIZ, A. (1989): Overview of Proposed Revisions to the Superfund Hazard Ranking System. — JAPCA 39 (6), 801—807.
- CASPERS, N., HAMBURGER, B., KANNER, R. (1986): Problematische Stoffparameter aus der Sicht von Umweltrelevanz und Analysenaufwand — Biologische Testverfahren. — In: Institut für gewerbliche Wasserwirtschaft und Luftreinhaltung (iwl) (Hrsg.): Abwasseranalytik. — Köln: Institut für gewerbliche Wasserwirtschaft und Luftreinhaltung e. V. — iwl-Forum 1986 — I, Berichte über die iwl-Kolloquien 23 (I), S. 75—84.
- DIETER, H., KAISER, U., KERNDORFF, H. (im Druck): Proposal on a Standardized Toxicological Evaluation of Chemicals from Contaminated Sites. — Chemosphere, im Druck (Frühjahr 1990).
- DIN 4021: Baugrund; Erkundung durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben; Teil 1 (Juli 1971): Aufschlüsse im Boden; Teil 2 (Februar 1976): Aufschlüsse im Fels; Teil 3 (August 1976): Aufschluß der Wasserverhältnisse. — Berlin: Beuth.
- DIN 4022: Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Bodenarten und Fels; Teil 1 (September 1987): Schichtenverzeichnis für Untersuchungen und Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben; Teil 2 (März 1981): Schichtenverzeichnis für Bohrungen im Fels (Festgestein); Teil 3 (Mai 1982): Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein). — Berlin: Beuth.
- DIN 4023 (März 1984): Baugrund- und Wasserbohrungen; Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse. — Berlin: Beuth.
- DIN 4094: Baugrund; Ramm- und Drucksondiergeräte; Teil 1 (November 1974): Maße und Arbeitsweise der Geräte; Teil 2 (Vornorm, Mai 1980): Anwendung und Auswertung. — Berlin: Beuth.
- DIN 18 123 (April 1983): Baugrund; Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Korngrößenverteilung. — Berlin: Beuth.
- DIN 38 402: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; allgemeine Angaben (Gruppe A); Teil 12 (Juni 1985): Probenahme aus stehenden Gewässern (A 12); Teil 13 (Dezember 1985): Probenahme aus Grundwasser (A 13);

- Teil 15 (Juli 1986): Probenahme aus Fließgewässern (A 15). — Berlin: Beuth.
- DIN 38 412: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Testverfahren mit Wasserorganismen (Gruppe L); Teil 9 (Mai 1989): Bestimmung der Hemmwirkung von Wasserinhaltsstoffen auf Grünalgen (Scenedesmus-Zellvermehrungs-Hemmtest) (L 9); Teil 11 (Oktober 1982): Bestimmung der Wirkung von Wasserinhaltsstoffen auf Kleinkrebse (Daphnien-Kurzzeittest) (L 11); Teil 15 (Juni 1982): Bestimmung der Wirkung von Wasserinhaltsstoffen auf Fische, Fischtest (L 15); Teil 20 (Dezember 1980): Bestimmung der Giftwirkung von Abwässern auf Fische, Fischtest (L 20). — Berlin: Beuth.
- DIN 66 066 Teil 1 (Entwurf, Januar 1988): Allgemeine Kriterien und Empfehlungen für Prüflaboratorien und Akkreditierungsstellen. — Berlin: Beuth.
- DIN 66 262 (November 1985): Informationsverarbeitung; Programmkonstrukte zur Bildung von Programmen mit abgeschlossenen Zweigen. — Berlin: Beuth.
- DODT, J. (1989): Praktische Erfahrungen bei der Erfassung und Erstbewertung altlastverdächtiger Flächen durch Karten- und Luftbilddauswertung. — In: JESSBERGER, H. (Hrsg.): Erkundung und Sanierung von Altlasten. — Rotterdam: A. A. Balkema. — S. 83–86.
- DOETSCH, P., TILLMANN, W. (1987): Auswertung und Bewertung von Erfassungsunterlagen — dargestellt an Fallbeispielen. — In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Untersuchung, Beurteilung und Sanierung industrieller Altlasten. — VDI-Seminar, 1./2. Oktober 1987, Düsseldorf. — Düsseldorf: VDI-Bildungswerk. — o. Zähl.
- DONNELLY, K., BROWN, K., THOMAS, J., DAVOL, P., SCOTT, B., KAMPBELL, D. (1985): Evaluation of the Hazardous Characteristics of Two Petroleum Wastes. — Hazardous Waste & Hazardous Materials 2 (2), 191–208.
- DVGW-Merkblatt W 110 (Entwurf, Oktober 1988): Untersuchungen in Bohrlöchern und Brunnen zur Erschließung von Grundwasser: Zusammenstellung von Methoden. — Bonn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser.
- DVGW-Merkblatt W 111 (Mai 1975): Technische Regeln für die Ausführung von Pumpversuchen bei der Wassererschließung. — Bonn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser.
- DVGW-Merkblatt W 113 (April 1983): Ermittlung, Darstellung und Auswertung der Korngrößenverteilung wasserleitender Lockergesteine für geohydrologische Untersuchungen und für den Bau von Entnahmekunnen. — Bonn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser.
- DVGW-Merkblatt W 114 (Juni 1989): Gewinnung und Entnahme von Gesteinsproben bei Bohrarbeiten zur Grundwassererschließung. — Bonn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser.
- DVGW-Merkblatt W 115 (Februar 1977): Bohrungen bei der Wassererschließung. — Bonn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser.
- DVGW-Merkblatt W 116 (Mai 1985): Verwendung von Spülungszusätzen in Bohrspülungen bei der Erschließung des Grundwassers. — Bonn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser.
- DVGW-Merkblatt W 121 (Oktober 1988): Bau und Betrieb von Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen. — Bonn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser.
- DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 203 (1982): Entnahme von Proben für hydrogeologische Grundwasser-Untersuchungen; DK 556.32.001.5 Grundwasseruntersuchung, DK 556.08.:543.3.053 Probenahme. — Hamburg: Parey.
- ELLENDT, M., SABROWSKI, R. (1987): Altablagerungen systematisch erfassen. — Umwelt (VDI) 10/87, S. 417–418.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1988): Hazard Ranking System (HRS) for Uncontrolled Hazardous Substance Releases; Appendix A of the National Oil and Hazardous Substances Contingency Plan; Proposed Rule. — Federal Register, Vol. 53, No. 247, December 23, 1988.
- FEHLAU, K.-P. (1985): Gefährdungsabschätzung von Altablagerungen und Altstandorten in Nordrhein-Westfalen. — In: Bundesminister für Forschung und Technologie; Umweltbundesamt (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte — Dokumentation einer Fachtagung 1985. — Bonn, Berlin. — S. 163–172.
- FEHLAU, K.-P. (1986): Erfassung und Gefährdungsabschätzung in Nordrhein-Westfalen. — Gewässerschutz — Wasser — Abwasser 85, S. 761–785.
- FEHLAU, K.-P. (1987): Aufgaben, Probleme und Aktivitäten bei der Ermittlung und Sanierung von Altlasten. — In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Untersuchung, Beurteilung und Sanierung industrieller Altlasten. — VDI-Seminar, 1./2. Oktober 1987, Düsseldorf. — Düsseldorf: VDI-Bildungswerk. — o. Zähl.
- FEHLAU, K.-P. (1989 a): Aufgaben, Probleme und Aktivitäten bei der Ermittlung und Sanierung von Altlasten. — In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Untersuchung, Beurteilung und Sanierung industrieller Altlasten. — VDI-Seminar, 13./14. Juni 1989, Düsseldorf. — Düsseldorf: VDI-Bildungswerk. — o. Zähl.
- FEHLAU, K.-P. (1989 b): Aspekte der Altlastenbeurteilung aus behördlicher Sicht. — gwf-Gas-Erdgas 8/89, S. 428–433.
- FELD, R., KAUL, J., KIMBALL, S., KOENNECKE, R., SANDNESS, G., STAMMLER, M. (1984): Sondierung von kontaminierten Standorten. — Bonn: Bundesministerium für Forschung und Technologie. — Forschungsberichte, Reihe T, Technologische Forschung und Entwicklung, T 84–069.
- FELD, R., KOENNECKE, R., SCHMIDT, G. (1987): Geophysikalische Sondierung kontaminierter Stand-

orte. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten (1). — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 370—377.

FRANZIUS, V. (1986): Remedial Actions on Contaminated Sites — Approaches to Solve the Problems of Abandoned Sites in the Federal Republic of Germany. — In: ASSINK, J. W., VAN DEN BRINK, W. J. (Hrsg.): Contaminated Soil. — First International TNO Conference on Contaminated Soil, 11—15 November 1985, Utrecht. — Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers. — S. 269—284.

FRANZIUS, V. (1989): Vorgehensweise beim Superfund mit einem Ausblick auf das neue Hazard Ranking System. — In: KOMPA, R., FEHLAU, K.-P. (Hrsg.): Altlasten '89 — Flächenreaktivierung, Sanierungsziele, Arbeitsschutz, Sanierungsmanagement. — Köln: Verl. TÜV Rheinland. — S. 167—177.

FRIEGE, H. (1988): Strategien für die Untersuchung von Altablagerungen und Altstandorten. — In: KOMPA, R., FEHLAU, K.-P. (Hrsg.): Altlasten und kontaminierte Standorte. — Köln: Verl. TÜV Rheinland. — S. 141—154.

FRIEGE, H., SIEVERS, S. (1986): Medienübergreifendes Erkundungs- und Überwachungskonzept für eine Altablagerung. — Vom Wasser 66, S. 137—147.

FRIESEL, P., SELLNER, M., SIEVERS, S. (1988): Untersuchung von Bodenproben aus kontaminierten Flächen. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Dekker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 3.2.2.9.

FRIMAN, L., MAROSE, U. (1987): Untersuchungen und Gefährdungsabschätzung für Gaswerksstandorte. — Wasser, Luft und Betrieb (wlb) 11—12/87, S. 52—57.

FUNK, W. (1985): Entwicklung eines Qualitätssicherungssystems für die Wasseranalytik. — Forschungsbericht, FKZ 102 05 126. — Fachhochschule Gießen-Friedberg, Fachbereich Technisches Gesundheitswesen, Institut für Umwelt und Hygienetechnik.

GOEDECKE, M., WELSCH, J. (1989): Zahl, Art und Umfang von Altlastenflächen in Berlin. — Stadt und Umwelt 8/89, S. 36—37.

GÖTTNER, J. (1988): Mobiles Untersuchungssystem zur Erfassung von Boden- und Grundwasserkontaminationen. — In: Internationales Treffen für Chemische Technik und Biotechnologie — Kurzfassungen der Vortragsgruppen Abgas, Abfall, Abwasser — AICHEM 88. — Frankfurt: DECHEMA. — o. Zähl.

GURKA, D., MEIER, E., BECKERT, W., HAEBERER, A. (1982): Analytical and Quality Control Procedures for the Uncontrolled Hazardous Waste Sites Contract Program. — In: Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites. — National Conference on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites, 29 Nov. — 1 Dez. 1982, Washington, D. C. — Silver Spring, Maryland: Hazardous Materials Control Research Institute.

HAGENDORF, U. (1986): Erkenntnisse über eine Grundwasserkontamination durch leichtflüchtige

Chlorkohlenwasserstoffe in pleistozänen glazifluvialen Sedimenten und Ansätze für Abwehr- und Sanierungsmaßnahmen. — In: MILDE, G., LESCHBER, R. (Hrsg.): Boden- und Grundwasserschutz. — Stuttgart: Fischer. — Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 64, S. 45—63.

HECHT, R. (1987 a): Hamburger Bewertungsverfahren zur Abschätzung des Gefährdungspotentials für das Grundwasser. — In: Sanierung von Altlasten, Deponien und anderen kontaminierten Standorten: Erfahrungen und Problemstellungen. — Rehburg-Loccum: Evangelische Akademie Loccum. — Loccumer Protokolle 3/86 (erschienen 1987), S. 34—64.

HECHT, R. (1987 b): Bewertungsverfahren zur Beurteilung des Gefahrenpotentials für das Grundwasser. — Vortragsmanuskript, VDI-Tagung „Altlasten als politische, technische und rechtliche Herausforderung“ am 16. und 17. November 1987 in Hamburg.

HLfU (Hessische Landesanstalt für Umwelt) (Hrsg.) (1987 a): Handbuch Altablagerungen; Teil 1: Das Altablagerungskataster in Hessen. — Wiesbaden: Hessische Landesanstalt für Umwelt.

HLfU (Hessische Landesanstalt für Umwelt) (Hrsg.) (1987 b): Handbuch Altablagerungen; Teil 2: Orientierende Untersuchungen. — Wiesbaden; Hessische Landesanstalt für Umwelt.

HÖLTING, B. (1989): Hydrogeologie: Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. — 3. Aufl. — Stuttgart: F. Enke.

HUBER, E., VOLK, P. (1986): Deponie- und Altlastenerkundung mit Hilfe von Fernerkundungsdaten. — Wasser und Boden 38 (10), 509—515.

IRMER, H. (1987): Maßstäbe und Grundsätze für die Sanierung. — In: Altlastensanierung und Entsorgungswirtschaft. — Entsorgung Schriften 4, S. 95—101.

IWS, TGU (Institut für wassergefährdende Stoffe an der Technischen Universität Berlin, Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH, Koblenz) (1988): Bewertung von Altablagerungen in Hessen; Teil 1: Bewertungsmodell; Teil 2: Grundlagen für die Modellentwicklung; Teil 3: Altlastdossiers der Teststandorte. — Gutachten im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt und Reaktorsicherheit, Wiesbaden.

KANITZ, J. (1985): Erkundung von Schadstoffausbreitung durch Bodenluft-Untersuchungen. — In: Altlasten und kontaminierte Standorte — Erkundung und Sanierung. — Seminar der Ruhr-Universität Bochum am 10. April 1985. — Bochum: Ruhr-Universität. — S. 105—116.

KERNDORFF, H., BRILL, V., SCHLEYER, R., FRIESEL, P., MILDE, G. (1985): Erfassung grundwassergefährdender Altablagerungen-Ergebnisse hydrogeochemischer Untersuchungen. — Berlin: Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes. — WaBoLu-Hefte 5/1985.

KERNDORFF, H., MILDE, G., SCHLEYER, R., ARNETH, J.-D., DIETER, H., KAISER, U. (1988): Grundwasserkontaminationen durch Altlasten: Erfassung und Möglichkeiten der standardisierten Bewertung.

– In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88.  
– 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung.  
– Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. – Bd. 1, S. 129–145.

KINNER, U., KÖTTER, L., NICLAUSS, M. (1986): Branchentypische Inventarisierung von Bodenkontaminationen – ein erster Schritt zur Gefährdungsabschätzung für ehemalige Betriebsgelände. – Berlin: Umweltbundesamt. – Texte 31/86.

KINZELBACH, W. (1987): Numerische Methoden zur Modellierung des Transports von Schadstoffen im Grundwasser. – München: Oldenbourg. – Schriftenreihe gwf-Wasser-Abwasser, Bd. 21.

KÖNIG, W. (1987): Entwicklung von Beurteilungsmaßstäben bei der Gefährdung von Böden. – In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Untersuchung, Beurteilung und Sanierung industrieller Altlasten. – VDI-Seminar, 1./2. Oktober 1987, Düsseldorf. – Düsseldorf: VDI-Bildungswerk. – o. Zähl.

KRISCHOCK, A. (1988): AGAPE – Ein Modell zur Abschätzung des Gefährdungspotentials altlastenverdächtiger Flächen. – In: BRANDT, E. (Hrsg.): Altlastenuntersuchung, Sanierung, Finanzierung. – Tausenstein: Verl. Blottner. – S. 51–57.

KRUSEMAN, G., DE RIDDER, N. (1973): Untersuchung und Anwendung von Pumpversuchsdaten. – Köln-Braunsfeld: R. Müller.

LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall/Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“) (1989): Erfassung, Gefahrenbeurteilung und Sanierung von Altlasten – Informationsschrift. – Entwurf, Stand 27. Februar 1989.

LAGA-Richtlinie CN 2/79: Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen, CN 2/79 – Bestimmung des Cyanids in Abfällen (Stand: 12/83). – In: HÖSEL, G. et al. (Hrsg.): Müll-Handbuch. – Berlin: E. Schmidt. – Kennzahl 1858, Lieferung 2/84.

LAGA-Richtlinie EW/77: Richtlinie über das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen, EW/77 – Bestimmung der Eluierbarkeit von festen und schlammigen Abfällen mit Wasser. – In: HÖSEL, G. et al. (Hrsg.): Müll-Handbuch. – Berlin: E. Schmidt. – Kennzahl 1855, Lieferung XII/77.

LAGA-Richtlinie LM/84: Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen, LM/84 – Bestimmung leicht verdampfbarer organischer Lösemittel in Abfällen (Stand: 4/86). – In: HÖSEL, G. et al. (Hrsg.): Müll-Handbuch. – Berlin: E. Schmidt. – Kennzahl 1863, Lieferung 5/86.

LAGA-Richtlinie PN 1/75: Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen, PN 1/75 – Entnahme von Wasserproben. – In: HÖSEL, G. et al. (Hrsg.): Müll-Handbuch. – Berlin: E. Schmidt. – Kennzahl 1851, Lieferung II/77.

LAGA-Richtlinie PN 2/78: Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen, PN 2/78 – Entnahme und Vorbereitung von Proben aus festen, schlammigen und flüssigen Abfällen (Stand: 12/83), Kapitel E und F. – In: HÖSEL, G. et al. (Hrsg.): Müll-Handbuch. – Berlin: E. Schmidt. – Kennzahl 1860, Lieferung 2/84.

LAGA-Richtlinie PN 2/78K: Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen, PN 2/78K – Grundregeln für die Entnahme von Proben aus Abfällen und abgelagerten Stoffen (Stand: 12/83). – In: HÖSEL, G. et al. (Hrsg.): Müll-Handbuch. – Berlin: E. Schmidt. – Kennzahl 1859, Lieferung 2/84.

LAGA-Richtlinie SM 2/79: Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen, SM 2/79 – Bestimmung von Schwermetallen in festen und schlammigen Abfällen (Stand: 12/83). – In: HÖSEL, G. et al. (Hrsg.): Müll-Handbuch. – Berlin: E. Schmidt. – Kennzahl 1861, Lieferung 2/84.

LAGA-Richtlinie WÜ/77: Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen, WÜ/77 – Umfang der Überwachung von Grund-, Oberflächen- und Sickerwasser im Bereich von Abfallbeseitigungsanlagen. – In: HÖSEL, G. et al. (Hrsg.): Müll-Handbuch. – Berlin: E. Schmidt. – Kennzahl 1856, Lieferung XII/77.

Landesarbeitsgruppe Altablagerungen NLW/NLfB (Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft/Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung) (Hrsg.) (1988): Altlastenprogramm des Landes Niedersachsen – Altablagerungen; Bearbeitungshinweise zur Durchführung gezielter Nachermittlungen. – Stand: November 1988. – Hildesheim, Hannover: Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung.

Landesoberbergamt NW (1985): Abschlußbetriebspläne für Tagesanlagen. – In: MELF NW (Hrsg.): Hinweise zur Ermittlung von Altlasten: Erfassung, Erstbewertung, Untersuchung und Beurteilung von Altablagerungen und gefahrverdächtigen Altstandorten. – Düsseldorf: Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen.

LANGGUTH, H., VOIGT, R. (1980): Hydrogeologische Methoden. – Berlin: Springer.

LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (Hrsg.) (1989): AQS – Analytische Qualitätssicherung; Rahmenempfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen. – Berlin: E. Schmidt.

LEICHNITZ, K. (1988): Einsatzmöglichkeiten von Prüfröhrchen im Rahmen der Gefahrstoffverordnung. – TÜ – Technische Überwachung, 29 (9), 289–291.

- LEUCHS, W. (1989): Strategien und Techniken zur Gewinnung von Feststoffproben. — In: LWA (Hrsg.): Probenahme bei Altlasten. — Düsseldorf: Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen. — LWA-Materialien 3/89, S. 7—31.
- LEUCHS, W., ALBERTI, J., FRIEGE, H. (1989): Untersuchung von Altlasten. — In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Untersuchung, Bewertung und Sanierung industrieller Altlasten. — VDI-Seminar, 13./14. Juni 1989, Düsseldorf. — Düsseldorf: VDI-Bildungswerk. — o. Zähl.
- LÖLF (Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen) (1988): Mindestuntersuchungsprogramm Kulturböden zur Gefährdungsabschätzung von Altablagerungen und Altstandorten im Hinblick auf eine landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung. — Recklinghausen: LÖLF.
- LWA (Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (1988): ISAL — Informationssystem Altlasten in Nordrhein-Westfalen. — Düsseldorf: Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen.
- LWA (Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (1989): Leitfaden zur Grundwasseruntersuchung bei Altablagerungen und Altstandorten. — Düsseldorf: Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen. — LWA-Materialien 7/89.
- MATTHESS, G., UBELL, K. (1983): Allgemeine Hydrogeologie — Grundwasserhaushalt. — Lehrbuch der Hydrogeologie. Bd. 1. — Berlin: Borntraeger.
- MATZ, G., SCHRÖDER, W. (1988): Boden- und Luftanalyse vor Ort mit einem mobilen Massenspektrometer. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.) (1988): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 161—168.
- MBL. NW (Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen) 26 vom 3. Mai 1988: Analyseverfahren für Untersuchungen im Zusammenhang mit der Abfallentsorgung und mit Altlasten. — Gem. RdErl. d. Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft — III A5 — 567 — u. d. Ministers für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie — 514 — 82 — 21 — vom 25. März 1988. — Düsseldorf: Bagel. — S. 445—460.
- MBL. NW (Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen) 33 vom 12. Mai 1986: Richtlinien für die Bekanntgabe von Stellen zur Ermittlung von Emissionen und Immissionen nach §§ 26, 28 BImSchG sowie von Stellen zur Überprüfung des ordnungsgemäßen Einbaus, der Funktion und für die Kalibrierung kontinuierlich arbeitender Meßgeräte nach §§ 26, 28 der 13. BImSchV und Nr. 3.2. TA Luft. — Bek. d. Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft — VB 1 — 8001.7.8. vom 27. März 1986. — Düsseldorf: Bagel. — S. 525—528.
- MELF NW (Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (1985): Hinweise zur Ermittlung von Altlasten — Erfassung, Erstbewertung, Untersuchung und Beurteilung von Altablagerungen und gefährverdächtigen Altstandorten. — Düsseldorf: Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen.
- MELF SH (Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein) (1984): Bericht über Abfall-Altlasten in Schleswig-Holstein. — Kiel: Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein.
- MELF SH (Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein) (1987): Zwischenbericht über die Ergebnisse der bisherigen Ermittlungen und Planungen des Altablagereungsprogramms. — Kiel: Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein.
- MELUF BW (Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg) (1985): Leitfaden für die Beurteilung und Behandlung von Grundwasserverunreinigungen durch leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe. — 2. Aufl. — Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz. — Wasserwirtschaftsverwaltung, H. 13.
- MILDE, G., ARNETH, J.-D., KERNDORFF, H., SCHLEYER, R. (1987): Zur Festlegung von Richtwerten für tolerierbare Grundwasserverunreinigungen im Bereich kontaminierter Standorte. — In: FRANZIUS, V. (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte 1986: Neue Verfahren zur Bodenreinigung. — Berlin: E. Schmidt. — Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis 18, S. 41—67.
- MURL NW (Der Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (1987): Die Verwendung von Karten und Luftbildern bei der Ermittlung von Altlasten: Ein Leitfaden für die praktische Arbeit. — Teil I, Teil II Kartenbeilage. — Düsseldorf: Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen.
- NEUMAYR, V. (1986): Bodenluftuntersuchungen mittels Kapillar-Gaschromatographie und ECD-FID-Reihenschaltung zum Lokalisieren von Boden- und Grundwasserkontaminationen. — In: MILDE, G., LESCHBER, R. (Hrsg.): Boden- und Grundwasserschutz. — Stuttgart: Fischer. — Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 64, S. 65—84.
- NICKEL, E. (1989): Bodenluft Erkundung — Auffinden von Kontaminationsquellen. — In: LWA (Hrsg.): Probenahme bei Altlasten. — Düsseldorf: Landesamt für Wasser und Abfall. — LWA-Materialien 7/89, S. 61—90.
- NICLAUSS, M., WINKELSTRÄTER, J., HUNTING, K.-E., HARDES, A. (1989): Inventarisierung von Bodenkontaminationen auf Geländen mit ehemaliger Nutzung aus dem Dienstleistungsbereich. — Berlin: Umweltbundesamt. — Texte 16/89.
- NLW (Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft) (1987): Altlastenprogramm des Landes Niedersachsen — Altablagerungen. — Sachstandsbericht, Stand: 1. Januar 1987. — Hildesheim: Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft.



- OBERMANN, P. (1985): Neue Methoden der Erkundung kontaminierter Grundwässer. — In: Altlasten und kontaminierte Standorte — Erkundung und Sanierung. — Seminar der Ruhr-Universität Bochum am 10. April 1985 in Bochum. — Bochum: Ruhr-Universität. — S. 56—66.
- PLASSMANN, E. (1987): Altlasten — eine Herausforderung für den Umweltschutz. — In: Umweltschutz versachlicht. — Veranstaltung der TÜV Kooperationspartner Rheinisch-Westfälische TÜV und TÜV Rheinland am 18. Februar 1987 in Düsseldorf. — Köln: Verl. TÜV Rheinland. — S. 30—46.
- PÖPPELBAUM, M., BÜTOW, E., LÜHR, H.-P., WEGENER, J. (1989): Empfehlungen zur Verdachtsflächenbewertung für den Teilbereich Grundwasser. — Berlin: Umweltbundesamt. — Texte 22/89.
- RETTENBERGER, G. (1988): Gasförmige Emissionen bei Altlasten — Verhalten, Kontrolle, Sanierung. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 2, S. 1493—1498.
- RICHTER, W., LILLICH, W. (1975): Abriß der Hydrogeologie. — Stuttgart: Schweizerbart.
- RICHTER, B., KRÄMER, D., SCHRAMEK, E.-R. (1988): Gefährdungsabschätzung bei ehemaligen Kokereistandorten. — Müll und Abfall 20 (7), 302—307.
- ROUVÉ, G., DORGARTEN, H.-W. (1988): Einsatz von Grundwasser- und Transportmodellen. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kapitel 3.2.1.4.
- RUMP, H., SCHOLZ, B. (1989): Chemische Analyseverfahren zur Altlastenuntersuchung. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — 4. Lieferung 11/89, Kapitel 3.2.2.3.
- SCHLEYER, R., ARNETH, J.-D., KERNDORFF, H., MILDE, G. (1988): Haupt- und Prioritätskontaminanten bei Abfallablagerungen: Kriterien zur Auswahl mit dem Ziel einer Bewertung auf dem Grundwasserpfad. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 249—253.
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. (1976): Bodenkundliches Praktikum. — 2. Aufl. — Hamburg: Parey.
- SCHÜSSLER, H. (1985): Erfassung von Altlasten im Saarland und die Bewertung ihres Gefährdungspotentials. — In: Bundesminister für Forschung und Technologie; Umweltbundesamt (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte: Dokumentation einer Fachtagung 1985. — Bonn, Berlin. — S. 173—188.
- SCHULDT, M. (1983): Flächensanierungsprogramm der Freien und Hansestadt Hamburg. — In: Bundesminister für Forschung und Technologie; Umweltbundesamt (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte: Dokumentation eines Arbeitsgesprächs. — Bonn, Berlin. — S. 35—50.
- SCHULDT, M. (1986): Erfassung, Sanierung und Nutzung flächenhafter und punktueller Altlasten: Ökologische, technische, planerische, rechtliche und finanzielle Probleme und Lösungsansätze am Beispiel Hamburg. — In: Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung; Institut für Städtebau der Deutschen Akademie für Städtebau und Landesplanung (Hrsg.): Bodenschutz: Räumliche Planung und kommunale Strategien. — Bonn: Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung. — Seminare, Symposien, Arbeitspapiere, H. 21, S. 131—147.
- SCHULDT, M. (1987): Gefährdungsabschätzung bei Altablagerungen, Altstandorten und großflächigen Bodenkontaminationen. — Vortragsmanuskript, Veranstaltung „Kommune und Umwelt '87“ am 13. Februar 1987 in Berlin.
- SCHULDT, M. (1988): Einheitliche Grundsätze der Länder bei der Erkundung und Beurteilung. — In: KOMPA, R., FEHLAU, K.-P. (Hrsg.): Altlasten und kontaminierte Standorte. — Köln: Verl. TÜV Rheinland. — S. 115—125.
- SPILLMANN, P., MESECK, H. (1986): Möglichkeiten der einfachen Erkundung von Altdeponien und kontaminierten Standorten. — In: Zentrum für Abfallforschung der technischen Universität Braunschweig (Hrsg.): Bodensanierung und Grundwasserreinigung — Wiedernutzung von Altstandorten. — Fachseminar 24./25. September 1986 in Braunschweig. — Braunschweig: Zentrum für Abfallforschung der TU Braunschweig. — S. 37—66.
- TRgA 400 (1985): Technische Regeln für gefährliche Arbeitsstoffe: Anforderungen an Meßstellen zur Durchführung der Messungen gefährlicher Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz. — Bundesarbeitsblatt 3, S. 121—122.
- UM BW (Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg) (Hrsg.) (1988 a): Altlasten-Handbuch; Teil I: Altlasten-Bewertung. — 2. Aufl. — Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz. — Wasserwirtschaftsverwaltung, H. 18.
- UM BW (Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg) (Hrsg.) (1988 b): Altlasten-Handbuch; Teil II: Untersuchungsgrundlagen. — 2. Aufl. — Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz. — Wasserwirtschaftsverwaltung, H. 19.
- VAN BERK, W. (1989): Grundsätzliche Überlegungen zur Beprobung des Grundwassers. — In: LWA (Hrsg.): Probenahme bei Altlasten. — Düsseldorf: Landesamt für Wasser und Abfall. — LWA-Materialien 3/89, S. 43—59.
- VDI-Richtlinie 3865: Messen organischer Bodenverunreinigungen; Blatt 1 (Entwurf, Juni 1988): Messen leichtflüchtiger halogenierter Kohlenwasserstoffe, Meßplanung von Bodenluftmessungen; Blatt 2 (in Vorbereitung): Messen leichtflüchtiger halogenierter Kohlenwasserstoffe in Bodenluft, Anreicherung mit XAD-4<sup>R</sup>; Blatt 3 (in Vorbereitung): Messen leichtflüchtiger halogenierter Kohlenwasserstoffe in Bo-

denluft, Anreicherung mit Aktivkohle; Blatt 4 (in Vorbereitung): Messen leichtflüchtiger halogener Kohlenwasserstoffe in Bodenluft, Direktprobenahme; Blatt 5 (Entwurf, Juni 1988): Messen leichtflüchtiger halogener Kohlenwasserstoffe im Boden, Dampf-raum-Analyse von Bodenproben; Blatt 6 (in Vorbereitung): Messen leichtflüchtiger halogener Kohlenwasserstoffe mit Direkt-GC vor Ort; Blatt 7 (in Vorbereitung): Messen leichtflüchtiger halogener Kohlenwasserstoffe mit Prüfröhrchen. — Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure (VDI), VDI-Kommission Reinhaltung der Luft.

ZESCHMANN, E. (1987): Bestimmung des Gefährdungspotentials ölverunreinigter Standorte: Vorläufiges Bewertungsverfahren. — Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie, 40 (6), 255–262.

#### 4 Sanierung von Altlasten

AARTEN, T., van LIERE, C. B., WATKINSON, R. J. (1987): Grundlagen des mikrobiellen Abbaus von Kohlenwasserstoffen im Boden und Grundwasser. — Vortragsmanuskript zum Seminar „Mineralölbedingte Altlasten“. — Wuppertal: Technische Akademie. — 15 S.

ACHAKZI, D., SCHAAR, H., LÜHR, H.-D., PÖPPINGHAUS, K. (1988): Statusbericht zur Altlastensanierung — Technologien und F+E-Aktivitäten. — Bonn: BMFT-Sonderdruck anlässlich des 2. Internationalen TNO/BMFT-Kongresses (FKZ: 146 05 05 3). — 233 S.

AHRENS, A. (1989): Demokratische Rechte unterlaufen: Die Planung einer Hochtemperaturverbrennungsanlage offenbart eine gescheiterte Abfallpolitik. — Müll-Magazin 1/89, S. 45–47.

ALTMANN, B.-R., RÜDDIGER, G., LILIE, R. H. (1988): Erfahrungsbericht über die biologische ex situ-Sanierung ölverunreinigter Böden. — DGMK-Projekt 396-02. — Hamburg. — DGMK (Hrsg.), als Manuskript gedruckt. — 43 S.

ALYANAK, J., BIHLMAIER, B. (1988): Langzeitverhalten von Einkapselungsmaterialien — speziell bei der Sanierung von Sonderabfalldeponien. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 639–641.

APPEL, D. (1989): Das Multibarrierenkonzept bei oberflächennahen Sonderabfalldeponien. — Die Geowissenschaften 7 (5), 133–136.

ARENDR, G., HURTIG, H.-W., JELLEN, H., WAGNER, W., SCHÖNBORN, W. (1988): Mikrobiologische Untersuchungen eines KW/CKW-kontaminierten Grundwassers in Hinsicht auf biologische Sanierungsmaßnahmen. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 241–243.

ARSU/NWP-Bericht (1989): s. STRASSER et al. (1989).

ARZ, P. (1987): Altlastensanierung durch eine doppelwandige Umschließung der Deponie Rautenweg in Wien. — In: JESSBERGER, H. L. (Hrsg.): Seminar über Altlasten und kontaminierte Standorte — Erkundung und Sanierung. — Bochum: Ruhr-Universität. — Manuskript.

ARZ, P. (1988): Das Dichtwand-Kammersystem — Funktionskontrolle und Langzeitbeobachtung für Deponieumschließungen. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 631–633.

ASSINK, J. W. (1988): Physikalisch-chemische Behandlungsmethoden zur Bodensanierung. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 875–885.

AUGUST, H., TATZKY, R. (1987): Kombinationsdichtung — eine Schadstoffbarriere zur Abdichtung von Deponien und Altlasten. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten (1). — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 579–587.

BACHMANN, A., ZEHNDER, A. J. B. (1988): Technische Bedeutung fundamentaler Konzepte des biologischen Abbaus von Xenobiotika in Böden. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 689–695.

BACHMANN, G. (1988): Entgiftung des Bodens? — Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht 11 (2), 119–136.

BATTERMANN, G. (1987): Kies- und Sand-Sedimente durch In-Situ-Techniken sanieren: Mikroorganismen zersetzen organische Schadstoffe. — Umwelt (VDI) 7–8/87, S. 417–422.

BATTERMANN, G., WERNER, P. (1984): Beseitigung einer Untergrundkontamination mit Kohlenwasserstoffen durch mikrobiellen Abbau. — gwf-Wasser-Abwasser 125 (8), 336–373.

Baubehörde Hamburg (Hrsg.) (1986): Arbeitsschutz-Handbuch für die Deponie Georgswerder (Stand: 5/86). — Hamburg. — 67 S. zuzüglich Merkblatt-Sammlung.

BEINE, R. A. (1986): Oberflächenabdeckung. — In: JESSBERGER, H. L. (Hrsg.): Seminar über Altlasten und kontaminierte Standorte — Erkundung und Sanierung. — Bochum: Ruhr-Universität. — S. 203–214.

BEINE, R. A., GEIL, M. (1985): Eigenschaften von Dichtungselementen und deren Prüfung. — In: JESSBERGER, H. L. (Hrsg.): Seminar über Altlasten und kontaminierte Standorte — Erkundung und Sanierung. — Bochum: Ruhr-Universität. — S. 136–166.

BENDER, H., BÖHM, A. (1986): Einsatz von Adsorbentien zur Reinigung von mit organischen Schadstoffen kontaminierten Abwässern. — In: BIG-TECH Berlin (Hrsg.): Umwelttechnik-Fachgespräch „Abwas-

- serreinigung bei der Sanierung kontaminierter Böden" am 27. November 1986. — Vortragsmanuskript, 19 S.
- BENNETT, D. A. (1988): Assessing Risk & Health Effects at Hazardous Waste Sites. — In: BMU/UBA (Hrsg.): Workshop „Remedial Action at Abandoned Waste Sites/Altlasten — Untersuchung, Bewertung und Sanierungstechnologien“ am 13. und 14. Oktober 1988. — Bonn, Berlin. — S. 177-201.
- BG (Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften/Fachauschuß Tiefbau) (1989): Sicherheitsregeln für Bauarbeiten in kontaminierten Bereichen. — Entwurf: Juli 1989. — Sankt Augustin. — Bestell-Nr.: ZH 1/183.
- BIENER, E. (1988): Sanierung des Geländes einer ehemaligen Maschinenfabrik durch Bodenluftabsaugung und mikrobiologische Bodenreinigung. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 5.4.1.1.4, S. 1-7.
- BINDER, H. (1986): Mechanismen des Stoffübergangs und Ausspülvorgänge bei der Wäsche kontaminierter Böden. In: BIG-TECH Berlin (Hrsg.): Umwelttechnik-Fachgespräch „Abwasserreinigung bei der Sanierung kontaminierter Böden“ am 27. November 1986. — Vortragsmanuskript, 7 S.
- BMU/UBA (Hrsg.) (1988): Unterlagen zum Workshop „Remedial Action at Abandoned Waste Sites/Altlasten — Untersuchung, Bewertung und Sanierungstechnologien“ mit Experten der U. S. Environmental Protection Agency, Bonn, 13. und 14. Oktober 1988. — Bonn, Berlin.
- BÖLSING, F. (1986): Bodenaufbereitung mit Hilfe dispergierender chemischer Reaktionen. — In: Zentrum für Abfallforschung der TU Braunschweig (Hrsg.): Bodensanierung und Grundwasserreinigung — Wiedernutzung von Altstandorten. — Braunschweig: TU. — S. 277-310.
- BÖLSING, F. (1987): Das DCR-Verfahren. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten (1). — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 444-464.
- BRUCKNER, F. (1988): Überblick über die Anlagen zur Reinigung des ungesättigten und des gesättigten Bodenbereichs. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 1057-1062.
- Bundesverband Deutscher Geologen (BDG) (1987): Empfehlungen zur Behandlung von Altlasten. — Informationsschrift. — Bonn: BDG.
- BURMEIER, H. (1987): Arbeiten im Bereich kontaminierter Standorte — Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten. — Die Tiefbau-Berufsgenossenschaft 99 (7), 8 S. (Sonderdruck).
- BURMEIER, H. (1988): Arbeiten im Bereich kontaminierter Standorte — Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 335-356.
- BUS (1986): Verbrennung dioxinhaltiger Abfälle aus Seveso. — Schlußbericht der Expertenkommission vom 7. Mai 1986. — Bern: Bundesamt für Umweltschutz. Basel: Baudepartement des Kantons Basel-Stadt. — 88 S.
- BUSS, J. (1986): Möglichkeiten und Grenzen von hydraulischen Sanierungsmaßnahmen. — In: Zentrum für Abfallforschung der TU Braunschweig (Hrsg.): Bodensanierung und Grundwasserreinigung — Wiedernutzung von Altstandorten. — Braunschweig: TU. — S. 83-96.
- CHAKRABARTY, A. M. (1985): Genetically-manipulated Microorganisms and Their Products in the Oil Services Industries. — Trends in Biotechnology 3, 32-38.
- CHAKRABARTY, A. M. (1986): Genetisch manipulierte Mikroorganismen im Labor erfolgreich eingesetzt: Dioxine werden mikrobiell abgebaut. — Umwelt (VDI) 4/86, 305.
- COLLINS, H.-J. (1986): Physikalische Grundlagen für Auswaschungen in situ. — In: Zentrum für Abfallforschung der TU Braunschweig (Hrsg.): Bodensanierung und Grundwasserreinigung — Wiedernutzung von Altstandorten. — Braunschweig: TU. — S. 189-205.
- DEFREGGER, F. (1988): Konzepte und Maßnahmen zur Sanierung der ehemaligen Chemischen Fabrik Marktredwitz. — In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin (FGU) (Hrsg.): Seminar „Sanierung kontaminierter Standorte 1988“. — Berlin: FGU. — S. 21-28.
- DE LEER, E. W. B. (1988): Fortschritte in der Behandlung von Böden, die mit chlororganischen Verbindungen kontaminiert sind: Ein Vergleich zwischen den Niederlanden und den USA. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 779-788.
- DERNBACH, H. (1987): Gaskontrollmessungen auf überbauten Altablagerungen der Freien und Hansestadt Hamburg. — In: Zentrum für Abfallforschung der TU Braunschweig (ZAF) (Hrsg.): Möglichkeiten der Überwachung und Kontrolle von Deponien und Altablagerungen. — Braunschweig: ZAF. — S. 333-350.
- DÖRHÖFER, G. (1987): Geologische Standorttypen für Deponien: Ein Ansatz zur Definition der geologischen Barriere. — Berichte der 6. Nationalen Tagung der Ingenieur-Geologen 1987, S. 21-38.
- DUNGS, H. (1988): Mobile Anlage — schwimmend — zur thermischen Reinigung kontaminierter Schüttgüter. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 875-884.
- EBEL, W., WEINGRAN, C. (1988): Erfahrungen, Probleme und Lösungsmöglichkeiten bei der Wiedernutzung kontaminierter Industriestandorte aus der Sicht der LEG NW. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Alt-

- lastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 507–616.
- EHRESMANN, J. (1988): Neues Konzept für flächen-deckende Entsorgung von kontaminierten Böden aus Unfällen und Altlasten. — Müll und Abfall 20 (4), 155–163.
- EHRESMANN, J., RETTENBERGER, G., TABASARAN, O. (1987): Das Sanierungsprogramm an der SAD Gerolsheim. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten (1). — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 727–733.
- EHRESMANN, J., STROH, D. (1988): Entwicklung der Dichtwandtechnik — gezeigt am Ausführungsbeispiel der SAD Gerolsheim. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 999–1012.
- EHRIG, H.-J. (1987): Überlegungen zur notwendigen Dauer von Kontrollmessungen bei Altablagerungen. — In: Zentrum für Abfallforschung der TU Braunschweig (ZAF) (Hrsg.): Möglichkeiten der Überwachung und Kontrolle von Deponien und Altablagerungen. — Braunschweig: ZAF. — S. 361–388.
- EHRIG, H.-J. (1988): Stau- und Sickerwasserbehandlungsverfahren — Überblick. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 5.4.3.1.0, S. 1–10.
- ENSELING, A., KRINGS, W. (1988): Verfestigung kontaminierter Böden und Ablagerung auf der Deponie. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 1013–1020.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (Hrsg.) (1986): Technical Guidance Document: Construction Quality Assurance for Hazardous Waste Land Disposal Facilities. — EPA 530 — SW 86–031 OSWER Policy Directive No. 94 72 003.
- FABRICIUS, E. W. (1988): Möglichkeiten der Behandlung CKW-kontaminierter Grundwassers und Erdreichs. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 1063–1071.
- FILIP, Z., GELLER, A., MILDE, G. (1987): Biotechnologische Prinzipien und umwelthygienische Aspekte von 'in situ'-Sanierungsmaßnahmen im Boden- und Grundwasserbereich. — In: FILIP, Z. (Hrsg.): Kurzfassungen der Referate des Internationalen Fachgesprächs „Biotechnologische 'In-Situ'-Sanierungsmaßnahmen im Boden- und Grundwasserbereich und ihre umwelthygienische Bedeutung“. — Langen: WaBoLu. — 1 S.
- FILIP, Z., GELLER, A., SCHIEFER, B., SCHWEFER, H.-J., WEIRICH, G. (1989): Untersuchung und Bewertung von In-situ-biotechnologischen Verfahren zur Sanierung des Bodens und des Untergrundes durch Abbau petrochemischer Umweltchemikalien. — Bonn: BMFT-Forschungsbericht (FKZ: 144 04 56). — 323 S.
- FILIP, Z., KLINGMÜLLER, W., WACKERNAGEL, W. (1988): Untersuchungen zum Verhalten genmanipulierter Bakterien im Boden und Grundwasser. — Bundesgesundheitsblatt 11/88, S. 432–434.
- FILIP, Z., MILDE, G. (1988): Biotechnologische Prinzipien und umwelthygienische Aspekte von In-situ-Sanierungsmaßnahmen im Boden- und Grundwasserbereich. — In: FILIP, Z. (Hrsg.): Biotechnologische In-situ-Sanierung kontaminierter Standorte. Internationales Fachgespräch in Langen, 11./12. Mai 1987. — Stuttgart: G. Fischer. — Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 80, S. 11–37.
- FINSTERWALDER, K. (1989): Stofftransport-Prozesse in Deponie-Ummantelungen von Altlasten — ihr Einfluß auf den Entwurf der Abdichtungen. — In: JESSBERGER, H. L. (Hrsg.): Erkundung und Sanierung von Altlasten. — Rotterdam: A. A. Balkema. — S. 99–106.
- FLEISCHMANN, E. W. (1988): Vom Traum zum Alptraum: Bei der Planung einer Grünanlage stieß man in Krefeld auf eine „Lagerstätte“. — Zeitung für kommunale Wirtschaft 35 (12), 26.
- FÖRSTNER, U. (1987): Demobilisierung von Schwermetallen in Schlämmen und festen Abfallstoffen. — In: HÖSEL, G. et al. (Hrsg.): Müll-Handbuch. — Berlin: E. Schmidt. — Bd. 3, Kap. 4515. — 20 S.
- FORTMANN, J. (1987): Thermische Verfahren zur Behandlung verunreinigter Böden. — In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Untersuchung, Beurteilung und Sanierung industrieller Altlasten. — VDI-Seminar, 1./2. Oktober 1987, Düsseldorf. — Düsseldorf: VDI-Bildungswerk. — BW 7906. — 9 S.
- FRANZIUS, V. (1986): Neue Entwicklungen in der Sanierungstechnik von kontaminierten Böden. — Vortrag bei der DECHEMA-Jahrestagung 1986 am 5./6. Juni 1986 in Frankfurt/Main.
- FRANZIUS, V. (1988): Bodenreinigung bei der Altlastensanierung. — In: KOMPA, R., FEHLAU, K.-P. (Hrsg.): Altlasten und kontaminierte Standorte. — Köln: Verl. TÜV Rheinland. — S. 65–87.
- FRANZIUS, V. (1989): Stand und Entwicklung von Bodensanierungsverfahren. — Umwelttechnik Berlin 3/89, S. 5–6.
- FRANZIUS, V., STEGMANN, R., WOLF, K. (ab 1988) (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Loseblattsammlung, 2 Ordner. — Grundwerk bis 4. Lieferung 11/89.
- GANSE, J. (1988): Sanierung spezieller Altlasten, dargestellt am Beispiel der ehemaligen Chemischen Fabrik Marktredwitz. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 371–380.
- GEBHARD, I. (1988): Reinigung von kontaminierten Böden in einer mehrstufigen mobilen Waschanlage. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 781–786.

- GEBHARDT, K.-H. (1987): An Kiefernborke gebundene Mikroorganismen bauen Mineralöl ab: Biologisch „genesene“ Böden. — Umwelt (VDI) 7—8/87, S. 414—416.
- GEBHARDT, K.-H. (1988): Das Shell BIOREG-Verfahren. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 693—700.
- GEBHARDT, K.-H., MATT, K. (1989): Altlastensanierung in on-site Regenerationsmieten. — Abwassertechnik 40 (3), 38—39.
- GLÄSER, E. (1988): Hochtemperaturbehandlungsanlage für organisch verunreinigte Böden — Fallbeispiel Züblin. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 5.4.1.4.1, S. 1—6.
- GLÄSER, E., BEITINGER, E. (1987): Kombinierte Dichtwände zur Abkapselung von Deponien. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten (1). — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 571—578.
- GOETZ, D. (1988): Wiederverwertbarkeit von gereinigten Böden. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. Grundwerk, Kap. 7.3, S. 1—7.
- GOLWER, A., WALLHÄUSSER, K. H. (1985): Mikrobiologische und chemische Untersuchungen bei Unfällen mit Mineralölprodukten. — Erdöl, Kohle, Erdgas, Petrochemie (EKEP) 38 (2), 70—80.
- GOTTSCHLING, R. (1988): Behandlung von Abluft aus der Sanierung von CKW-kontaminierten Standorten — Fallbeispiele. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 5.4.4.1.1, S. 1—9.
- GÜNTHER, K. (1988): Oberflächenabdeckung für Deponien und Altlasten. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 577—592.
- GÜNTHER, K., BÖCKMANN, F. J. (1989): Generelle Methoden zur Deponiesanierung. — Die Tiefbau-Berufsgenossenschaft 101, 34—39 (Sonderdruck).
- GÜNTHER, K., MESCHEDE, T. (1988): Flüssigkeitsentzug — ein Element bei der Sanierung von Altlasten: Standorterkundung mit Beobachtungspegeln. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 949—951.
- HAGENMAIER, H., BRUNNER, H., HAAG, R., KRAFT, M. (1987): Die Bedeutung katalytischer Effekte bei der Bildung und Zerstörung von polychlorierten Dibenzodioxinen und polychlorierten Dibenzofuranen. — In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Dioxin — eine technische, analytische, ökologische und toxikologische Herausforderung. — Kolloquium in Mannheim, 5.—7. Mai 1987. — Düsseldorf: VDI-Verl. — VDI-Berichte 634, S. 557—584.
- HAHN, R. (1988): CKW-Absaugversuche auf einer Deponie zur Ermittlung des Gefährdungspotentials. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 953—954.
- HAMPEL, H. J., FITZPATRICK, V. F. (1988): In situ Verglasung — eine neu entwickelte Schmelztechnologie zur thermischen Sanierung von kontaminierten Böden. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 871—873.
- HANERT, H. H. (1986): Mikrobiologische Bewertung von kontaminierten Standorten im Hinblick auf eine biologische in situ-Sanierung. — In: Zentrum für Abfallforschung der TU Braunschweig (Hrsg.): Bodensanierung und Grundwasserreinigung — Wiedernutzung von Altstandorten. — Braunschweig: TU. — S. 143—153.
- HANERT, H. H., HARBORTH, P., LEHMANN, M., WINDT, E., RINKEL, U., SCHEIBEL, H. J., HOPPENHEIDT, K., ROSE, H. (1987): Technische in situ Maßnahmen und ihre umwelthygienische Überwachung bei der biologischen Reinigung von halogenorganisch belasteten Böden und Grundwässern. — In: Haus der Technik (HdT) (Hrsg.): Fachveranstaltung Nr. F-50-002-084-7 am 2. Dezember 1987. — Essen: HdT.
- HANERT, H. H., HARBORTH, P., LEHMANN, M., WINDT, E., RINKEL, U., SCHEIBEL, H. J., HOPPENHEIDT, K., ROSE, H., NIEMEYER, T. (1988): Biologische Selbstreinigung in Böden und Grundwässern und ihre technologische Nutzung in der Bodensanierung und Grundwasserreinigung. — Braunschweig: Verein zur Reinhaltung der Gewässer. — Sonderdruck. — 40 S.
- HARTMANN, H., NEHRING, C. (1988): Thermische Verfahren zur Bodensanierung. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — 1. Lieferung 12/88, Kap. 5.4.1.4.0, S. 1—16.
- HASS, H. J. (1985): Allseitige Einkapselung von Schadstoffen im Untergrund mittels schadstoffresistenter Injektionsgele und Dichtwandmassen. — In: Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.): Symposium „Kontaminierte Standorte und Gewässerschutz“, Aachen, 1.—3. Oktober 1984. — Berlin: E. Schmidt. — UBA Materialien 1/85, S. 357—408.
- HASS, H. J., HITZE, R. (1987): Chemikalienbeständige Einkapselung von Altlasten. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten (1). — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 543—570.
- HILL, R. D., OLEXSEY, R. A. (1989): Overview of the Superfund Innovative Technology Evaluation (SITE) Program. — SITE Program Update: Part I. — JAPCA 39 (1), 16—21.

- HITZE, R. (1987): Einsatz der schadstoffresistenten DYNAGROUT Abdichtungsmaterialien, geschildert an konkreten Beispielen der Schadstoffumschließung durch Schlitzwandbau und Injektionstechnik. — In: JESSBERGER, H. L. (Hrsg.): Seminar über Altlasten und kontaminierte Standorte — Erkundung und Sanierung. — Bochum: Ruhr-Universität. — Sonderdruck.
- HÖFER, U. (1988): Bautechnische Anwendung zur schadlosen Einbindung kokereispezifischer Altlasten nach einem Verfestigungsverfahren nach „Heide-Werner“ und erste Erfahrungen hinsichtlich des Eluierungsverhaltens. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 977—986.
- HÖSEL, G., von LERSNER, H. (bis 1989): Recht der Abfallbeseitigung des Bundes und der Länder. — Kommentar zum Abfallgesetz; Nebengesetze und sonstige Vorschriften. — Berlin: E. Schmidt.
- HÖTZL, H., WOHNLICH, S. (1988): Möglichkeiten und Grenzen mineralischer Oberflächenabdichtungen. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 665—667.
- HOLZWARTH, W. (1988): Erfahrungen bei der Sanierung von CKW-Schadensfällen. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 955—957.
- HURTIG, H.-W., FLOTHMANN, D., HINTZ, R.-A., RIPPEN, G., SCHERER, K.-H., SCHÖNBORN, W., VAN STRAATEN, L. (1986): Statusbericht zur Sanierung von kontaminierten Standorten: Übersicht über Sanierungskonzepte und Sanierungsmaßnahmen in Forschung und Praxis. — Bonn: BMFT-Forschungsbericht (FKZ: 143 03 40). — 251 S.
- HURTIG, H.-W., KNACKER, T., SCHALLNASS, H., ARENDT, G. (1988): In situ-Mobilisierung von Restölkonzentrationen im Boden — Entwicklung eines Verfahrens zur Auswahl von ölmobilisierenden Detergentien. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 941—948.
- HÜTTERMANN, A., LOSKE, D., MAJCHERCZYK, A. (1988): Der Einsatz von Weißfäulepilzen bei der Sanierung von besonders problematischen Altlasten. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 713—726.
- HÜTTERMANN, A., LOSKE, D., MAJCHERCZYK, A., ZADRAZIL, F. (1989): Einsatz von Weißfäulepilzen bei der Sanierung kontaminierter Böden. — In: BMFT (Hrsg.): Fortschritte in der Anwendung der Biotechnologie. — 7 S. (im Druck).
- HÜTTERMANN, A., TROJANOWSKI, J. (1986): Ein Konzept für eine In-situ Sanierung von mit schwer abbaubaren Aromaten belasteten Böden durch Inkubation mit dafür geeigneten Weißfäulepilzen und Stroh. — In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin (FGU) (Hrsg.): Seminar „Sanierung kontaminierter Standorte 1986“. — Berlin: FGU. — S. 150—157.
- JAGER, J., MESSERSCHMIDT, K., TIEBEL, CH. (1988): Kompostierung kontaminierter Böden. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 727—737.
- JESSBERGER, H. L. (1985): Verfahren zur Herstellung von Einkapselungen. — In: JESSBERGER, H. L. (Hrsg.): Seminar über Altlasten und kontaminierte Standorte — Erkundung und Sanierung. — Bochum: Ruhr-Universität. — S. 117—135.
- JESSBERGER, H. L. (1986): Überblick über die Sanierungsmöglichkeiten von Altablagerungen und kontaminierten Standorten. — Vortragsmanuskript zum Seminar über Altlasten und kontaminierte Standorte. — Bochum: Ruhr-Universität.
- JESSBERGER, H. L. (1987): Abdichtungs- und Sanierungstechniken bei Deponien und Altlasten — derzeitiger Diskussionsstand. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Deponie. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 419—447.
- JESSBERGER, H. L. (1988): Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e. V. — Bautechnik 65, 289—300.
- JESSBERGER, H. L., GEIL, M. (1988): Eigenschaften und Anforderungen an Dichtwandmassen. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 5.3.3.0.2, S. 1—10.
- KÄMPFER, P., DOTT, W. (1988): Systematisierung der mikrobiologischen Untersuchung von Boden und Wasser. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 649—674.
- KANNE, R. (1987): Mikrobiologische Möglichkeiten der Sanierung kontaminierter Böden. — Vortragsmanuskript zum Lehrgang „Altdeponien/Altlasten“ der Technischen Akademie Eßlingen am 5./6. März 1987. — 16 S.
- KERN, A. (1987): Prüfung des Erkundungs-, Sanierungs- und Sicherungsbedarfs bei kontaminierten Standorten. — In: STRIEGNITZ, M. (Hrsg.): Sanierung von Altlasten, Deponien und anderen kontaminierten Standorten. — Rehburg-Loccum: Evangelische Akademie Loccum. — Loccumer Protokolle 3/86, S. 65—75 (erschienen 1987).
- KERTESS, M. (1986): Praktische Grundwasserreinigung auf chemisch-physikalischem Wege. — In: BIG-TECH Berlin (Hrsg.): Umwelttechnik-Fachgespräch „Abwasserreinigung bei der Sanierung kontaminierter Böden“ am 27. November 1986. — Vortragsmanuskript, 14 S.
- KHORASANI, R., WIENBERG, R., FÖRSTNER, U. (1988): Verfestigung, Stabilisierung und Einbindung organischer Schadstoffe aus Deponien unter besonde-

- rer Berücksichtigung anorganischer und organischer Füllstoffe und Bindemittel. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 987–996.
- KILGER, R. (1988): Grundverfahren für die Behandlung nichtwäßriger Flüssigkeiten aus Altlasten — Überblick. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 5.4.3.3.0, S. 1–6.
- KINNER, U. H. (1988): Mikrobiologische Behandlung kontaminierter Böden in Reaktoren: Beitrag eines Entsorgungsunternehmens. — In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin (FGU) (Hrsg.): Seminar Sanierung kontaminierter Standorte 1988. — Berlin: FGU. — S. 221–223.
- KNIPSCHILD, F. W. (1986): Kunststoffdichtungsbahnen. — In: JESSBERGER, H. L. (Hrsg.): Seminar über Altlasten und kontaminierte Standorte. — Bochum: Ruhr-Universität. — S. 175–188.
- KNIPSCHILD, F. W. (1988): Kunststoffdichtungen. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 5.3.1.3, S. 1–16.
- KOLLBACH, J., DAHM, W., RAUTENBACH, R. (1988): Aufbereitung hochbelasteter Abwässer — ein Verfahrensvergleich. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 2, S. 1285–1287.
- KRUTZ, M. (1989): Sanierung durch Ionenaustauscher — zum Beispiel bei chromverunreinigtem Grundwasser. — Entsorgungs-Praxis 7 (1–2), 34–36.
- KÜGLER, J.-U. (1986): Natürliche Bodenabdichtung mit pulverförmigem Wasserglas. — Müll und Abfall 18 (12), 483–488.
- KUTZNER, H. J. (1987): Mechanismen des mikrobiellen Abbaues petrochemischer Produkte. — In: FILIP, Z. (Hrsg.): Kurzfassungen der Referate des Internationalen Fachgesprächs „Biotechnologische 'In-Situ'-Sanierungsmaßnahmen im Boden- und Grundwasserbereich und ihre umwelthygienische Bedeutung“. — Langen: WaBoLu. — 1 S.
- LORENZ, H. (1983): PCB-Gehalte in verschiedenen Matrices, deren Verhalten in der Nahrungskette und Möglichkeiten zur Verminderung der Gehalte. — Kap. 8: Böden. — In: LORENZ, H., NEUMEIER, G. (Hrsg.): Polychlorierte Biphenyle (PCB). — München: MMV. — bga-Schriften 4/1983, S. 81–90.
- MARKWARDT, N., REICH, G. (1987): Das Programmsystem HELP zu Wasserhaushaltsberechnungen von Deponien. — Müll und Abfall 19 (12), 503–506.
- MELCHIOR, S., MIEHLICH, G. (1987): Untersuchungen zum Wasserhaushalt mehrschichtiger Oberflächendichtsysteme auf der Deponie Georgswerder, Hamburg. — Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 55 (1), 213–218.
- MELCHIOR, S., MIEHLICH, G. (1988): Untersuchungen zum Wasserhaushalt mehrschichtiger Oberflächendichtsysteme auf der Deponie Georgswerder, Hamburg. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 673–675.
- MELF NW (Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (1985): Hinweise zur Ermittlung von Altlasten: Erfassung, Erstbewertung, Untersuchung und Beurteilung von Altablagerungen und gefahrverdächtigen Altstandorten. — Düsseldorf. — 97 S. zuzüglich Anhang.
- MELUF BW (Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg) (Hrsg.) (1985): Leitfaden für die Beurteilung und Behandlung von Grundwasserreinigungen durch leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe. — 2. Aufl. — Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz. — Wasserwirtschaftsverwaltung, H. 13. — 104 S.
- MESECK, H. (1987): Langzeitkontrolle behandelter Altlasten. — In: Zentrum für Abfallforschung der TU Braunschweig (ZAF) (Hrsg.): Möglichkeiten der Überwachung und Kontrolle von Deponien und Altablagerungen. — Braunschweig: ZAF. — S. 333–350.
- MESECK, H., GLÄSER, E. (1987): Möglichkeiten der nachträglichen Herstellung horizontaler Dichtungssohlen bei Deponien und Altlasten. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten (1). — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 534–542.
- MESECK, H., HERMANN, R. (1988): Beständigkeit mineralischer Dichtwandmasse gegenüber Sickerwässern aus Altlasten. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 601–613.
- MESECK, H., KNÜPFER, J. (1989): Generelle Verfahren der Einkapselung von Altlasten — Überblick. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — 3. Lieferung 6/89, Kap. 5.3.0, S. 1–21.
- MICHEL-KIM, H., HOSSEINPOUR, J. (1986): Reinigung von Abwässern mit Kolloiden. — In: BIG-TECH Berlin (Hrsg.): Umwelttechnik-Fachgespräch „Abwasserreinigung bei der Sanierung kontaminierter Böden“ am 27. November 1986. — Vortragsmanuskript. 5 S.
- MILDE, G., FRIESEL, P., KERNDORFF, H. (1986): Prioritäten bei der Altlastensanierung aus der Sicht des Gewässerschutzes. — In: Vereinigung Deutscher Gewässerschutz (VDG) (Hrsg.): Altlastensanierung aus der Sicht des Gewässerschutzes. — Bonn: VDG. — Schriftenreihe der Vereinigung Deutscher Gewässerschutz 52, S. 7–45.
- MÜLLER-KIRCHBAUER, H., FRIEDRICH, W., GREMMEL, D., MARKWARDT, W., ROGNER, J. (1988): Neue Ergebnisse und Aspekte auf dem Gebiete der Dichtwandforschung. — In: WOLF, K. et al.

- (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 565–576.
- MURL NW (Der Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (1987): Hinweise zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten: Darstellung und Bewertung von Sanierungsverfahren. — 2. Aufl. — Düsseldorf: MURL NW. — Loseblattsammlung, 1. Teillieferung Oktober 1987.
- NEIDHARD, H., HERRMANN, M. (1987): Abbau, Persistenz, Transport polychlorierter Dibenzodioxine und Dibenzfurane in der Umwelt. — In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Dioxin — eine technische, analytische, ökologische und toxikologische Herausforderung. — Kolloquium in Mannheim, 5.–7. Mai 1987. — Düsseldorf: VDI-Verl. — VDI-Berichte 634, S. 303–316.
- NEUMEIER, W., HAAS, R., von LÖW, E. (1989): Mikrobieller Abbau aus einer ehemaligen Sprengstoffproduktion — Teil 1: Abbau von 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT). — Forum Städte-Hygiene 40 (1–2), 32–37.
- NICHOLAS, R. B. (1987): Biotechnology in Hazardous-Waste Disposal: an Unfulfilled Promise. — ASM News 53 (3), 138–142.
- NUSSBAUMER, M. (1985): Mehrschichtige Deponiedichtwand System Züblin. — In: BMFT/UBA (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte — Dokumentation einer Fachtagung 1985 (in Wiesbaden). — Vortragsmanuskript (1985) und S. 237–246 (Bonn, Berlin = Vortragsband erschienen 1986).
- NUSSBAUMER, M. (1987): Sanierungsmaßnahmen, dargestellt an Fallbeispielen für die Einkapselung und Reinigungsmaßnahmen für kontaminierte Böden. — In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Untersuchung, Beurteilung und Sanierung industrieller Altlasten. — Düsseldorf: VDI-Bildungswerk.
- PETER, M. (1988): Vom ältesten Betrieb „zur fabrikmäßigen Herstellung von Chemikalien“ zur spektakulären Altlast: Die unheilvolle Spur des Quecksilbers muß nun auf Staatskosten beseitigt werden. — VDI-Nachrichten 42 (18), 6. — s. auch: DEFREGGER (1988).
- PLAMBECK, N. (1988): Praktische Erfahrungen mit der biologisch-physikalischen Aufbereitung kontaminierter Erden. — BR Baustoff-Recycling 4 (1), Sonderdruck. — 3 S.
- PÜTTMANN, W. (1988): Analytik des mikrobiellen Abbaus von Mineralölen in kontaminierten Böden. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 189–199.
- REHM, H. J. (1989): Zusammenfassung der gemeinsamen Diskussion im Rahmen des Expertengesprächs des DECHEMA-Arbeitsausschusses „Bodenschutz“ am 20./21. Februar 1989 in Köln. — Münster: Institut für Mikrobiologie der Universität. — Manuskript. — 8 S.
- RICHTER, H. J. (1988): Einkapselung von Altlasten mit Hilfe von Robotern. — Wasser, Luft und Betrieb (wlb) 32 (9), 75–76.
- RIPPER, P., RISS, A. (1988): Standortsituation und Sanierungskonzepte beim kontaminierten Wohngebiet Pionierpark Mülheim am Main. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 485–504.
- RIPPER, P., FRÜCHTENICHT, H., SCHARPFF, H.-J. (1988): Umweltschadensfall Pintsch-Öl Hanau. — Wasser, Luft und Betrieb (wlb) 32 (6), 60–63.
- RISS, A., GERBER, I., KESSLER-SCHMITT, M., MEISCH, H.-U., SCHWEISFURTH, R. (1988): Altlastbeseitigung mittels Nitratdosierung: Laborversuche zum mikrobiologischen Abbau von Heizöl (EL). — gwf-Wasser-Abwasser 129 (1), 32–40.
- ROTH, S. (1987): Stahlspundwand als Dichtwand zur Einschließung von Altlasten. — In: JESSBERGER, H. L. (Hrsg.): Seminar über Altlasten und kontaminierte Standorte — Erkundung und Sanierung. — Bochum: Ruhr-Universität.
- ROTH, S. (1988): Eignung von Stahlspundwänden für die Einkapselung von Altlasten. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 5.3.1.5, S. 1–7.
- RUCHAY, D. (1988): Altlastensanierung im Rahmen der Umweltpolitik des Bundes. — In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin (FGU) (Hrsg.): 167. FGU-Seminar „Altlastensanierung (Altablagerungen und Altstandorte) — rechtliche, versicherungs- und finanzierungstechnische Aspekte“, Berlin, 30./31. Mai 1988. — Vortragsmanuskript, 13 S.
- RÜDDIGER, G. (1987 a): Erfassen, Beurteilen und Sanieren mineralölkontaminierter Standorte. — Erdöl, Erdgas, Kohle 103 (1), 31–36.
- RÜDDIGER, G. (1987 b): Biologische 'in situ'-Sanierung von Mineralölkohlenwasserstoffen — Ja oder Nein? — Erdöl, Erdgas, Kohle 103 (7/8), 334–336.
- SALZWEDEL, J. (1986): Wasserrechtliche Instrumente zur Durchführung einer Sanierung und zur Begrenzung des Sanierungsaufwandes. — In: Vereinigung Deutscher Gewässerschutz (VDG) (Hrsg.): Altlastensanierung aus der Sicht des Gewässerschutzes. — Bonn: VDG. — Schriftenreihe der Vereinigung Deutscher Gewässerschutz 52, S. 47–50.
- SCHAAF, R. (1988): Aufbereitung chlorhaltiger Öle. — Entsorgungs-Praxis 6 (1–2), 16–18.
- SCHARPFF, H. J., RIPPER, P., FRÜCHTENICHT, H. (1988): Sanierung des Altölraffinerie-Standortes Pintsch-Hanau. — In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin (FGU) (Hrsg.): 177. Seminar „Sanierung kontaminierter Standorte 1988“, Berlin, 29./30. November 1988. — Berlin. — S. 83–96.



- SCHMIDT, G. (1986): Kontaminierte Kokereistandorte – Wege zur Lösung eines Altlastenproblems. – Glückauf 122 (17), 1140–1143.
- SCHMIDT, K., SCHÖTTLER, U. (1985): In-situ-Sanierung von Grundwasserkontaminationen. – In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Symposium „Kontaminierte Standorte und Gewässerschutz“, Aachen, 1.–3. Oktober 1984. – Berlin: E. Schmidt. – UBA-Materialien 1/85, S. 409–420.
- SIMONS, K. (1986): Besonderheiten der Baubetriebsplanung und Verfahrenswahl sowie Durchführbarkeitsprobleme beim Aushub, Transport und der Ablagerung kontaminierter Böden. – In: Zentrum für Abfallforschung der TU Braunschweig (Hrsg.): Bodensanierung und Grundwasserreinigung – Wiedernutzung von Altstandorten. – Braunschweig: TU. – S. 277–310.
- SIMONS, K., BARTELS-LANGWEIGE, J., HIRSCHBERGER, H. (1988): Auskofferung kontaminierter Feststoffe – Überblick. – In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. – Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. – Grundwerk, Kap. 5.1.1.0, S. 1–12.
- SOCZÓ, E. R., STAPS, J. J. M. (1988): Referat über biologische Boden-Behandlungsverfahren in den Niederlanden. – In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. – 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. – Bd. 1, S. 681–688.
- SONDERMANN, W. (1988): In situ/on site-Dekontamination von Boden und Wasser. – In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin (FGU) (Hrsg.): 177. Seminar „Sanierung kontaminierter Standorte 1988“, Berlin, 28.–30. November 1988. – Berlin. – S. 253–263.
- SONNEN, H.-D. (1986): Bodenwäsche: Ein chemisch-physikalisches Verfahren zur Behandlung großer Volumen kontaminierter Materials. – In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin (FGU) (Hrsg.): Seminar „Sanierung kontaminierter Standorte 1986“. – Berlin. – S. 49–52.
- SONNEN, H.-D. (1988): Diskussionsbeiträge zu SONNEN und KLINGEBIEL (1988) beim 2. TNO/BMFT-Kongreß.
- SONNEN, H.-D., KLINGEBIEL, S. (1988): Erfahrungen mit einer Bodenreinigungsanlage in Berlin. – In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. – 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. – Bd. 1, S. 899–905.
- SONNEN, H.-D., WERNER, W. (1986): Wiederaufbereitung kontaminierter Böden mittels Bodenwäsche. – In: Zentrum für Abfallforschung der TU Braunschweig (Hrsg.): Bodensanierung und Grundwasserreinigung – Wiedernutzung von Altstandorten. – Braunschweig: TU. – S. 237–249.
- SPYRA, W. (1988): Altlasten besonderen Gefährdungspotentials: Möglichkeiten der Sanierung. – In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. – Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. – S. 357–369.
- SPYRA, W. (1989): Sanierungsstrategie für Altlasten mit besonderem Gefährdungspotential. – Der Niedersächsische Umweltminister (Hrsg.): Expertengespräch Rüstungsaltlasten, Hannover, 25./26. April 1989 – Vortragsmanuskript, 13 S.
- SRU (1985): Umweltprobleme der Landwirtschaft (Sondergutachten). – Stuttgart: Kohlhammer.
- SRU (1987): Umweltgutachten 1987. – Stuttgart: Kohlhammer (erschienen 1988).
- STEGMANN, R., HEIDENREICH, E., GROSSTÜCK, W., von BORCK, K. (1987): Entgasung der Deponie Georgswerder. – In: FRANZIUS, V. (Hrsg.): Deponie-gasnutzung – Emissionsminderung, Sicherheitstechnik, Anlagen und Technologien. – Berlin: E. Schmidt. – Beihefte zu Müll und Abfall 26, S. 60–65.
- STIEF, K. (1986 a): Technische Konzepte zur Ausbildung von Deponien sowie zur Sanierung von Altlasten in Abhängigkeit vom Gefährdungspotential. – In: SIMONS, K. (Hrsg.): Technische, ökologische und juristische Risiken bei der Planung und Bauausführung von Deponien und bei der Sanierung von Altlasten. – Braunschweig. – Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb 18, S. 34–48.
- STIEF, K. (1986 b): Das Multibarrierenkonzept als Grundlage von Planung, Bau, Betrieb und Nachsorge von Deponien. – Müll und Abfall 18 (1), 15–20.
- STIEF, K. (1988 a): Einkapselung von Altlasten. – In: KOMPA, R., FEHLAU, K.-P. (Hrsg.): Altlasten und kontaminierte Standorte. – Köln: Verl. TÜV Rheinland. – S. 45–63.
- STIEF, K. (1988 b): Ablagern von Abfällen. – In: WALPRECHT, D. (Hrsg.): Abfall und Abfallentsorgung – Vermeidung, Verwertung und Behandlung von Abfällen: Wissenschaftliche Erkenntnisse, praktische Erfahrungen, Rechtsfragen. – Köln: Heymanns.
- STOCKMANN, A. (1989): Konzeption für die Räumung von Resten eines Spreng- und Kampfstoffmunicionsdepots aus dem 1. Weltkrieg in unmittelbarer Nähe des Frankfurter Flughafens. – In: Der Niedersächsische Umweltminister (Hrsg.): Expertengespräch Rüstungsaltlasten, Hannover, 25./26. April 1989 – Vortragsmanuskript, 12 S.
- STRASSER, H., HOLLAND, K., SCHULLER, D., RONGEN, P. (1989): Bewertungskriterien für die Folgenutzung eines Altstandortes am Beispiel des Sanierungsfalles Nordhorn Povel. – Berlin: UBA. – Texte 32/89. – 131 S.
- STUPP, H. D. (1988): Methoden zur Sicherung und Sanierung kontaminierter Standorte. – Wasser, Luft und Betrieb (wlb), Sonderausgabe ACHEMA-Report '88, S. 42–58.
- THEISSEN, H. (1988): Mikrobiologische Untergrundsanierung im Bereich der Kongreßhalle, Berlin-Tiergarten. – In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin (FGU) (Hrsg.): 177. Seminar

„Sanierung kontaminierter Standorte 1988“, Berlin, 29./30. November 1988. — Berlin. — S. 265—274.

THIES, A. (1988): Verfestigung von Sonderabfällen. — Diplomarbeit aus dem Gebiet der Siedlungswasserwirtschaft an der TU Braunschweig. — Braunschweig. — 212 S.

THOMÉ-KOZMIENSKIY, K. J. (Hrsg.) (1987 a): Deponie — Ablagerung von Abfällen. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — 897 S.

THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.) (1987 b): Altlasten (1). — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — 741 S.

THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): (1988): Altlasten 2. — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — 1071 S.

UBA (Hrsg.) (1985): Sachstand Dioxine. — Stand November 1984. — Erstellt vom Umweltbundesamt und Bundesgesundheitsamt. — Berlin: E. Schmidt. — UBA Berichte 5/85, S. 85.

UBA (Hrsg.) (1988): Jahresbericht 1987. — Kap. 18.4: Altlastensanierung. — S. 163—167.

URLINGS, L. G. C. M., ACKERMANN, V. P., VAN WOUDEBERG, J. C., VAN DER PIJL, P. P., GAASTRA, J. J. (1988): Cadmiumentfernung in situ — großtechnische Sanierung eines kontaminierten Bodens. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 931—940.

VALO, R., SALKINOJA-SALONEN, M. (1988): Biotekniiikan sovellukset ympäristönhuollossa (Biotechnologische Methoden des Umweltschutzes für Boden- und Wasserreinigung). — *Kemia-Kemi* 15 (3), 255—259 (in Finnisch, mit englischer Kurzfassung).

VOGG, H., STIEGLITZ, L. (1986): Thermal Behavior of PCDD/PCDF in Fly Ash from Municipal Incinerators. — *Chemosphere* 15 (9—12), 1373—1378.

VOGG, H., VEHLow, J., STIEGLITZ, L. (1987): Neuartige Minderungsmöglichkeiten für PCDDs/PCDFs in Müllverbrennungsanlagen. — In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Dioxin — eine technische, analytische, ökologische und toxikologische Herausforderung. — Kolloquium in Mannheim, 5.—7. Mai 1987. — Düsseldorf: VDI-Verl. — VDI-Berichte 634, S. 541—556.

VREEKEN, C., SMAN, H. T. (1988): Physikalische Verfahren für die In-Situ-Reinigung kontaminierter Bodens. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 907—917.

WEBER, H. H. (1988): Sanierung der Deponie Rautenweg/Wien. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 8.8, S. 1—6.

WEIDNER, J. (1988): Grundwasserreinigung bei der Lufthansaerft Hamburg-Fuhlsbüttel. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanie-

— Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 5.4.3.2.3, S. 1—7.

WERNER, P., BRAUCH, H.-J. (1988): Der Abbau von Kohlenwasserstoffen in kontaminierten Standorten durch In-situ- und On-site-Maßnahmen. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 707—720.

WERNICKE, G. (1988): Biologische Verfahren zur On-site-Bodensanierung — Überblick. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — Grundwerk, Kap. 5.4.1.1.0, S. 1—6.

WESSLING, E. (1988): Gasphasenextraktion zur Beseitigung von Bodenkontamination. — In: KOMPA, R., FEHLAU, K.-P. (Hrsg.): Altlasten und kontaminierte Standorte. — Köln: Verl. TÜV Rheinland. — S. 97—103.

WICHERT, H.-W. (1989): Biologische Verfahren und Bodenluft-Absaugung. — In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.): Untersuchung, Beurteilung und Sanierung industrieller Altlasten. — Fachseminar, 13./14. Juni 1989. — Düsseldorf: VDI-Bildungswerk BW 9301. — 28 S.

WIEDEMANN, H. U. (1982): Verfahren zur Verfestigung von Sonderabfällen und Stabilisierung von verunreinigten Böden: Stand der Erkenntnisse und Anwendungsmöglichkeiten. — Berlin: E. Schmidt. — UBA-Berichte 1/82. — 148 S.

WIEDEMANN, H. U. (1986): Möglichkeiten der Verfestigung kontaminierter Böden. — In: Zentrum für Abfallforschung der TU Braunschweig (Hrsg.): Bodensanierung und Grundwasserreinigung — Wiedernutzung von Altstandorten. — Braunschweig: TU. — S. 273—275.

WIEMER, K., WIEMER, J. (1987): Konsequente Dichtung und Sanierung problematischer Abfallablagerungen. — In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten (1). — Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. — S. 526—533.

WIENBERG, R., CALMANO, W. (1989): Grundlagen der Schadstoffbindung bei Verfestigungsverfahren. — In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. — Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. — 3. Lieferung 6/89, Kap. 5.4.2.0.2, S. 1—22.

WIESMANN, U., WALTER, J. (1986): Abtrennung von emulgiertem Öl aus Abwasser durch Entstabilisierung, Flockung und Flotation. — In: BIG-TECH Berlin (Hrsg.): Umwelttechnik-Fachgespräch „Abwasserreinigung bei der Sanierung kontaminierter Böden“ am 27. November 1986. — Vortragsmanuskript, 13 S.

WILES, C. C., BARTH, E., DE PERCIN, P. (1988): Der Stand der Verfestigung und Stabilisierung in den Vereinigten Staaten und die Faktoren, welche die Benutzung dieses Verfahrens beeinflussen. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/

- BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. – Bd. 1, S. 967–975.
- WOLF, K. (1987): Sanierung der Deponie Georgswerder: Sanierungskonzept und Stand der Sanierung (Oktober 1987). – Entsorgungs-Praxis 5 (12), 588–593.
- WOLF, K., VAN DEN BRINK, J., COLON, T. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. – 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. – 2 Bände. – 1717 S.
- WOLF, K., ZARTH, M. (1989): Die Deponie Hamburg-Georgswerder: Entstehung, Umweltgefahren, Sanierung. – Wasser und Boden 41 (9), S. 511ff.
- WOLTMANN, M. (1986): Sanierung des Pintsch-Geländes in Berlin. – In: BMFT/UBA (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte – Dokumentation einer Fachtagung 1985 (in Wiesbaden). – Bonn: BMFT. – S. 275–277.
- WÖSTEMEYER, J. (1987): Genetische Manipulation von Pilzen. – Forschung aktuell/TU Berlin 4 (16/17), 36–38.
- ZARTH, M. (1988): Arbeitsschutz bei der Sanierung von Altlasten. – TÜ (Technische Überwachung) 29 (9), 292–296.
- 5 Kosten und Finanzierungsbedarf**
- ACHAKZI, D., SCHAAR, H., LÜHR, H.-D., PÖPPINGHAUS, K. (1988): Statusbericht zur Altlastensanierung: Technologien und F+E-Aktivitäten. – In: Bonn, Berlin: BMFT/UBA.
- ARGEBAU (Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Länder) (1988): Altlasten im Städtebau: Arbeitshilfe in der Bauleitplanung und im Städtebau. – Köln: Deutscher Gemeindeverl. (erschienen 1989).
- BRANDT, E. (1988): Finanzbedarf und Finanzierungsansätze. – In: BRANDT, E. (Hrsg.): Altlasten – Untersuchung, Sanierung, Finanzierung. – Taunusstein: Verl. Blottner – S. 127–129.
- BT-Drucksache 11/4104: Antwort der Bundesregierung auf die große Anfrage „Altlasten“, 1. März 1989. – In Verbindung mit BT-Drucksache 11/4716: Berichterstattung, 7. Juni 1989.
- Council on Environmental Quality (1973): Environmental Quality: The Fourth Annual Report of the Council on Environmental Quality. – Washington D. C.: US Government Printing Office, Stock No. 4111-00020.
- DAHM, H. (1988): Verfahren und Kosten zur Gefährdungsabschätzung und Bodensanierung bei Altablagerungen und Altstandorten ehemaliger gewerblich oder industriell genutzter Flächen. – Der Sachverständige 15 (4), 78–88.
- DIFU (Deutsches Institut für Urbanistik) (1987): Altlasten als Rechtsproblem: Neue Difu-Studie zur Altlastenproblematik. – Difu-Berichte 3/87, S. 10.
- DIFU (1989): Bundesweite Umfrage „Altlasten in der Kommunalpraxis.“ – Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik. – UBA F+E-Vorhaben, FKZ 107 03 007/02.
- DIHT (Deutscher Industrie- und Handelstag) (1989): Altlastensanierung und ihre Finanzierung in den Bundesländern. – Köln: Deutscher Industrie- und Handelstag.
- FEHLAU, K.-P. (1986): Altlastenproblematik aus der Sicht des Landes. – In: UBA (Hrsg.): Kosten der Umweltverschmutzung. – Berlin: E. Schmidt. – UBA Berichte 7/86, S. 303–320.
- FHH-Drucksache 11/6626: Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg. – S. 29–33.
- FIEBIG, K.-H., OHLIGSCHLÄGER, G. (1989): Altlasten in den Kommunen. – In: KOMPA, R., FEHLAU, K.-P. (Hrsg.): Altlasten '89 – Flächenreaktivierung, Sanierungsziele, Arbeitsschutz, Sanierungsmanagement. – Köln: Verl. TÜV Rheinland. – S. 29–42.
- FRANZIUS, V. (1986): Kontaminierte Standorte in der Bundesrepublik Deutschland. – In: UBA (Hrsg.): Kosten der Umweltverschmutzung. – Berlin: E. Schmidt. – UBA Berichte 7/86, S. 295–302.
- GERSCHLER, L. J. (1988): Sickerwasserbehandlung auf der Sonderabfalldeponie Mönchehagen. – In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlasten-Sanierung. – Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck, Bonn: Economica Verl. – Bd. 2, Kap. 5.4.3.1.7.
- GÖRGENS, B. (1987): Hypothek und Chancen für die Kommunen. – Frankfurt: Deutscher Fachverlag. – Entsorga Schriften. Bd. 4, S. 14–17.
- JUNGWIRTH, D. (1989): Bautechniken schützen Boden und Grundwasser. – Umwelt (VDI) 19 (5), S. D. 31–36.
- KERN, A. (1986): Prüfung des Erkundungs-, Sanierungs- und Sicherungsbedarfs bei kontaminierten Standorten. – In: Sanierung von Altlasten, Deponien und anderen kontaminierten Standorten. – Rehbürg-Loccum: Evangelische Akademie Loccum. – Loccumer Protokolle 3/86 (erschienen 1987). – S. 65–75.
- KLAUS, J. (1986): Kosten der Verschmutzung von Flüssen und Seen. – In: UBA (Hrsg.): Kosten der Umweltverschmutzung. – Berlin: E. Schmidt. – UBA Berichte 7/86, S. 219–241.
- KOOPER, W. F., TIMMER, J. L. (1988): Prognosen von Grundwasserreinigungen. – In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. – 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. – Bd. 2, S. 1199–1209.
- LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) (1983): Gefährdungsabschätzung und Sanierungsmöglichkeiten bei Altablagerungen. – Informationsschrift. Anhang 2: Fallsammlung Sanierungsmaßnahmen. – In: HÖSEL, G. et al. (Hrsg.): Müll-Handbuch. – Berlin: E. Schmidt. – Kz. 4693, S. 15–31.
- LAMPE, P. (1987): Möglichkeiten und Erfolge des Grundstücksfonds Ruhr und der Landesentwicklungsgesellschaft beim Flächenrecycling angesichts

der Altlastenproblematik. — In: Kommunalverband Ruhrgebiet (Hrsg.): 3. Kolloquium zum Thema Altlasten im Ruhrgebiet. — Essen. — S. 55–71.

Landesregierung Baden-Württemberg (1987): Regierungserklärung des Herrn Ministerpräsidenten Späth vor dem Landtag am 1. April 1987. — In: Staatsministerium des Landes Baden-Württemberg (Hrsg.): Solidarität mit Mensch und Natur. — Stuttgart. — S. 11.

LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1979): Leitlinie zur Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen in der Wasserwirtschaft. — Stuttgart: Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt des Landes Baden-Württemberg.

LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1986): Leitfaden zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen 1986. — München: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft.

MELF SH (Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein) (1984): Bericht über Abfall-Altlasten in Schleswig-Holstein. — Kiel. — S. 49.

MELF SH (Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein) (1987): Zwischenbericht über die Ergebnisse der bisherigen Ermittlungen und Planungen der Altablagerungsprogramme. — Kiel.

MERK, K. (1988): Diskussionsbeitrag. — In: Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung (Hrsg.): Altlasten — Probleme — Aufgaben — Lösungsansätze. — Bonn. — S. 44.

MILLER, L. R. (1988): New Jersey's Improved ECRA Implementation: The State Answers Its Critics. — Environmental Law Reporter 18, S. 10084–10086.

MURL (Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (1987): Hinweise zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten. — Düsseldorf: Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen. — 2. Aufl., 1. Teillieferung.

NEUMAIER, H. (1989): Altlasten, eine nicht zu unterschätzende Aufgabe der Gegenwart. — Metall 43 (9), 878–881.

Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1987): Altlastenprogramm des Landes Niedersachsen — Altablagerungen. Sachstandsbericht, Stand 1. August 1987, Anlage 5 — Hildesheim.

OLSON, H. J. (1987): ECRA — New Jersey's Cleanup Statute. — Environmental Law Reporter 17, S. 10395–10399.

REUTER, A. (1988): Altlast und Grundstückskauf. — Betriebsberater 43 (8), 497–503.

RIPPER, P., FRÜCHTENICHT, H., SCHARPF, H.-J. (1988): Umweltschadensfall Pintsch-Öl Hanau. — Wasser, Luft und Boden 32 (6), 60–63.

ROSENBLOOM, J., CARLSON, F. (1988): Alternative Untersuchungsmethoden für Grundwasserverschmutzung: Bodengasanalyse und Strömungsprofil/Multi-Level-Probenahme: Eine Fallstudie. — In:

WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 1, S. 177–188.

RUDOLPH, K. U. (1988): Deponiesickerwasserbehandlung auf dem Prüfstand. — In: WOLF, K. et al. (Hrsg.): Altlastensanierung '88. — 2. TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. — Bd. 2, S. 1249–1258.

SCHARPF, H.-J., RIPPER, P., FRÜCHTENICHT, H. (1988): Sanierung des Altölraffinerie-Standortes Pintsch Hanau. — In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin (FGU) (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte 1988. — Berlin. — S. 83–96.

SCHMITT, G. P. (1985): Abkapseln oder Ausbluten? Zwei Sanierungsbeispiele bei Deponien im Vergleich. — Vortrag am 19. September 1985 im Haus der Technik, Essen, bei der Veranstaltung „Erkennung, Beurteilung und Sanierung von Grundwasserkontaminationen“.

SIMON, J. (1986): Die Berücksichtigung von Altlasten bei der Bewertung bebauter und unbebauter Grundstücke. — In: SIMONS, K. (Hrsg.): Technische, ökologische und juristische Risiken bei der Planung und Bauausführung von Deponien und bei der Sanierung von Altlasten. — Braunschweig. — Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb, H. 18, S. 150–163.

SRU (1978): Umweltgutachten 1978. — Stuttgart: Kohlhammer.

SRU (1987): Umweltgutachten 1987. — Stuttgart: Kohlhammer (erschienen 1988).

STIEF, K. (1988): Einkapselung von Altlasten. — In: KOMPA, R., FEHLAU, K.-P. (Hrsg.): Altlasten und kontaminierte Standorte. — Köln: Verl. TÜV Rheinland. — S. 45–63.

UM BW (Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg) (1988): Altlasten-Handbuch, Teil II. — Stuttgart: Verl. H. C. Flemming. — Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz. — Wasserwirtschaftsverwaltung, H. 19, S. 44–46.

WAGNER, G. R., FICHTNER, S. (1989): Kosten und Kostenrisiken der Altlastensanierung. — Zeitschrift für angewandte Umweltforschung 2 (1), 25–43.

WEBER, P., WIEGANDT, C. C. (1988): Probleme der Wiedernutzung einer Altlastenfläche: Eine Fallstudie. — In: Westfälische Wilhelms-Universität (Hrsg.): Abfall und Schadstoffbelastung. — Münster. — S. 45–48.

WESSLING, E. (1988): Diskussionsbemerkung. — In: KOMPA, M., FEHLAU, K.-P. (Hrsg.): Altlasten und kontaminierte Standorte. — Köln: Verl. TÜV Rheinland. — S. 271–272.

WEYERS, G. (1987): Altlasten und ihre Auswirkungen auf den Grundstückswert. — Sparkasse 104 (11), 488–500.

WEYERS, G. (1988): Altlasten und ihre Auswirkungen auf den Grundstückswert, speziell aus der Sicht der

Grundpfandrechtsgläubiger. — In: Deutscher Verband für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung. — Bonn. — S. 94—106.

WICHERT, H.-W. (1989): Erfahrungen aus der Altlasten-Beratungs-Vermittlung von Industrie und Gewerbe. — In: KEUNE, H., FOUQUET, G. (Hrsg.): Altlasten: Altdeponien — kontaminierte Standorte. — Ehningen: expert-Verl. — Kontakt und Studium. Bd. 269, S. 169—180.

WICKE, L. (1987): Altlastensanierung in der Bundesrepublik Deutschland: Fragen, Probleme, neue Lösungswege. — Umwelt und Energie: Handbuch für die gewerbliche Praxis 8 (2), Gruppe 4, S. 1—22.

WICKE, L., JANZ, N. (1988): Rechnet sich der Umweltschutz? — Umweltmagazin 17 (8), 24—26.

## 6 Möglichkeiten der Finanzierung bei der Altlastensanierung

BEHRENS, F. (1977): Umweltschutzsubventionen, Verursacherprinzip und Europäisches Gemeinschaftsrecht. — Europarecht 12 (3), 240—258.

BENKERT, W. (1986): Die Bedeutung des Gemeinlastprinzips in der Umweltpolitik. — Zeitschrift für Umweltpolitik 9 (3), 213—239.

BOTHE, M. (1987): Rechtliche Spielräume für die Abfallpolitik der Länder nach Inkrafttreten des Bundesgesetzes über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen vom 27. August 1986. — Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht 6 (11), 938—947.

BRANDT, E. (1987): Finanzierung der Altlastensanierung im Abfallbereich. — UBA F+E-Vorhaben, FKZ 103 03 307.

BRANDT, E., LANGE, H. (1987): Kostentragung bei der Altlastensanierung. — Umwelt- und Planungsrecht 7 (1), 11—18.

BRANDT, E., LANGE, H., WAGNER, H. (1988): Finanzierung der Altlastensanierung in Berlin. — Gutachten für die Enquête-Kommission „Bodenschmutzungen, Bodennutzung und Bodenschutz“ des Abgeordnetenhauses von Berlin. — Hamburg.

BREUER, R. (1987): Rechtsprobleme der Altlasten. — Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht 6 (9), 751—761.

EG-KOMMISSION (1987): Sechzehnter Bericht über die Wettbewerbspolitik. — Brüssel.

EG-KOMMISSION (1989): The Polluter Pays Principle: draft communication to the council. — Arbeitspapier vom 26. Januar 1989. — Brüssel.

FRANZIUS, V. (1989): Vorgehensweise beim Superfund mit einem Ausblick auf das neue Hazard Ranking System. — In: KOMPA, R., FEHLAU, K.-P. (Hrsg.): Altlasten '89 — Flächenreaktivierung, Sanierungsziele, Arbeitsschutz, Sanierungsmanagement. — Köln: Verl. TÜV Rheinland. — S. 167—177.

FRIAUF, K. H. (1987): Altlastensanierung durch „Lizenzabgaben“ auf die Sonderabfallentsorgung? Verfassungsrechtliche Aspekte des Nordrhein-Westfa-

len-Modells. — Rechtsgutachten erstattet im Auftrag der Wirtschaftsvereinigung Eisen- und Stahlindustrie. — Düsseldorf.

GIESELER, G., BORG, D., COUMOULOS, D. G., FINNECY, E. E., FUCCI, G., GOUBIER, R., JUNQUERA, M., KABOS, R., PALMARK, M., PARKER, A., POLACHINI, V., REIS, M., De la VEGA, M., VISSER, W. (1987): Altlasten in der EG. — Bonn, Berlin: BMFT/UBA.

GRABITZ, E. (1988), in: GRABITZ, E. (Hrsg.): Kommentar zum EWGV. — München: C. H. Beck. — Art. 130r—t.

GROEBEN, H. von der, BOECKH, H. von, THIESING, J., EHLERMANN, C. D. (1983): Kommentar zum EWGV. — Baden-Baden: Nomos. — 3. Aufl. — Bd. 1, Art. 1—136.

HAJEN, L. (1986): Organisation und Finanzierung der Altlastensanierung. — Zeitschrift für Umweltpolitik 9 (4), 349—373.

HÖSEL, G., LERSNER, H. von (1989): Recht der Abfallbeseitigung. — Stand 1989. — Berlin: E. Schmidt.

HOPPE, W., BECKMANN, M. (1989): Umweltrecht. — München: C. H. Beck.

KAISER, J. H. (1971): Industrielle Absprachen im öffentlichen Interesse. — Neue Juristische Wochenschrift 24 (14), 585—588.

KARL, H. (1987): Altlastensanierung — Ansätze zur Deckung des Finanzbedarfs. — Bochum: Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik. Nr. 1/1987.

KARL, H. (1988): Regionale Entsorgungsmonopole und Sondermülllizenzen als Instrumente der nordrhein-westfälischen Abfallwirtschaft: Zur Novelle des nordrhein-westfälischen Abfallwirtschaftsgesetzes. — Zeitschrift für angewandte Umweltforschung 1 (1), 51—64.

KIRCHHOF, F. (1987): Die Verleihungsgebühr als dritter Gebührentyp. — Deutsches Verwaltungsblatt 102 (11), 554—561.

KLOEPFER, M., FOLLMANN, W. (1988): Lizenzentgelt und Verfassungsrecht: Zur Verfassungsmäßigkeit des sog. Nordrhein-Westfalen-Modells für die Altlastensanierung. — Die Öffentliche Verwaltung 41 (14), 573—586.

KRÄMER, L. (1989): Das Versuchsprinzip im Gemeinschaftsrecht. — Europäische Grundrechte-Zeitschrift 16 (15/16), 353—361.

Landesverband der Bayerischen Industrie (1989): Gemeinschaftseinrichtung zur Altlastensanierung in Bayern e. V. — München.

Mac KENZIE, P. (1978): Lenkungsabgabe und EWG-Vertrag. — Hamburg. — Diss.

MAUNZ, T., DÜRIG, G., HERZOG, R. (1987): Grundgesetz. — Bd. III. — München: C. H. Beck.

MELLER, E. (1987): Sanierung von Altlasten und deren Finanzierung aus der Sicht der Industrie. — Frank-

furt am Main: Deutscher Fachverl. – Entsorga-Schriften. Bd. 4, S. 136–141.

MESSERSCHMIDT, K. (1986): Umweltabgaben als Rechtsproblem. – Berlin: Duncker und Humblot.

OEBBECKE, J. (1986): Die staatliche Mitwirkung an gesetzesabweichenden Vereinbarungen. – Deutsches Verwaltungsblatt 101 (16), 793–799.

PAPIER, H.-J. (1987): Altlastenbeseitigung. – Energiewirtschaftliche Tagesfragen 37 (5), 437–441.

PEINE, F.-J. (1988): Der Spielraum des Landesgesetzgebers im Abfallrecht. – Nordrhein-Westfälische Verwaltungsblätter 2 (7), 193–199.

REHBINDER, E., STEWART, R. (1985): Environmental Protection Policy. – In: CAPPELLETTI, M. et al. (Eds.): Integration Through Law. – Vol. 2. – Berlin: de Gruyter.

SALZWEDEL, J. (1986): Diskussionsbeitrag bei der Podiumsdiskussion: Rechtspolitische Lösungen des Altlastenproblems. – In: Altlasten und Umweltrecht. 1. Trierer Kolloquium zum Umwelt- und Technikrecht. – Düsseldorf: Werner-Verl. – S. 197.

SALZWEDEL, J. (1987): Sonderabfallentsorgung und Altlastensanierung. Rechtsgutachterliche Stellungnahme zum Nordrhein-Westfalen-Modell. – Düsseldorf: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen.

SCHMEKEN, W. (1989): „Altlasten“ – Zuständigkeiten und Finanzierungsmodelle. – In: WALPRECHT, D. (Hrsg.): Abfall und Abfallentsorgung. – Köln: C. Heymanns. – S. 171–189.

SEIDEL, M. (1989): Umweltrecht der Europäischen Gemeinschaft – Träger oder Hemmnis des Fortschritts? – Deutsches Verwaltungsblatt 104 (9), 441–448.

SRU (1978): Umweltgutachten 1978. – Stuttgart: Kohlhammer.

STRICKRODT, B. (1988): Kooperationsmodell des Landes Rheinland-Pfalz zur Altlastensanierung. – In: FRANZIUS, V. et al. (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung. – Heidelberg: R. v. Decker's Verl. G. Schenck. Bonn: Economica Verl. – Kap. 1.6.3.4, S. 1–5.

WÄGENBAUER, R. (1988), in: GRABITZ, E. (Hrsg.): Kommentar zum EWGV. – München: C. H. Beck. – Art. 95–99.

WALLENBERG, G. von (1988), in: GRABITZ, E. (Hrsg.): Kommentar zum EWGV. – München: C. H. Beck. – Vor. Art. 92–94.

ZIMMERMANN, H. (1984): Ökonomische Anreizinstrumente in der Umweltpolitik: Einsatzbegründung, Formen sowie die Wirkungen in verschiedenen Typen von Verdichtungsgebieten. – Bochum: Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik. Nr. 4/1984.

ZIMMERMANN, H. (1985): Stellungnahmen. – In: Deutscher Bundestag. Ausschuß für Wirtschaft. – Anhörung von Sachverständigen zum Antrag der Frak-

tion der SPD: Sondervermögen „Arbeit und Umwelt“. – Protokoll Nr. 46 vom 14. Oktober 1985. – S. 25.

ZIMMERMANN, H., BENKERT, W. (1989): Öffentliche Finanzen im Rahmen einer gemeinlastorientierten Umweltpolitik. – In: SCHMIDT, K. (Hrsg.): Öffentliche Finanzen und Umweltpolitik II. – Berlin: Duncker und Humblot. – Schriften des Vereins für Sozialpolitik. Bd. 176/II, S. 9–46.

## 7 Rechtliche Aspekte bei der Altlastensanierung

BACHMANN, G. (1989): Entgiftung des Bodens. – Zeitschrift für Umweltpolitik 11 (2), 119–136.

BARZ, A., KAUFMANN, H.-J. (1987): Behördliche Vorgaben für die Anwendung von on-site/off-site-Verfahren zur Bodenreinigung. – In: FRANZIUS, V. (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte 1986: Neue Verfahren zur Bodensanierung. – Berlin: E. Schmidt. – Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis. Bd. 18, S. 23–27.

BIRN, H. (1989): Abfallbeseitigungsrecht für die betriebliche Praxis. Stand 1989. – Kissing: WEKA.

BRANDT, E., LANGE, H. (1987): Kostentragung bei der Altlastensanierung. – Umwelt und Planungsrecht 7 (1), 11–18.

BRANDT, E., LANGE, H., WAGNER, H. (1988): Finanzierung der Altlastensanierung in Berlin. – Gutachten für die Enquête-Kommission „Bodenverschmutzungen, Bodennutzung und Bodenschutz“ des Abgeordnetenhauses von Berlin. – Hamburg.

BREUER, R. (1978): Gefahrenabwehr und Risikovor-sorge im Atomrecht. – Deutsches Verwaltungsblatt 93 (20), 829–839.

BREUER, R. (1987): Rechtsprobleme der Altlasten. – Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht 6 (9), 751–761.

BREUER, R. (1988): Gerichtliche Kontrolle der Technik. – Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht, 7 (2), 104–115.

BT-Drucksache 10/2977: Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung, 7. März 1985.

BT-Drucksache 11/4909: Entwurf eines Dritten Gesetzes zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 30. Juni 1989.

CLAUS, F. (1988): Sanierungsplanung. – In: ROSENKRANZ, D. et al. (Hrsg.): Bodenschutz. – Berlin: E. Schmidt. – Tz. 6420, S. 1–21.

DARNSTÄDT, T. (1983): Gefahrenabwehr und Gefahrenvorsorge. – Frankfurt a. M.: Metzner Verl.

DIECKMANN, J. (1987): Zur Kennzeichnung von Altlasten in der Bauleitplanung. – Der Städtetag 40 (9), 516–519.

DREWS, B., WACKE, G., VOGEL, K., MARTENS, W. (1986): Gefahrenabwehr: Allgemeines Polizeirecht (Ordnungsrecht) des Bundes und der Länder. – 9. Aufl. – Köln: C. Heymanns.

- FELDHAUS, G., LUDWIG, H. (1983): Die TA Luft 1983. – Deutsches Verwaltungsblatt 98 (11), 565–574.
- FLUCK, J. (1988): Die „Legalisierungswirkung“ von Genehmigungen als ein Zentralproblem öffentlich-rechtlicher Haftung für Altlasten. – Verwaltungsarchiv 79 (4), 406–444.
- FRIAUF, K. H. (1988): Polizei- und Ordnungsrecht. – In: von MÜNCH, I. (Hrsg.): Besonderes Verwaltungsrecht. – 8. Aufl. – Berlin: W. de Gruyter. – S. 201–282.
- GASSNER, E. (1981): Naturschutz als Gefahrenabwehr. – Natur + Recht 3 (1), 6–11.
- GASSNER, H. (1989): Genehmigungsprobleme bei mobilen Bodensanierungsanlagen. – Umwelt (VDI) 19 (7/8), 403–404.
- GÖTZ, V. (1988): Allgemeines Polizei- und Ordnungsrecht. – 9. Aufl. – Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht.
- HANSEN-DIX, F. (1982): Die Gefahr im Polizeirecht, im Ordnungsrecht und im technischen Sicherheitsrecht. – Köln: C. Heymanns.
- HENKEL, M. J. (1988): Altlasten in der Bauleitplanung. – Umwelt- und Planungsrecht 8 (10), 367–376.
- HÖSEL, G., LERSNER, H. von (1989): Recht der Abfallbeseitigung. Stand 1989. – Berlin: E. Schmidt.
- HOLTMEIER, E.-L. (1988): Rechtliche Voraussetzungen für die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen. – In: THOMÉ-KOZMIENSKY, K. J. (Hrsg.): Altlasten 2. – Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik. – S. 299–308.
- JARASS, H. D. (1983): Bundes-Immissionsschutzgesetz. – München: C. H. Beck.
- KLOEPFER, M. (1987): Die Verantwortlichkeit für Altlasten im öffentlichen Recht. – Natur + Recht 9 (1), 7–21.
- KRAUTZBERGER, M. (1986): „Altlasten“ als Problem in der Bauleitplanung und in der städtebaulichen Sanierung. – Deutsche Wohnungswirtschaft 38 (5), 110–113.
- KRAUTZBERGER, M. (1987), in: BATTIS, U., KRAUTZBERGER, M., LÖHR, R.-P. (Hrsg.): Baugesetzbuch. – 2. Aufl. – München: C. H. Beck. – §§ 136–151.
- KOCH, H.-J. (1985): Bodensanierung nach dem Verursacherprinzip. – Heidelberg: C. F. Müller. – S. 91–125.
- KUNIG, P. (1988), in: KUNIG, P., SCHWERMER, G., VERSTEYL, L.-A. (Hrsg.): Abfallgesetz. – München: C. H. Beck. – §§ 2–5.
- KUTSCHEIDT, E. (1986): Die Neuregelung der Abfallvermeidungs- und -beseitigungspflicht bei industriellen Betrieben. – Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht 5 (8), 622–624.
- LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall/Arbeitsgruppe „Altablagerungen und Altlasten“) (1989): Erfassung, Gefahrenbeurteilung und Sanierung von Altlasten – Informationsschrift. – Entwurf, Stand 27. Februar 1989.
- MURSWIEK, P. (1986): Zur Bedeutung der grundrechtlichen Schutzpflichten für den Umweltschutz. – Wirtschafts- und Verwaltungsrecht 86, (4), 179–204.
- OSSENBÜHL, F. (1986): Vorsorge als Rechtsprinzip im Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutz. – Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht 5 (3), 161–171.
- PAPIER, H.-J. (1985): Altlasten und polizeiliche Störerhaftung. – Deutsches Verwaltungsblatt 100 (16), 873–879.
- PAPIER, H.-J. (1987): Altlastenbeseitigung. – Energiewirtschaftliche Tagesfragen 37 (5), 437–441.
- REHBINDER, E. (1976): Immissionsschutzrechtlicher Gefahrenbegriff: Beurteilung von Störfällen durch äußere Einwirkungen. – Betriebsberater 31 (1), 1–4.
- RID, U., HAMANN, W. (1987): Immissionsschutzrechtliche Vorsorge jenseits des polizeilichen Gefahrenbegriffs. – Verwaltungsblätter für Baden-Württemberg 8 (4), 121–126.
- SALZWEDEL, J. (1987): Rechtsgrundlagen zur Abschätzung des Gefährdungspotentials. – In: Altlastensanierung und Entsorgungswirtschaft. – Frankfurt a. M.: Deutscher Fachverl. – Entsorga Schriften. Bd. 4, S. 50–58.
- SCHINK, A. (1985): Abfallrechtliche Probleme der Sanierung von Altlasten. – Deutsches Verwaltungsblatt 101 (21), 1149–1158.
- SCHINK, A. (1986): Wasserrechtliche Probleme der Sanierung von Altlasten. – Deutsches Verwaltungsblatt 100 (4), 161–170.
- SCHINK, A. (1987): Altlasten im Baurecht. – Baurecht 18 (4), 397–409.
- SCHINK, A. (1988): Amtshaftung bei der Bebauung von Altlasten? – Die Öffentliche Verwaltung 41 (13), 529–538.
- SCHNEIDER, O. (1980): Grundsätzliche Überlegungen zur polizeilichen Gefahr. – Deutsches Verwaltungsblatt 95 (10), 406–409.
- SCHRADER, C. (1988): Altlastensanierung nach dem Verursacherprinzip? – Berlin: E. Schmidt. – Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis. Bd. 24.
- SCHRADER, C. (1989): Altlasten und Grenzwerte. – Natur + Recht 11 (7), 288–295.
- SCHWERMER, G. (1988), in: KUNIG, P., SCHWERMER, G., VERSTEYL, L.-A.: Abfallgesetz. – München: C. H. Beck. – §§ 6–10.
- SRU (1983): Waldschäden und Luftverunreinigungen (Sondergutachten). – Stuttgart: Kohlhammer.
- STAUPE, J. (1988): Rechtliche Aspekte der Altlastensanierung. – Deutsches Verwaltungsblatt 103 (13), 606–612.

STRIEWE, P. (1986): Rechtsprobleme der Altlastenbeseitigung. – Zeitschrift für Wasserrecht 25 (2), 273–291.

ZIEHM, H. (1989): Die Störerverantwortlichkeit für Boden- und Wasserverunreinigungen. – Berlin: Duncker und Humblot. – Schriften zum Umweltrecht. Bd. 12.

### 8 Schlußfolgerungen und Empfehlungen

ABEL-LORENZ, E., BRANDT, E. (1989): Rechtsfragen bei der Bodenkartierung dargestellt am Beispiel der Stadtböden. – Im Auftrag des UBA (Berlin). – Erscheint voraussichtlich Taunusstein: Verl. Blottnet.

BACHMANN, G. (1985): Bodenschutz: Überlegungen zur Einbeziehung in Schutzkonzepte. – Berlin: TU Berlin, FB 14. – Landschaftsentwicklung und Umweltforschung. Bd. 28. 153 S.

BLUME, H.-P., BURGHARDT, W., CORDSEN, E., FINNERN, H., FRIED, G., GRENZIUS, R., KNEIB, W., KUES, J., PLUQUET, E., SCHRAPS, W.-G., SIEM, H.-K. (1989): Kartierung von Stadtböden: Empfehlung des Arbeitskreises Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft für die bodenkundliche Kartieranleitung urban, gewerblich und industriell über-

formter Flächen (Stadtböden). – Berlin: UBA. – Texte 18/89.

BT-Drucksache 11/1625: Maßnahmen zum Bodenschutz, 12. Januar 1988.

FRANZIUS, V. (1986): Kontaminierte Standorte in der Bundesrepublik Deutschland. – In: UBA (Hrsg.): Kosten der Umweltverschmutzung. – Berlin: E. Schmidt. – UBA: Berichte 7/86, S. 295–302.

HUTER, O., LAHL, U., ZESCHMAR, B. (1985): Sicherheitsstandard bundesdeutscher Hausmülldeponien. – Wasser, Luft und Betrieb (wlb) 4/85, S. 42–47.

KUHLMANN, A. (1988): Alle Prognosen sind gewagt. – Chancen 4/88, S. 114.

SCHRADER, C.: Altlastensanierung nach dem Verursacherprinzip? Rechtsfragen der Kostenübernahme vor dem Hintergrund der Legalisierungswirkung von Genehmigungen. – Berlin: E. Schmidt. – Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis. Bd. 24.

SRU (1983): Waldschäden und Luftverunreinigungen (Sondergutachten). – Stuttgart: Kohlhammer.

SRU (1985): Umweltprobleme der Landwirtschaft (Sondergutachten). – Stuttgart: Kohlhammer.

SRU (1987): Umweltgutachten 1987. – Stuttgart: Kohlhammer (erschienen 1988).



## Register

(Die Zahlenangaben beziehen sich auf die Textziffern; Textziffern in Klammern sind von untergeordneter Bedeutung)

- Abbau  
 durch Mikroorganismen 595 ff.  
 von Chemikalien 605  
 von Kohlenwasserstoffen Tab. 4.8  
 von Schadstoffen 603 ff.
- Abbaubarkeit  
 s. Persistenz
- Abbaugrad  
 mikrobiologisch 613
- Abbauleistung 619
- Abdeckung 460
- Abdichtung 489, Abb. 4.3  
 s. a. Basisabdichtung  
 s. a. Oberflächenabdeckung  
 Durchlässigkeit 515 ff.  
 horizontal  
 s. Basisabdichtung  
 vertikal 513 ff.  
 s. a. Dichtwand
- Abdichtungssysteme  
 in Deponien 1022
- Abfall  
 Charakteristik 416, Tab. 3.14  
 Definition 868  
 Gasentwicklung 372  
 Industrie- Tab. 1.5  
 Transportrecht (466)  
 Untersuchung 371
- Abfallbeseitigung  
 unsachgemäß 5
- Abfallbeseitigungsgesetz 5, 10  
 s. a. Abfallgesetz
- Abfallentsorgungsanlagen 868 f., 1020 ff.
- Abfallgesetz 799, 1020 f.  
 Gefahrenabwehr 788
- Abfallkörper 340 ff.  
 s. a. Kontaminationskörper  
 Immobilisierung Tab. 4.2  
 s. a. Immobilisierung  
 Probenahme 371
- Abfallrecht 718 ff., 872, 877  
 Anwendung 868 ff.  
 bei Verwertungsanlagen 873  
 Legislative des Bundes 720  
 Legislative des Landes 719
- Abfallumlagerung  
 Kosten Tab. 5.2
- Abfallverbrennung 571
- Abfallverbringung  
 bei Sanierung 872
- Abgabegestaltung  
 nationale 746 ff.  
 s. a. Steuerharmonisierung der EG
- Abgasbehandlung 571
- Ablagerung  
 Langzeitsicherheit 1021  
 s. a. Deponie  
 ungeordnet 1 ff., 58  
 wilde 793
- Ablaufschema  
 für die Bearbeitung Abb. 3.1, Abb. 3.2
- Abluftbehandlung  
 Biofilter 611
- Abluftparameter 626
- Abschwemmung (365)
- Abwärmekataster (317)
- Abwasser  
 Testverfahren 388
- Abwasserkataster (317)
- Abwasserparameter 626
- Abwassertechnische Vereinigung 1019
- acceptable daily intake (ADI-Wert)  
 s. ADI-Wert(e)
- Acrylnitril Tab. 2.1
- ADI-Wert 207, Tab. 2.12  
 Auslastung 222  
 Sanierungsziel 453  
 Schwermetalle 218, Tab. 2.17, Tab. 2.18  
 Trinkwasser 254  
 Vergleich mit Grundbelastung 284
- Aggregatzustand 486, 543, 564, Tab. 4.1
- Akkumulation (289), 354  
 s. a. Anreicherung  
 Bewertung Tab. 3.11  
 Bioindikatoren Tab. 3.9  
 Indikatoren 387 ff.  
 Punktbewertung Tab. 3.14
- Akkumulatoren Tab. 2.1
- aktives Monitoring  
 s. Monitoring
- Aktivitäten  
 präventive 1017
- Akzeptanz 82 ff., 469, 472, 900 ff.  
 durch Dokumentation 426  
 für Sanierung 102  
 Gemeinlastprinzip 781  
 Maßnahmen 99 ff.  
 Messung am Menschen 209 ff.  
 thermische Verfahren 567  
 von Altlasten 81 ff., 900 ff.
- Aldrin Tab. 2.1
- Algen  
 Arten Tab. 4.8
- Algentest 388
- allergene Wirkung 278

## Altablagerung

- s. a. Altlast
- s. a. Bundesberggesetz
- Ablaufschema Abb. 3.2
- Bewertungsmodell 408, Tab. 3.12
- Definition (42 ff.), 58 ff., 787 ff., 902, Tab. 1.2
- Emissionsüberwachung 633 ff.
- Erfassung 65 ff., Tab. 1.4
- Erkennung 314
- Grundwasseranalytik Tab. 3.5
- juristische Aspekte 787 ff.
- Transportproblematik 911
- Umsetzungen 562
- Verantwortlichkeit 816
- Vergangenheitsbezug 1013

## Altlast

- s. a. altlastverdächtige Fläche
- Anzahl 319 ff.
- Arbeitsgruppe 78 ff.
- Arbeitsschritte Tab. 3.1
- Aufdeckung 296, 307
- Ausschüsse 80
- Datenbestand Tab. 3.3
- Definition (42 ff.), (53 ff.), 58 ff., Tab. 1.2
- Entstehung 464
- Erkennung 307, 437, 442
- Expertensystem 420
- Kataster 315 ff.
- kriegs- u. rüstungsbedingt
  - s. Rüstungsaltlasten
- Prioritätensetzung Tab. 3.13
- räumliche Begrenzung 335 ff.
- rechtliche Behandlung 993
- relevante Stoffe Tab. 2.2
- Risiko 88
- Sanierungsverfahren Tab. 1.1
  - s. a. Sanierung
- Schadensbilanz 562
- soziale Konsequenzen 899
- Umweltgefährdung 805
- untilgbare 1
- Vermeidung 1012
- Verursacherprinzip 804
- Wertminderung 654 ff.
- Wiederherstellung 449
- Zuständigkeit 440, 907

## Altlastdossier 408

## Altlastenbeseitigung

- Instrumentarium 866

## Altlastenentstehung

- Entgegenwirken 1035, 1039

## Altlastenerfassung

- rechtliche Grundlage 1018

## Altlastenfeststellung 777

## Altlastenfinanzierung 703 ff.

- s. a. Altlastensanierung
- durch Verursacher 707 ff.

## Altlastenfinanzierungsumlage 732

## Altlastenkompostierung 611

## Altlastenproblem 887 ff.

- Arbeitsgruppen 906
- Dimension 887
- Entwicklung 888

## Altlastensanierung

- s. a. Niederländische Liste
- s. a. Sanierung
- Bayern 769
- Baden-Württemberg 770
- Bewertungskosten 660
- Bundesländer 856
- Definition 636
- EG-Recht 742 ff.
- finanzieller Nutzen 679
- Finanzierung 686 ff., 711 ff., 741 ff.
- Finanzierungsbedarf 682 ff., 970 ff.
- Grundstücksbesitzer 970
- Güteverbesserung 680
- Hessen 771
- juristische Aspekte 700, 742, 786
- Kosten 660, 664, 674
- Kosten-Nutzen 678, 681
- Kosten-Wirksamkeit 674 ff.
- Kostenabschätzung 660
- ökonomische Aspekte 751
- Regelungsbereich 786
- Überwachung 621 ff., 969
- Untersuchungskosten 660
- Volkswirtschaft 970
- Zuständigkeit 773

## altlastverdächtige Fläche

- s. a. Altlast
- s. a. Verdachtsfläche
- Anzahl 64 ff., 323, Abb. 1.1, Tab. 1.3
- Ausland 75 ff.
- Entstehung 4 ff.
- Erfassung 62 ff., 75 ff., 292 ff., Tab. 1.5
- Exposition 138 ff.
- Gasentwicklung 373
- Immissionen 191
- Indizien 309
- Kataster 315 ff.
- Klassifizierung 318
- Nutzpflanzen 238 ff.
- Nutzung 151, (305), Tab. 2.2
- Untersuchung 327 ff.
- Ursachen 5 ff.

## Altöl

- Sanierung 494

## Altstandort 1, 643, 798 ff.

- s. a. Altlast
- Bewertungskonzepte 439
- Charakterisierung Tab. 2.1
- Definition (42 ff.), 58 ff., 902, Tab. 1.2
- Erfassung 65 ff., Tab. 1.4
- Erfassungsbereich 1014
- Grundwassergefährdung 251
- Inhalt Tab. 2.1
- Kunststoffherstellung Tab. 2.1
- nach Branchen Tab. 2.1
- Nutzung Tab. 2.4
- ölverunreinigter 439
- Sanierung 798
- Typen 69
- Vergangenheitsbezug 1013
- Alveolarstaub (lungengängiger Staub) 262 ff.
- Amine
  - aromatische Tab. 2.1
- Ammonium Tab. 2.1

- Analysemethoden 599  
 Analytik  
   s. a. chemische Untersuchung  
   s. a. physikalische Untersuchung  
 Anforderung 376  
 Auswahl der Stoffe 366, Tab. 3.5  
 Bodenluft Tab. 3.8  
 Bodenparameter Tab. 3.7  
 Fehlerquellen 383  
 Geräte 382  
 Grenzen 8, 397  
 Grundwasser 435, Tab. 3.5  
 Parameter Tab. 3.5  
 Richtlinien 357, 360, 367  
 Ringversuch 380  
 Teilschritte 434 ff., Tab. 3.15  
 Anlagen  
   stillgelegte 802  
 anorganische Stoffe 568  
   Analyse 357  
   Analytik Tab. 3.7  
   im Grundwasser Tab. 2.20, Tab. 3.5  
   im Trinkwasser 256 ff.  
   Prüfwert 407, Tab. 2.11  
   Referenzwert Tab. 2.5, Tab. 2.9  
   Richtwert Tab. 2.19  
 Anreicherung  
   s. a. Akkumulation  
   s. a. Bioakkumulation  
   s. a. Konzentrationsfaktor  
   im Sediment 363  
   in Innenräumen 268, 291, 373, 504, 547  
   in Pflanzen 244 ff.  
 Anreiz  
   finanzieller 709  
   ökonomisch 766  
 Anthracen Tab. 2.1  
   Referenzwert Tab. 2.5  
 Antimon Tab. 2.1  
 Arbeitsgemeinschaften 121  
 Arbeitsgruppe 78 ff.  
   Beurteilungshilfe 910  
 Arbeitsmedizin  
   Höchstwerte 211  
 Arbeitsschritte im Umgang mit Altlasten Tab. 3.1  
 Arbeitsschutz (298), 472, 479, 546  
   Vorschriften (332), 945  
 Aromaten 568  
   Bioindikatoren Tab. 3.9  
   Entnahme 503  
   Referenzwert Tab. 2.5  
   Sanierungsmaßnahme 561  
 aromatische Kohlenwasserstoffe  
   Entfernung 565  
   Erkennung 375  
 aromatische Verbindungen  
   s. Aromaten  
 Arsen 568, Tab. 2.1  
   ADI-Wert 222  
   im Trinkwasser 256  
   Referenzwert Tab. 2.5  
   Schwellenwert 219 ff.  
 Arten  
   Algen Tab. 4.8  
   Bakterien Tab. 4.8  
   Hefen Tab. 4.8  
 Asbest Tab. 2.1  
 Asbestverarbeitung  
   Altstandort Tab. 2.1  
 Asche Tab. 1.5  
 Asphalt Tab. 4.3  
 Atemvolumen 272  
 Aufbereitungsanlagen Tab. 2.1  
 Aufnahme  
   s. a. Resorption  
   durch Inhalation 262 ff.  
 Aufnahmemengen  
   s. ADI  
   s. PTWI  
 Aufnahmerate 222  
 Aufnahmewege für Schadstoffe 139 ff., 453  
 Ausbreitung  
   bei Stripping 565  
   Einflußfaktoren 131 ff., Tab. 2.3  
   Grundwasser 501  
   in der Luft 135 ff.  
   Rechenmodell 137  
   Simulationsmodelle 133 ff.  
   von Gasen 373  
   von Stoffen (111), 512  
 Ausbreitungsmedien 125 ff.  
 Ausbreitungspfad 108, 112 ff., 123 ff.  
   s. a. Belastungspfad  
   Erfassung 327  
   Geologie 340  
   Wasser 345 ff.  
 Ausgasung  
   Sauerstoff 618  
 Aushub (466), 514, 530, 534, 544 ff., 561  
   Anforderungen Tab. 4.4  
   Behandlung 464, 468  
   Beispiel 550  
   emissionsfrei 545  
   Gefahren 545  
   Vorschriften 546  
 Auskoffern 544  
   Nachteile 464  
 Auskunftspflicht  
   Verdachtsfläche 864  
 Ausnahmegenehmigung  
   für mobile Anlagen 876  
 Austauschkapazität des Bodens 368  
 Autowrackplatz  
   Altstandort Tab. 2.1  
 Badegewässer 168  
 Baden-Württemberg  
   Altlastensanierung 770  
 Bahnbetriebswerk  
   Altstandort Tab. 2.1  
 Bakterien  
   Arten Tab. 4.8  
 Bakterientest 388, Tab. 3.9  
 Ballungsgebiete  
   Altstandort 689

- Barium  
Referenzwert Tab. 2.5
- Barriere  
Bildung 531  
Notwendigkeit 512  
Systemelemente 489  
Wirkungsweise 506
- Basen Tab. 2.1
- Basisabdichtung 520 ff.
- BAT-Wert 211
- Batterien Tab. 2.1
- Baubeschränkungen  
bei Verdachtsfläche 882
- Baugesetzbuch 37, 155, 880
- Bauleitpläne  
kontaminierte Böden 881
- Bauleitplanung (324), 879 ff., 883
- Bauplanungsrecht 1005
- Baurecht 1026
- Bauschutt Tab. 1.5
- Bauwerke  
Sekundärschaden 502  
s. a. Setzung
- Bayern  
Altlastensanierung 769
- Bebauung Tab. 3.12
- Bebauung von Verdachtsflächen 20
- Bebauungsplan 37, 449, 865  
Kennzeichnungspflicht 155
- Befragung als Informationsquelle 311
- Begasung  
mit Sauerstoff 611, 618
- Begleitmaßnahme 547
- Behandlungsanlage  
mobil 874 ff.
- Behandlungskosten  
mikrobiologisch 612
- Behandlungsverfahren  
biologisch 581  
chemisch 582  
hydraulisch 581  
Kosten 690 ff.  
physikalisch 582  
pneumatisch 581  
thermisch 571 ff., 581
- Behandlungszeitraum  
mikrobiologisch 612 f.
- Behinderung von Maßnahmen 96 ff., 107, 481  
s. a. Widerstand
- Beispiel  
s. Berlin (Pintsch-Gelände)  
s. Georgswerder  
s. Gerolsheim  
s. Hanau (Pintsch-Gelände)  
s. Nordhorn (Povel-Gelände)
- Belastung  
s. a. Resorption  
akute 327  
durch Niederschläge 243  
durch Staub 243  
Erfassung 208 ff.  
innere/äußere 204 ff., 208 ff.
- Messung am Menschen 209 ff.  
tatsächliche 286
- Belastungspfad 412 ff., 421, 425, 438, Tab. 3.12  
Mindestuntersuchung 442  
Punktebewertung 416
- Benetzbarkeit 615
- Benz(a)anthracen  
Referenzwert Tab. 2.5
- Benzin 568, Tab. 2.1
- Benzo(a)pyren Tab. 2.1  
Referenzwert Tab. 2.5  
Richtwert 245
- Benzo(ghi)perylen  
Referenzwert Tab. 2.5
- Benzo(k)fluoranthren  
Referenzwert Tab. 2.5
- Benzol 269, Tab. 2.1  
Referenzwert Tab. 2.5
- Beratung  
Altlastensanierung 80
- Beratungsstelle 102
- Bergematerial Tab. 1.5
- Bergrecht 1026
- Berlin (Pintsch-Gelände) 494
- Berufsfreiheit  
Rechtsprechung 724 ff.
- Beryllium Tab. 2.1
- Beschäftigung (Auswirkung auf) 36
- Beschränkungsmaßnahme 455 ff., Tab. 4.1  
Dauer 504  
Definition 460
- Besorgnisgrundsatz 793, 998  
s. a. Wasserhaushaltsgesetz
- Besteuerung  
Altlastenvermeidung 734  
Gemeinlastprinzip 711 ff.  
Sonderabfallablagerung 734  
Sonderabfallbehandlung 734  
Sonderabfallproduktion 734  
von Grundstoffen 752 ff.
- Beteiligung der Öffentlichkeit 101 ff.
- betonangreifende Wirkung 174
- Betreiberpflichten  
Anlagenabbruch 1030  
genehmigungspflichtig 1027
- Betriebsfläche  
altlastverdächtig 1014
- Betriebskläranlage  
Altstandort Tab. 2.1
- Betriebsstörungen 1015
- Beurteilung von Gefährdungen  
s. Gefährdungsabschätzung
- Beurteilungsverfahren  
Prüfwerthkonzept 845 ff.
- Bewässerung 168
- Beweisniveau (404), Tab. 3.10
- Bewertung  
Gaswerk 439  
Handlungsbedarf 422  
Konzeptbeispiele 432 ff.  
Kriterien 412, 424, Tab. 3.12, Tab. 3.13  
Mindestanforderung 423

- Minimalkatalog 423
- Punktesystem 412 ff., 422, 443
- schnelle Einstufung 411
- standardisierte 405, Tab. 3.11
- Unsicherheiten 419
- vergleichende 412 ff.
- Bewertungsgegenstände 949
- Bewertungskommission 408, 410 ff., 422
- Spielraum 444
- Bewertungskriterien
- einheitlich 948
- Quantifizierung 950
- Bewertungsmethodik
- Prioritätensetzung 947
- Bewertungsmodell
- Beispiel 412 ff.
- Bewertungsverfahren
- Beispiel 404 ff., Tab. 3.10
- Effizienz 950
- formalisierte 854 ff., 950, 1001 f.
- Grenzen 405
- Bewertungszahl Tab. 3.11
- s. a. Bewertung, Punktesystem
- Bielefeld-Brake 97
- Bindung von Schadstoffen Tab. 4.1
- Bioakkumulation
- s. a. Akkumulation
- Beurteilung 171
- Bioindikatoren Tab. 3.9
- Landwirtschaft 243 ff.
- Biofilter
- Abluftbehandlung 611
- Bioindikator 387 ff., Tab. 3.9
- biological effect monitoring
- s. biological monitoring
- biological monitoring 208 ff., 216, 276
- Akzeptanz 209 ff.
- biologische Untersuchung 387 ff.
- biologische Verfahren 467, (542)
- biologischer Abbau 552 ff.
- Biologischer Arbeitsstoff-Toleranzwert
- s. BAT-Wert
- Biomasse
- Aufbau 596
- Biomonitoring
- s. Bioindikator
- s. Monitoring
- Bioreaktor 613, 618
- Biotechnologie 596, 620
- Blei Tab. 2.1
- Belastung 222
- im Trinkwasser 256
- in Nutzpflanzen 236
- Kinder 212
- Referenzwert Tab. 2.5, Tab. 2.16
- Schwellenwert 219 ff.
- Bleialkyle Tab. 2.1
- Blindprobe 383
- Blut
- Orientierungswert Tab. 2.15
- Blutprobe (209)
- BMFT
- Fördermittel Tab. 1.1
- Boden
- Analytik 364 ff., Tab. 3.7
- Aufnahme mit Futter 248
- Aushub 545
- Beurteilung 175 ff.
- Bewertung 407
- Bioindikatoren Tab. 3.9
- Direktanalyse 367
- Durchlässigkeit 348
- Durchlässigkeitsmessung Tab. 3.4
- Funktionen 12 ff., 447
- Gefährdung 16 ff.
- Gefährdung der Bodenfunktion bei Sanierung 502
- nach Sanierung 472
- orale Aufnahme bei Kindern 215 ff.
- organische Stoffe 224 ff.
- Prüfwert 182 ff.
- Qualitätskriterien 178
- Restkonzentration 451
- Rückhaltefähigkeit 368
- Sanierung 559
- Stoffliste Tab. 2.7
- Tongehalt 178
- Toxizitätstest 388
- Bodenaushub
- s. Aushub
- Bodenbehandlung 365
- Verfahrensübersicht Tab. 4.6
- Bodenbelastung
- Standardwerte 157
- TCDD 248
- Bodenbelastungswerte
- nutzungsspezifisch 929
- Bodenbelüftung 618
- Bodeninformationssystem 180, 1037
- Bodenkarten 1037
- Bodenkataster 1037
- Bodenkontamination 96
- Grundwasser 801
- Bodenluft
- s. a. Deponiegas
- Analytik Tab. 3.8
- Untersuchung 372 ff.
- Bodenluftabsaugung 503, (542), 553, 561, 564 ff., 585,
- Abb. 4.10, Abb. 4.11
- Wirkungsweise 564
- Bodenluftreinigung 582
- Bodennutzung 922, 928
- s. a. Nahrungskette
- Bodenregeneration 1016
- Bodensanierung 483
- Bodensanierungszentren 468, 670
- Bodenschutz 1018
- Maßnahmen 79, 1037
- Bodenschutzkonzeption 70
- Bodenschutzproblematik 894
- Bodenschutzprogramm 884
- s. a. Sanierung, städtebauliche
- Bodentyp 922
- Bodenverunreinigung 1013 ff.
- Betriebsstörung 1015

- Mineralöl 611
  - organisch-chemisch 580
  - Schwermetall 580
- Bodenwaschverfahren 580, 613
- Bohrlochmessung 337
- Bohrung
  - Einsatzbereich Tab. 3.3
  - Vorschriften 546
- Brandgefahr 508, 545
- Brauchwasser
  - s. Trinkwasser
- Bromid
  - Referenzwert Tab. 2.5
- Bromverbindungen Tab. 2.1
- Bund
  - Erlaß von Verwaltungsvorschriften 857
  - Finanzierungsmodell 783 ff.
  - Kriegsfolgelasten 808, 994
  - Rüstungsgüter 808
  - Verantwortlichkeitsbereich 807
- Bundes-Immissionsschutzgesetz (189), 870, 874, 993, 1027 ff.
  - Auslegung 1028
- Bundesberggesetz 794
- Bundesrat
  - Zustimmung zur Sanierung 811
- Bundesregelung
  - Altstandorte 858
  - einheitlich 856 ff.
- Bundeswehr
  - Verwaltungskompetenz 810
- Bürgerbeteiligung
  - Altlastensanierung 885
- Bürgerinitiative 105
  
- Cadmium 568, Tab. 2.1
  - Belastung 222
    - im Trinkwasser 256
    - in Nutzpflanzen 234 ff.
  - Referenzwert Tab. 2.5
  - Schwellenwert 219 ff.
- Cadmiumverbindung 592
- Chemiemüll 48
- chemisch-physikalische Verfahren 467, 581 ff.
- chemische Immobilisierung 531
  - s. a. Immobilisierung
- chemische Industrie
  - Beratung 80
- chemische Reaktionen in Altlasten 372
- chemische Reinigung
  - Altstandort Tab. 2.1
- chemische Untersuchung 353 ff.
- chemische Verfahren (542)
- Chlorbenzol Tab. 2.1
  - Referenzwert Tab. 2.5
- Chlorethen 269
- Chlorid
  - Referenzwert Tab. 2.5
- chlorierte Dibenzodioxine
  - s. a. TCDD
  - ADI-Werte Tab. 2.12
- chlorierte Dibenzofurane
  - s. a. PCDF
  - s. a. TCDD
  - ADI-Werte Tab. 2.12
- Chlorkohlenwasserstoffe
  - s. CKW
- Chlorphenole Tab. 2.1
  - Referenzwert Tab. 2.5
- Chrom Tab. 2.1
  - Referenzwert Tab. 2.5
- Chromatsalz 592
- Chrysen
  - Referenzwert Tab. 2.5
- CKW (483), 513, 568, Tab. 2.1, Tab. 2.5
  - Ausbreitung 143
  - Ausbreitungsmodell 350
  - Ausbreitungsverhalten 137
  - Entnahme 503
  - Erkennung 375
    - im Grundwasser Abb. 4.8, Tab. 3.5
  - Referenzwert Tab. 2.5
  - Sanierung 552, 560 f., Abb. 4.9
- Cyanide 568, 603, Tab 2.1
  - Referenzwert Tab. 2.5
- Cyanoverbindungen 569
- Cyclohexanon
  - Referenzwert Tab. 2.5
  
- Dampf
  - s. Stripping
- Dämpfe 562
  - Ausbreitungsfaktoren 136 ff.
  - Erfassung 503 ff.
- Dampfstrippen
  - s. Stripping
- Daphnientest 388
- Daten
  - personenbezogen 210 ff.
- Datenauswertung
  - EDV-gestützt 623
- Datenbank 319, 334
  - s. a. EDV
- Datenerhebung
  - s. a. Altlast, Erfassung
  - s. a. Information
  - s. a. Kataster
  - Kataster 938, 940
- Datensammlung Altlasten 577
- Datenschutz 210, 286, (298)
  - exponierte Personen 926
- Daueremissionen 1016
- DDT Tab. 2.1
- Dekontamination Tab. 4.1
  - Anforderungen 458
  - biologische Tab. 1.1
  - Charakteristik 539 ff.
  - Definition 457 ff.
  - Einkapselung 957

- Extraktionsverfahren Tab. 1.1
- Grenzen 448ff.
- kombinierte Verfahren Tab. 1.1
- Kosten-Nutzen 653
- Kriterien 482ff.
- Schadstoffeliminierung 957
- Schadstoffspektrum 647
- Strategien 542
- thermisch 89, 566ff., Tab. 1.1, Tab. 4.5
- Umwandlungsprodukte 645
- Umweltverträglichkeit 964
- Verfahren 463ff.
- Verhältnismäßigkeit 865
- vollständige 85
- Vorkenntnisse 555
- Dekontaminationsanlagen 960
  - zentral 641
- Dekontaminationsbedingungen 626
- Dekontaminationsmaßnahmen 638, 640, 865, 1024
- Dekontaminationsstrategie 646, 965
- Dekontaminationsverfahren
  - biologisch 648, 967
  - Grundtypen 463ff., 648, 967
  - hydraulisch 967
  - Kalkulation 673
  - Kosten 662ff., Tab. 5.2
  - thermisch 566ff., 648, 967
- Deponie 792
  - s. a. Wasserhaushaltsgesetz
  - in Betrieb befindliche 325, 493
  - Langzeitsicherheit 1021ff.
  - Schadstoffemissionen 1022
- Deponiegas (371), (493), 503ff., 555
  - s. a. Bodenluft
  - Analytik Tab. 3.8
  - Ausbreitung 504
  - Beschränkung 460
  - Erfassung 504
  - Wirkung auf Pflanzen (193)
- Deponiegebühren
  - Bemessung 670
- Deponiesicherheit 1020ff.
- Deponiestillegung 1024
  - Folgenutzung 1023
  - Maßnahmenkatalog 1023
- Detailuntersuchung
  - s. Hauptuntersuchung
- Dibromethan Tab. 2.1
- Dichlorethan Tab. 2.1
- Dichlorethen Tab. 2.1
- Dichlorpropan Tab. 2.1
- dichotomisches Schutzgutdenken 150
- Dichtungsbahn 509ff.
  - Durchlässigkeit 517
- Dichtwand 513ff.
- Dieselmotortreibstoff Tab. 2.1
- Diffusion
  - s. Permeation
- Dinitrophenol Tab. 2.1
- Dinitrotoluol Tab. 2.1
- Dioxine 571
  - s. a. PCDD/F
  - s. a. TCDD
- ADI-Werte Tab. 2.12
- Akkumulation 248
- Diskriminierung von Anwohnern 92
- Dokumentation 376, 426, 473
  - s. a. Kataster
  - Altlastdossier 408
  - der Probenahme 383ff.
  - Kriterien (321)
  - von Korrekturen 444
- Dringlichkeitsbeurteilung 851
- Drucksondierung
  - s. Sondierung
- duldbare tägliche Aufnahmemenge
  - s. ADI-Wert
- Dünger Tab. 2.1
  - Empfehlungen 288
- Durchlässigkeit 348, 507, 555, 558, 564
  - von Dichtwänden 515
- Durchlässigkeitsbeiwert (493), 516, Tab. 3.4
- Durchschnittswerte 917
- Durchströmbarkeit
  - Untergrund 615ff.
- EDV 316, 319, (321), 324, 334, 498
  - s. a. Datenbank
  - s. a. Expertensystem
- Effektivität
  - kombinierte Verfahren (465)
- EG-Steuerpolitik 750
- Eigenentsorger
  - juristische Grundlagen 721
- Eigentumsverhältnisse (298)
- Einkapselung 461, 495, 627, Abb. 4.2, Tab. 1.1, Tab. 4.2
  - Beispiel 493
  - Beschreibung 505ff.
  - Elemente 506, Abb. 4.3
- Einzelbewertung
  - Effizienz 854
  - gutachtengestützt 1002
- Einzelgespräch mit Betroffenen 103
- Einzelgutachten
  - Maßstäbe 952
  - Verdachtsflächen 952
- Eisenerzeugung
  - Altstandort Tab. 2.1
- Elektromagnetik
  - s. a. EMI-Sonde
  - Anwendungsbereich Tab. 3.2
- EMI-Sonde 336
- Emission
  - Erfassung 340
  - Untersuchung 329
  - Verhinderung 526
- emissionsfreie Auskofferung 545
- Emissionskataster (317)
- Emissionsüberwachung 625
- Empfindlichkeit 396
  - s. a. Kinder
  - der Nutzung 409

- der Schutzgüter 451
- von Personen 274
- Endlagerung 541, (544), 549
- Energiepreis 462
- Entgasung (542), 553, 566, Abb. 4.3
- Entgasungsanlage
  - mobil 577
- Entmunitionierung
  - Kostenträger 809, 813
  - Länderbeteiligung 809
- Entschädigungsverpflichtung 1005
- Entscheidungskriterien 641 f.
- Entscheidungsvorbereitung 107
- Entsorgung
  - Akzeptanz 85
  - innerbetrieblich 6
- Entwässerung Abb. 4.3
- Enzymhemmung 280
- Epichlorhydrin 269, Tab. 2.1
- Erdaushub Tab. 1.5
- Erfahrungsaustausch
  - international 905
- Erfassung von Verdachtsflächen 903
  - Bund 904 ff.
- Erfassungskonzepte
  - bundeseinheitlich 939
- Erfolgskontrolle 625
- Erhebung von Sonderabgaben 729 ff.
  - s. a. Zwecksteuer
- Erkenntnisdefizit
  - Stoffeigenschaften 951
  - Stoffverhalten 951
- Ermittlung zur Erstbewertung 313 ff.
- Erosion 511
  - Verhinderung 528
- Erstbewertung 394, 414, 432 ff., Tab. 3.15
  - Informationsbedarf 401
  - Kriterien 424
  - Prioritätensetzung 438
  - Verdachtsfläche 313, 942, Abb. 3.2
- Erster Weltkrieg
  - ökologisches Erbe 811
- Ethylbenzol Tab. 2.1
  - Referenzwert Tab. 2.5
- Evakuierung 460
  - ex situ
    - Definition 466
- Expertensystem 422
  - HELP 511
  - XSAL 420
  - XUMA 405
- Explosionsgefahr (23), 503 ff., 545
- Explosionsgrenze 192
- Explosivstoffe
  - Altstandort Tab. 2.1
- Exposition 284
  - s. a. Belastung
- Beurteilung 204 ff.
- Bewertung 406
  - Dauer 274
  - durch Trinkwasser 250 ff.
  - Möglichkeiten 201 ff.
- nutzungsabhängig 141 ff., 151 ff., 898
- Parameter 286
  - tolerable 453 ff.
  - von Bioindikatoren 390
- Expositionswege 152, 203, 923
- Extraktion 580
- Extraktionsmittel 588 f.
- Extraktionsverfahren
  - Schema Abb. 4.14
  - Überblick Tab. 4.7
- Extrapolation
  - von Emissionszeiträumen 1022
- Fahrlässigkeit 98
- Falschinformation 311
- Farben
  - Herstellung Tab. 2.1
- Fehlbewertung
  - Prüfwert 196
- Feinfraktion 588 f.
  - Reinigung 583
- Finanzierung
  - durch Besteuerung 780
  - stufenweise 977
  - Superfund (USA) 415
- Finanzierung der Altlastensanierung (298), 698 ff., 764 ff., 769 ff., 778 ff.
  - s. a. Altlastenfinanzierung
  - s. a. Finanzierungsbedarf
  - s. a. Finanzierungsmodell
  - s. a. Kooperationsmodell
  - s. a. Lizenzmodell
- Finanzierungsbedarf Abb. 5.5
  - Altlasten 651 ff.
  - Altlastenproblematik 975 ff.
  - Altlastensanierung 699 ff.
  - Bundesländer 685
  - Entwicklung 978
  - Faktoren 686
  - Hamburg 683
  - Niedersachsen 683
  - Schadenskosten 651
  - Schleswig-Holstein 683
- Finanzierungsbeteiligung
  - Industrie 766
- Finanzierungsmodell 698 ff., 748 ff.
  - Baden-Württemberg 770
  - Bayern 769
  - Bundesländer 785
  - EG-Recht 989
  - Hessen 771
  - Rheinland-Pfalz 767
  - Verantwortlichkeit 700
- Finanzierungsmöglichkeiten 979 ff.
- Finanzmittel 77
- Fischereigewässer 168
- Fischtest Tab. 3.9
- Fixierung Tab. 4.2
- Flächennutzung 20, 296
- Flächennutzungsplan 37, 155, 449, 880
- Flächenrecycling 1034



- Flächenverbrauch 19  
 Fleisch 241 ff.  
     s. a. Lebensmittel  
 flüchtige Stoffe 268 ff., 372 ff.  
     Erkennung 375  
 Flugplatz  
     Altstandort Tab. 2.1  
 Fluor 568  
     Bioindikatoren Tab. 3.9  
 Fluoranthren Tab. 2.1  
 Fluoren Tab. 2.1  
 Fluoride Tab. 2.1  
     Referenzwert Tab. 2.5  
 Fluorsilikate Tab. 2.1  
 Fördermittel 33, Tab. 1.1  
     für Gutachten 101  
 Forschungsdefizit  
     Nahrungskette 928  
 Fremdensorger  
     juristische Grundlagen 721  
 Furan  
     s. PCDD/F  
 Futtermittel  
     Beurteilung 249  
     Höchstwerte Tab. 2.13
- Gasbildung 365  
 Gaschromatographie 374  
 Gase 508, 562  
     Ausbreitungsfaktoren 136 ff.  
     bei Aushub 545  
     Erfassung 503 ff.  
     Zündgrenze 192  
 Gasentwicklung (137)  
 Gasreinigung Tab. 1.1  
 Gaswerk  
     Altstandort Tab. 2.1  
     Bewertungskonzept 439  
 Gebietskörperschaften  
     Kostenanlastung 774  
 Gefährdung  
     Abstufung 153, Tab. 4.4  
     akut 50, 455, 460  
     bei Sanierung 521  
     beim Aushub 545  
     durch hydraulische Maßnahmen 502  
     Einflußgrößen 423  
     latent 50  
     nach Sanierung 450  
     von Schutzgütern 427, Tab. 2.4  
 Gefährdungsabschätzung 52, 72, 108 ff., 119 ff., 128 ff.,  
 153 ff., 283 ff., 316, 327 ff., 896, 1032  
     s. a. Gefährdungspotential  
     Ablaufschema Abb. 3.1  
     Boden 365  
     bundesweit 954  
     Empfehlungen 194 ff.  
     Fehlschätzung 376  
     flüchtige Stoffe 272 ff.  
     Grenzen 117, 405  
     Grundelemente 113  
     Grundwasser 345 ff., 365, 406, 414, Tab. 3.11  
     Konzepte 429 ff., Tab. 3.15  
     Kosten 659, 674  
     Kostenträger 659  
     Kriterien 688  
     Methodik 932 ff.  
     nutzungsbezogen 913  
     organische Stoffe 224 ff.  
     Prioritäten 404, Tab. 3.13  
     Schlußfolgerung 440 ff.  
     Staub 264 ff.  
     Stoffgemisch 387  
     Strategie 932 ff.  
     Trinkwasser 254 ff.  
     Unsicherheiten 116 ff.  
     Unterschätzung 6, 10  
     Verfahren 329, 394 ff., Tab. 3.10  
     Vermutungen 412 ff.  
     Willkür 428  
 Gefährdungsbeurteilung 892, 908 ff., 936  
     Einzelanalysen 917  
 Gefährdungspotential 843, 908  
     s. a. Gefährdungsabschätzung  
     Beurteilung 916  
     Faktoren 49 ff.  
     Gase und Dämpfe 137  
     Klassen 408, 410, 422  
     Kriterien 109 ff.  
     stoffbezogen 848  
     Unsicherheiten 11  
     Verdachtsfläche 932  
 Gefahrenabwehr 835, 852, 861 ff.  
     s. a. Risikoabwägung  
     juristische Tragweite 998 f.  
     Naturgüter 838  
     präventive 833  
     Prioritäten 1017  
 Gefahrenbegriff  
     Definition 835  
 Gefahrenbeseitigung 861  
     Prüfwerte 852  
 Gefahrenbeurteilung  
     s. a. Gefährdungsabschätzung  
     s. a. Gefährdungspotential  
     Arbeitsgruppe 78  
 Gefahrenerfassung  
     finanzieller Aufwand 937  
     Informationssammlung 935  
     Methodik 938  
     personeller Aufwand 937  
 Gefahrenerforschung 852  
     abgestuftes Vorgehen 934  
 Gefahrenerkennung  
     Risikozuweisung 996  
 Gefahrenquelle  
     Nutzungsart 838  
 Gefahrenverdacht 836, 848  
 Gefahrenvermeidung  
     Prävention 834  
 Gefahrgut  
     Transportrecht (466)  
 Gegenleistung  
     für Beihilfen der EG 743  
 Geländebegehung 307

- Geltungsrahmen  
Gesetzgebung 803  
Wasserhaushaltsgesetz 803
- Gemeinlastprinzip 7f., 702ff., 706, 710ff.,  
782, 979  
EG-weit 742  
Landesbeiträge 773
- Gemüse  
s. Nutzpflanzen
- Genehmigung  
mobiler Anlagen 876, 1007
- Genehmigungsbehörde 622
- Genehmigungspflicht  
mobile Anlagen 1007
- Genehmigungsverfahren 91, 869  
s. a. Planfeststellungsverfahren  
Vereinfachung 878  
Versuchsanlagen 1008
- Generalklausel 833, (843)  
Geltungsbereich 837, 860  
Umweltvorsorge 797
- geoelektrische Widerstandsmessung 336, Tab. 3.2
- Geologie 412, 489, 555, 560, (563), Tab. 3.12
- geologische Untersuchung 340ff.
- Geophysik  
Untersuchungen 335ff.
- Georgswerder 102  
Aushub 550  
Oberflächenabdeckung 510, Abb. 4.4  
Sanierungskonzept 492, Abb. 4.2
- Gerolsheim  
Oberflächenabdeckung 510  
Sanierungskonzept 493
- Geruchsbelästigung (25), 270, 545  
Beurteilung 190  
Deponiegas 504
- Geruchszahl 190
- Gesetze  
Anwendbarkeit 154
- Gestein 435
- Gesteinsschicht 335, 340
- Gesteinsuntersuchung 344
- Gesundheit  
des Menschen 427  
Gefährdung 97, 102, 207, 274  
Gefährdung bei Probenahme 371  
Gefährdung durch Trinkwasser 255ff.  
Gefährdungsbeurteilung 200ff.  
Monitoring 393
- Gesundheitsfürsorge 629
- Gesundheitsgefährdung 923ff.
- Gewässer  
s. a. Grundwasser  
s. a. Trinkwasser  
Bewertung 165  
Güteklasse II Tab. 2.6  
stehend 165
- Gewässerbelastung  
Standardwerte 157
- Gewebeuntersuchung 209
- Gewerbe- und Immissionsschutzrecht 802
- Gewerberecht 1026
- Gießerei  
Altstandort Tab. 2.1
- Glasherstellung  
Altstandort Tab. 2.1
- Glasverarbeitung  
Altstandort Tab. 2.1
- Grenzwert  
Festlegung 453  
Grundwasser Tab. 2.20  
kanzerogene Stoffe 258ff.  
Pflanzen 407  
Trinkwasser (451)
- Grenzwertkonzept  
s. Bewertungsverfahren
- Grundstoffabgabe 752ff., 982f.  
Grundstoffsteuer 753ff.  
Verfassungskonformität 986
- Grundstücke  
Wertminderung 652ff.
- Grundstückspreis 462
- Grundwasser 14ff., 290, 513, 553ff., 796, 1019  
Absenkung 558  
Abstrom 346ff.  
Analytik 359ff., 435, Tab. 3.5  
Belastung durch Altlasten 930  
Beurteilung 162ff., 197, 260  
Bewertung 406, 414, Tab. 3.14  
Durchschnittswerte 165  
Erfassung Abb. 4.7  
Funktionen 145  
Geologie 340  
häufige Schadstoffe Tab. 2.20  
hydraulische Maßnahmen 496ff.  
Kenngrößen Tab. 3.4  
Meßstellen 346ff., 360  
Meßverfahren Tab. 3.4  
Minimalkatalog 423  
nach Sanierung 543  
Neubildung 349  
Prognose 397  
Reduktionszone 145  
Restkonzentration 451  
Schäden 26  
Spiegel 335, 501  
Stau 144  
Stoffwechsel 141  
Strömung 501, Tab. 3.4  
Testsysteme 146  
und CKW Abb. 4.8  
und Öl 494, Abb. 4.8  
Untersuchung 341, 345ff.
- Grundwassergefährdung 141ff., 521, 893  
s. a. Sickerwasser
- Grundwasserleiter 618
- Grundwasserpfad  
s. a. Ausbreitungspfad  
s. a. Belastungspfad  
Bewertung 421ff.
- Grundwassersanierung (497), 553, 616  
Erfolg 619  
Reinigungsgrad 619
- Grundwasserschutz 253, 616

- Grundwasserverunreinigung 930  
s. a. Nahrungskette  
Trinkwasser 920
- Grünplanung 106  
s. a. Bebauungsplan
- Gruppenlastprinzip 708, 712, 753, 782, 979 ff.  
s. a. Gemeinlastprinzip
- Gummiverarbeitung  
Altstandort Tab. 2.1
- Gutachter 398, 438, 953
- Güteklasse (Gewässer) Tab. 2.6
- Güterbahnhof  
Altstandort Tab. 2.1
- H-Wert (Boden) 181
- Haar  
Orientierungswert Tab. 2.15
- Haftung 704  
Altlastenfinanzierung 700  
Verursacher 703 ff.
- Haftungszeitraum 1025
- Halbwertszeit  
TCDD 229
- halogenierte Kohlenwasserstoffe 568  
Entfernung 565  
Referenzwerte Tab. 2.10
- Halogenverbindung 571
- Hanau (Pintsch-Gelände) 494
- Hand-zu-Mund-Kontakt  
Schadstoffe 927
- Handlungsbedarf  
Ermittlung 403 ff., 422, Tab. 3.10
- Handlungshaftung 831  
s. a. Polizei- u. Ordnungsrecht  
für Altlasten 817 ff.  
Rechtsnachfolge 830 ff.
- Handlungsstörer 832
- Hauptkontaminanten 354, 406, Tab. 3.11  
s. a. Leitsubstanz
- Hauptuntersuchung 436  
s. a. Analytik  
s. a. Untersuchung
- Hausgarten  
Schwellenwerte Tab. 2.17
- Hausmüll  
Bewertungsverfahren Tab. 3.10  
Gasentwicklung 372  
und Gips 270
- Hautkontakt  
s. Resorption über die Haut
- Hazard Ranking System (HRS) 414 ff., Tab. 3.14
- HDPE 509  
Permeation Abb. 4.5
- Hefen  
Arten Tab. 4.8
- Herbizide  
s. Pflanzenschutzmittel
- Hexachlorbenzol Tab. 2.1
- Hexachlorcyclohexane Tab. 2.1
- Hexogen Tab. 2.1
- Hilfsstoff 588
- Hintergrundbelastung 196, 451  
Trinkwasser 254
- Hintergrundkonzentration 165  
biologisch Tab. 2.14
- Hintergrundwert 194 ff.  
s. a. Referenzwert
- Höchstwert 195 ff., (409), (451), 916, 920, 949, 1004  
Definition 154  
Festsetzung 850  
im Organismus 211  
Kritik 396 ff.  
Richtlinien Tab. 2.13  
Trinkwasser 256 ff.  
Überschreitung 850
- Hochtemperaturtechnik 571
- Humantoxikologie (111), 845  
s. a. Toxizität
- hydraulische Maßnahme 496 ff., (542), 552 ff.  
aktive 497 ff., 554 ff., Abb. 4.7  
Definition 497  
Entnahmehrunnen 556, 559, Abb. 4.7, Abb. 4.8  
Grenzen 558  
Komponenten 556  
negative Folgen 502  
passive 497 ff.  
Schock-Verfahren 560  
Vorkenntnisse 555
- Hydrogeologie 560, (563)  
s. a. Geologie  
s. a. Grundwasser
- hydrogeologische Kenngrößen Tab. 3.4
- hydrogeologische Messung 345 ff.
- hydrogeologische Untersuchung 340 ff.
- Hydrologie Tab. 3.12
- Immission  
Abschätzung 275  
Beurteilung 188 ff.
- Immissionsschutzrecht 877, 1026  
s. a. Bundes-Immissionsschutzgesetz
- Immissionswerte  
Staub 264
- Immobilisierung 461, 467, 495, 560, 565, 627  
Gefahren 532, 535 ff.  
Hilfsstoffe 526, Tab. 4.3  
Literatur Tab. 4.3  
Mechanismen 529 ff., Tab. 4.3  
Reversibilität 532  
Verfahren 534 ff., Tab. 4.2, Tab. 4.3  
Wirksamkeit 527  
Ziele 526 ff.
- in situ 530, 533, (552), 559, 561, 566, Tab. 4.2  
Definition (463), (466), 467  
Kosten 667  
mikrobiologisch 614 ff.  
Verfahren 467, 582, 585, 597, 1034, Abb. 416
- Indeno(1-2-3-cd)pyren  
Referenzwert Tab. 2.5
- Indikatororganismen 388 ff.

- Indizien für Altlast 309  
s. a. Altlast, Erfassung
- Information  
s. a. Akzeptanz  
s. a. Kataster
- Altlastdossier 411
- Anforderungen 328
- Datenbank 334
- der Bürger 99 ff.
- Erfassung 297 ff.
- Mindestmaß 442
- notwendige 417
- Standardisierung 401
- Stellenwert 322
- Vergleichbarkeit 320, 324
- Informationspavillon 102
- Informationsquellen (322)  
zur Altlasterkennung 307 ff.
- Informationssammlung  
Verfahren 303
- Infrarotspektroskopie 367
- Ingenieurbüro 322
- Inhalation von Schadstoffen 261 ff.
- Innenräume  
Zwangsbelüftung 460
- Insektizide  
s. Schädlingsbekämpfungsmittel
- Isopropanol 281
- Kampfstoff 548  
s. a. Rüstungsaltlast
- Kanaldokumentation 1038
- Kanalsystem  
Leckagen 1038
- kanzerogene Stoffe 285, 454  
Bioindikatoren Tab. 3.9  
im Trinkwasser 258 ff.  
in Luft 269
- Kanzerogenität (200), 258 ff.
- kanzerogene Wirkung 389, Tab. 2.20
- Karten  
Auswertung 310
- Kartierung 370
- kartographische Dokumentation 318
- Kataster 301, 315 ff., 334  
Anforderungen 317  
Auswertung 310  
Merkmalkatalog 324  
praktischer Einsatz 324  
Stammblatt Abb. 3.4  
Vergleichbarkeit 320  
Zugang 326
- Kenntnisstand  
Schadstoffeigenschaften 909  
Schadstoffwirkungen 909
- Kennzeichnungspflicht  
von Altstandorten 881
- Kernbohrung 341, 365  
Einsatzbereich Tab. 3.3
- Kiesgrube  
Grundwassergefährdung (143)
- Kinder  
Blei 212  
Schadstoffaufnahme 215 ff., 287  
Schwebstaubinhalation 265, Tab. 2.21  
Schwermetalle Tab. 2.17, Tab. 2.18
- Kinderspielplatz  
Schwellenwerte Tab. 2.17
- Klärschlamm Tab. 1.5
- Klassifizierung von Altlasten  
s. altlastverdächtige Fläche
- Klima  
Risikofaktor 129
- Klimaeinfluß 349
- Kobalt  
Referenzwert Tab. 2.5
- Kohlendioxid 562
- Kohlenwasserstoff  
Permeation Abb. 4.5
- Kohlenwasserstoffe 603  
Sanierungsmaßnahme 561
- Kohleveredelung  
Schadstoffe 405
- Kokerei  
Altstandort Tab. 2.1, Tab. 4.3  
spezifische Stoffe 366, Tab. 3.6
- Kombinationswirkung 279 ff., 285, 387, 764, 925
- Kompostierung  
Altlasten 611  
Verfahrenstechnik 611
- Konfliktlösung 104  
s. a. Akzeptanz
- Konsens  
s. Akzeptanz
- Kontaktperson 103  
s. a. Akzeptanz
- Kontamination  
mobilisierbar 483
- Kontaminationsgrad 589
- Kontaminationskörper 495  
s. a. Abfallkörper  
Behandlung 463 ff.  
Verwendung nach Reinigung 543
- Kontaminationspfade 923
- kontaminierte Flächen 54
- kontaminierte Standorte 54
- Kontrollintensität 633
- Konzentration  
kritische 192
- Konzentrationsfaktor 244  
s. a. Anreicherung
- Konzentrationswerte 843 ff.
- Kooperation  
interdisziplinär 944
- Kooperationsmodell 764 ff., 984  
Gesetzgebung 988  
Mitfinanzierung 765, 772  
Rheinland-Pfalz 767
- Kooperationsprinzip  
Grundrecht 739
- Kooperationsvereinbarung 738 ff.

- Kooperationsvertrag  
Subsidiarität 765
- Korngröße 545  
des Bodens 368  
von Gestein 344
- Kosten (479)  
bei Datenerhebung 299  
bei Erfassung 322  
bei Untersuchung 357  
der Bewertung 429  
der Sanierung (466), 487  
des Transports 549  
Einsparung 322, 494  
Energiepreis 462  
Ermittlung 473  
für Transport 468  
Grundstückspreis 462  
hydraulische Maßnahme 502  
Planung 475  
thermische Behandlung 567  
Untersuchung von Verdachtsflächen 352  
Zielsetzung 678
- Kostenanlastung 705 ff.  
s. a. Betriebslöschung  
Gemeinlastprinzip 979  
Grundstoffsteuer  
s. Grundstoffabgabe  
Vermeidungsanreiz 980  
Verursacherprinzip 979
- Kostenanlastungsprinzip 707, 979 ff.  
Verursacherprinzip 701 ff.
- Kostendeckungsgrad  
Bundesländer 785
- Kostengliederung  
Altlastensanierung Tab. 5.1
- Kosten-Nutzen-Analyse 678 ff.
- Kostentragungspflicht 999
- Kostenübertragung  
Verursacherprinzip 863
- Kostenvorteil 597
- Kostenwirksamkeit Abb. 5.2, Abb. 5.4
- Kosten-Wirksamkeits-Analyse Abb. 5.2
- Kresole Tab. 2.1
- Kriegsfolgelast 7, 807 ff.  
s. a. Munition  
s. a. Rüstungsalblast  
Erfassung Tab. 1.4
- Kulturboden 391, 435  
Analyse 366  
Bewertung 422  
Untersuchung 366  
Untersuchungsprogramm 438  
Mindestuntersuchungsprogramm 442
- Kunststoffherstellung  
Altstandort Tab. 2.1
- Kunststoffverarbeitung  
Altstandort Tab. 2.1
- Kupfer Tab. 2.1  
Referenzwert Tab. 2.5
- Kurzzeittest 388 ff.
- Labor  
s. mobile Meßstelle  
s. Untersuchungsstelle
- Lacke  
Herstellung Tab. 2.1
- Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (954)
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 677
- Länderverwaltungsvorschrift 857
- Landesplanung (324)
- Landeswassergesetze 793, 833  
s. a. Polizei- und Ordnungsrecht
- Landwirtschaft 241, 288, 928  
s. a. Nutzpflanzen  
s. a. Tiere  
Bodenbewertung 407  
Immissionswerte Tab. 2.13  
Monitoring 391  
Umweltprobleme 41
- Langlebigkeit  
Beurteilung 171
- Langzeitsicherheit 625, 632
- Langzeitstabilität 459, 632
- Lastengleichheit 736  
s. a. Zwecksteuer
- Lebensmittel  
Beschränkung 460  
Höchstmengen Tab. 2.13  
Schadstoffakkumulation 248  
Überwachung 288, 928
- Lebensraumfunktion des Bodens 12 ff.
- Leberenzymwerte 97
- Leckage 889  
Erkennung 513, 523  
Vermeidung 1036
- Lederindustrie  
Altstandort Tab. 2.1
- Leitfähigkeit (Tab. 3.5), Tab. 3.7
- Leitparameter 354
- Leitsubstanz 354
- Leitungssystem  
Leckagen 1038
- Lemberger Box (Bodenluftprobe) 373
- Lenkungsabgaben 749  
s. a. Altlastenabgabe, Produktsteuer  
s. a. Zwecksteuer
- lipophile Stoffe 243
- Lizenzabgabe 983
- Lizenzmodell 716 ff., 724, 755 ff., 782  
s. a. Berufsfreiheit  
Effizienz 757  
juristische Aspekte 717  
Kontingent 759  
Nordrhein-Westfalen 755 ff.  
ökonomische Aspekte 756 f.  
Rechtsprechung 669, 724 ff.  
Zuschüsse und Beihilfen 756
- Lizenzpflicht 722 ff.  
Eigenentsorger 724  
Fremdentsorger 725
- Lizenzpreis  
Abschreckung 760  
Bemessungsgrundlagen 762 f.

- Vermeidungsanreiz 760
- Verursacherprinzip 761
- Lösungsmittel 568
  - Erkennung 375
  - Höchstmengen Tab. 2.13
- Luft
  - s. a. Bodenluft
  - Ausbreitungsmedium 125 ff.
  - Beurteilung 187 ff., 273 ff.
  - Bioindikatoren Tab. 3.9
  - flüchtige Schadstoffe 268 ff.
  - Innenräume 191
  - Probenahme 373
  - Transportfunktion 148
- Luftbild 307, 309
  - Infrarot/Falschfarben 314
- Luftpfad 125, 187 ff.
  - s. a. Ausbreitungspfad
  - s. a. Belastungspfad
- Luftschadstoffe 41
- Luftstrippen
  - s. Stripping
- Lunge
  - s. Resorption über Lunge
  - s. Staub
  
- Machbarkeitsstudie 474 ff., 533, 536, 540, 544
  - 554, 563, 598 ff., 614, 640, 643
- Magnetometer 336
  - Anwendungsbereich Tab. 3.2
- MAK-Werte
  - Luft 274
  - Staub 264
  - Summierung 280
- Markierung von Grundwasser 348
- Maßnahmen
  - zur Gefahrenabwehr 862
  - zur Gefahrenforschung 862
- Maßnahmenkatalog 861
- Massenspektrometer (356)
- Massenspektrometrie (374)
- Mathematisches Modell.
  - Simulation 911
  - Stofftransport 911
- maximale Arbeitsplatzkonzentration
  - s. MAK-Werte
- maximale Immissionskonzentration
  - s. MIK-Werte
- Meßergebnisse
  - Bekanntmachung 102
- Mesitylen Tab. 2.1
- Messung
  - am Menschen 286
  - Grundwasser 345 ff.
- Meßtechnik 623
- Meßverfahren
  - s. Analytik
- Metabolismen 600 f., 609
- Metabolit 473, 564
  
- Metalldetektor 336
  - Anwendungsbereich Tab. 3.2
- Metalle
  - s. a. Schwermetalle
  - Referenzwert Tab. 2.5
- Metallverarbeitung
  - Altstandort Tab. 2.1
- Methan 562
  - als Trägergas 268
- Methodik der Altlasterrfassung
  - s. Altlast, Erfassung
- Methylaminnitrat Tab. 2.1
- Mietenkompostierung 611
- Migration
  - Einflußgrößen 132 ff.
- MIK-Werte 188
- Mikroorganismen 596
  - adaptiert 605, 608
  - (gen)manipuliert 605 f.
- Milch 241 ff.
  - Dioxinakkumulation 248
  - Höchstwerte Tab. 2.13
- Milieubedingungen
  - mikrobiologisch 609
- Mindestuntersuchungsprogramme 442, 942
- Mineralisierung 607
  - Grad 613
- Mineralöl 568, Tab. 2.1
  - Altstandort Tab. 2.1
  - Referenzwert Tab. 2.5
- Mineralölkontamination 612 f.
- Mischfinanzierung 779
  - Altlastensanierung 767
- mobile Meßeinrichtung 356, 374
- mobile Sanierungsanlage 549, 874 ff.
- Mobilität 354
  - Beurteilung 171
  - CKW 560
  - Immobilisierung 461
  - von Stoffen 397, 472, 483, 526 ff., (555), 558, Tab. 3.11
- Molybdän
  - Referenzwert Tab. 2.5
- Monetarisierung 680 f.
- Monitoring 387 ff., Tab. 3.9
  - s. a. biological Monitoring
- Monochlorethen
  - Bildung 145
- Multibarrierenkonzept 489 f.
- Münchehagen 97, 103
- Munition 40, 548
  - s. a. Rüstungsaltlast
  - Altstandort Tab. 2.1
- mutagene Stoffe 285
  - Testverfahren 388
  
- Nachermittlung 313
- Nachsorge (479), (489), Tab. 4.1
  - bei Sicherungsmaßnahmen 481

- Nachweisverfahren  
im Organismus 211  
s. a. biological monitoring  
s. a. Blut  
s. a. Urin
- Nahrungsfett Tab. 2.1
- Nahrungskette 15, 288, 893, 927  
s. a. Persistenz  
s. a. Sickerwasser  
Ausbreitungspfad 125  
Belastung Tab. 3.9  
Bewertung Tab. 3.14  
Bioindikatoren 390  
Metalle 233 ff.
- Nahrungsmittel  
Belastung 288
- Naphthalin Tab. 2.1  
Referenzwert Tab. 2.5  
Sanierung 561
- Naturhaushalt 914
- NE-Metalle  
Altstandort Tab. 2.1
- Neulasten 1013
- Nicht-Eisen-Metalle  
s. NE-Metalle
- Nickel Tab. 2.1  
Referenzwert Tab. 2.5
- Niederlande 158
- Niederländische Liste 158, 178 ff., (409), 414  
843, Tab. 2.5
- Niederschläge 508, 558  
Belastung durch 243  
Filterung 447  
Gasbildung 372  
Sicherungsmaßnahmen 461
- Nitrat  
im Trinkwasser 256  
in Gemüse Tab. 2.19  
Referenzwert Tab. 2.5
- Nitrit  
im Trinkwasser 256
- Nitrobenzol Tab. 2.1
- Nitrophenol Tab. 2.1
- Nordhorn 106
- Nordhorn (Povel-Gelände) 477, 547
- Normkonkretisierung  
s. Verwaltungsvorschrift
- Nutzpflanzen  
Anbau 16  
Bodenprüfwerte Tab. 2.11  
Gießwasserbelastung 252  
Schadstoffaufnahme 243 ff.  
Schadstoffverteilung 234  
Untersuchung 391 ff.
- Nutzung (396), (489)  
s. a. altlastverdächtige Fläche  
s. a. Altstandort  
s. a. Landwirtschaft  
s. a. Nutzpflanzen  
s. a. Wohngebiet  
Bewertung 406  
Bewertungsmodell Tab. 3.12  
Einschränkung 460  
nach Sanierung 449, 534  
Punktebewertung Tab. 3.14  
Risiko Tab. 3.10  
Schadstoffübergang 288  
Sportplatzbelag 266
- Nutzungsart  
Verdachtsfläche 912, 915
- Nutzungsausgleich 832
- Nutzungsbeschränkung 654, 928, 1004
- Oberflächengewässer 347  
s. a. Gewässer  
Bewertung Tab. 3.14  
Qualität 921  
Testverfahren 388
- Oberflächenabdeckung 507 ff., Abb. 4.3  
Aufbau 509, Abb. 4.4  
Aufgaben 508  
Beanspruchung 510  
bei Absaugung 564  
Erosion 511
- Oberflächenwasser  
Analytik 363  
Beurteilung 162 ff.
- öffentliche Meinung  
s. a. Akzeptanz  
Einflüsse 94 ff.
- öffentliche Sitzung 102
- Öffentlichkeit  
s. a. Akzeptanz  
Befragung 307  
Beteiligung 91, 101 ff., (469)  
s. a. Risk Communication  
Beunruhigung 82  
Druck durch 98
- Ökosteuern 985
- Ökosystem 427, 914  
Sekundärschaden 502
- Ökotoxikologie (111), 149, 845  
s. a. Toxizität  
Testsysteme 146
- Öl (483), 513, 568  
Dekontamination 557  
Immobilisierung Tab. 4.2  
und Grundwasser Abb. 4.8
- off site (552), 566, Tab. 4.2  
Definition (463), 466  
Verfahren 468, 611
- on site 530, (552), 566, Tab. 4.2  
Definition (463), 466  
Verfahren 468, 591, 607, 611
- orale Aufnahme von Schadstoffen 215 ff., 365
- Ordnungsrecht 864 ff.  
s. a. Polizei- und Ordnungsrecht
- organische Stoffe 224 ff., 243 ff., (407), 568  
s. a. Schadstoff  
Analytik Tab. 3.5, Tab. 3.7  
Aufnahme 243 ff.  
Behandlung 568  
Beurteilung 186  
Bioindikatoren Tab. 3.9

- flüchtige 372 ff.  
im Boden 368  
im Grundwasser Tab. 2.20, Tab. 3.5  
im Trinkwasser 257 ff.  
Immobilisierung Tab. 4.3  
in Bodenluft Tab. 3.8  
in Rüstungsaltslasten 231  
Inhalation 268 ff.  
Persistenz Tab. 2.8  
Referenzwerte 181, Tab. 2.10  
Sanierung 494  
Stoffgruppen 225
- Orientierungswert 195 ff., (409), (451), 848, 916,  
918, 949, 1004  
s. a. Vorsorge  
Definition 154 ff.  
human-biologisch Tab. 2.15  
Kritik 396 ff.  
Luft 274  
Richtlinien Tab. 2.13  
Trinkwasser 255
- Oxidation 593  
Ozonung 618
- PAH 568, Tab. 2.1, Tab. 2.5, (Tab. 3.5)  
Analytik (Tab. 3.7)  
Entfernung 565  
im Trinkwasser 257 ff.  
Referenzwert Tab. 2.5, Tab. 2.10
- Papierindustrie  
Altstandort Tab. 2.1
- passives Monitoring  
s. Monitoring
- pathogene Keime  
Grundwasser 145
- PCB 244 ff., 568, 571, Tab. 2.1  
Immobilisierung Tab. 4.2  
Referenzwert Tab. 2.5  
Sanierung 494
- PCDD/F 568 ff.  
s. a. TCDD  
Akkumulationsfaktor 248  
Belastung 227
- PCN Tab. 2.1
- Pentachlorphenol Tab. 2.1
- Permeation 515 ff., Abb. 4.5
- Persistenz 354, (366), 608  
s. a. Nahrungskette  
s. a. Resorption  
Bewertung Tab. 3.11  
PCB 246  
Punktebewertung Tab. 3.14
- Personalbedarf 79
- Perzentilwert Tab. 3.11
- Pestizide Tab. 2.5, (Tab. 3.5)  
s. a. Schädlingsbekämpfungsmittel
- Petroleum Tab. 2.1
- Pflanzen (365), 366  
s. a. Nutzpflanzen  
als Bioindikatoren Tab. 3.9  
als Indikator 314, 372
- fehlender Bewuchs 261, 511  
Schadwirkungen 28
- Pflanzenschutzmittel 280 ff., 568, Tab. 2.1  
Höchstmengen Tab. 2.13
- pH-Wert (Tab. 3.5)  
Boden 368, Tab. 3.7  
Schwermetallresorption 218
- Pharmazeutika Tab. 2.1
- Phenole 603, Tab. 2.1, (Tab. 3.5)  
Referenzwert Tab. 2.5  
Sanierung 561, 565
- Phosphat  
Referenzwert Tab. 2.5
- Phosphatester Tab. 2.1
- Phthalat Tab. 2.1  
Referenzwert Tab. 2.5
- physikalische Immobilisierung 531  
s. a. Immobilisierung
- physikalische Untersuchung 353 ff.
- Pilotanlage  
Entgasung 577  
Vergasung 577
- Pilotmaßstab 478
- Planfeststellung  
Zeitaufwand 869
- Planfeststellungsbeschuß 868
- Planfeststellungsverfahren 91  
für mobile Anlagen 875
- Planung  
Sanierung 469 ff.  
Transport 549
- Planungssteuerung durch Lizenzvergabe 728
- pneumatische Maßnahme 503 ff., (542), 552 ff.  
s. a. Bodenluftabsaugung  
s. a. Strippen  
aktive 561 ff.
- Politik 453 ff., 469
- Polizei- und Ordnungsrecht 795 ff., 815 ff., 990 ff.  
Anwendung 991  
Generalklausel 795  
Grundsatz u 995
- polychlorierte Biphenyle  
s. PCB
- polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe  
s. PAH
- Polyethylen Tab. 4.3
- Polyethylen hoher Dichte  
s. HDPE
- Prioritätensetzung 851  
s. a. Gefährdung
- Probenahme 356  
Fehlerquelle 383  
Grundwasser 360  
Luft 373  
Ort 335  
Richtlinien 360  
Standardprobe 384  
Untergrundaufbau 364
- Produktionsfunktion des Bodens 12 ff.
- Produktionsrückstände 995
- Programmablauf  
s. Ablaufschema



- Programmkonstrukte 293 f.  
 Protestaktion 97  
   s. a. Akzeptanz  
 provisional tolerable weekly intake  
   s. PTWI-Wert  
 Prozeßkontrolle 609  
 Prozeßparameter 626  
 Prozeßsteuerung 609, 625 f.  
 Prozeßüberwachung 609, 625 f.  
 Prüflabor  
   s. Untersuchungsstelle  
 Prüfwert 195 ff., 391, (409), 414, 843 ff., 916, 919, 949,  
   Tab. 2.5  
   s. a. Beurteilungsverfahren  
   s. a. Konzentrationswerte  
 anorganische Stoffe 407  
 Boden Tab. 2.11  
 Definition 154 ff.  
 Gefährdungsausmaß 1000  
 juristische Absicherung 845  
 Kritik 396 ff.  
 Luft 189  
 Relativität 846, 853  
 Relevanz 844  
 Überschreitungs-skalen 852  
 Verbindlichkeitsgrad 855  
 Prüfwertkonzept  
   Gefährdungspotential 843  
   Gefahrenbeurteilung 845  
 Prüfwertlisten  
   juristische Aspekte 847  
   Mindestanforderungen 1000 f.  
   Relevanz 919  
 psychosomatische Krankheit 92  
 psychosoziale Effekte 96  
 PTWI-Wert 207  
   Schwermetalle 218  
 Puffervermögen  
   Boden 147  
 Pumpversuch (Hydrogeologie) 348  
 Pyridin  
   Referenzwert Tab. 2.5
- Qualitätssicherung 333, 376 ff., 525, 625  
 Quantifizierung  
   monetär  
   s. Monetarisierung  
 Quecksilber 568, Tab. 2.1  
   Belastung 222  
   in Nutzpflanzen 236  
   Referenzwert Tab. 2.5  
   Schwellenwert 219 ff.
- Radar 336  
   Anwendungsbereich Tab. 3.2  
 radioaktive Stoffe 59  
 Rammsondierung  
   s. Sondierung  
 Rauchgasreinigung 569
- Rauchgasreinigungs-Gips  
   Toxizität 270  
 Raumordnung (324)  
 Raumordnungsrecht  
   Freiraumsicherung 1034  
 Recht  
   s. a. Abfallgesetz  
   s. a. Bundes-Immissionsschutzgesetz  
   s. a. Gesetze  
   s. a. Richtlinien  
 Abwasser 173  
 auf Information 326  
 Ausschöpfung des geltenden Rechts 150  
 Eigentümergepflichten 326  
 Persönlichkeitsrechte 210  
 Standards 156  
 Rechtsgüter  
   Definition 796  
 Rechtsnachfolge 830  
 Rechtsvorschriften  
   Altlastenbeseitigung 886  
 Recycling 672  
 Reduktion 593  
 Referenzwert 355, 416, 849, 916, 1004, Tab. 2.5  
   s. a. Hintergrundwert  
   biologisch 212, Tab. 2.14  
   Boden Tab. 2.9  
   Definition 154 ff.  
   Kritik 396 ff.  
   Trinkwasser 254  
   Überschreitung 849  
 Regelungsfunktion der Umwelt 12 ff.  
 Regelungsfunktion des Bodens 12 ff., 147  
 Regeluntersuchung  
   Wasserpfad 437  
 Reinigungsgrad  
   Grundwassersanierung 619  
 Reinigungsverfahren  
   thermisch 575  
 Rekultivierung 5, 789  
 Reparatur  
   s. Sicherungsmaßnahme, Reparatur  
 Resorption von Schadstoffen 205 ff.  
   s. a. Aufnahme  
   s. a. Persistenz  
   bei Probenahme (371)  
   Hand-zu-Mund-Kontakt Tab. 2.21  
   in Pflanzen 234 ff.  
   Magen-Darm-Trakt 262 ff.  
   pH-Abhängigkeit 218  
   über die Haut 277 ff.  
   über Lunge 262 ff.  
 Resorptionsrate 222  
   Lunge 263  
 Restbelastung  
   Überwachung 630 f.  
 Restkontamination 463 ff., (472), 494, (542)  
 Rheinland-Pfalz 767 ff.  
 Richtigkeitskontrollprobe 384  
 Richtlinien  
   s. a. Abfallgesetz  
   s. a. Bundes-Immissionsschutzgesetz  
   s. a. Gesetze

- s. a. Recht
- Abfalluntersuchung 371
- Altlastenhandbuch 404 ff.
- Analytik 360
- Aushub 546
- Bodenanalytik 367
- Bodeneigenschaften 368 ff.
- Bodenluftanalytik 373
- Bodenproben 365 ff.
- Dichtwände 513
- Einkapselung 507
- für Bodenuntersuchungen 343
- für Staub 267
- für Untersuchungen 357
- Gewässer 168
- Grundwasserbewertung 406
- Grundwassermessung 346
- Hautkontakt 278
- Höchstwerte Tab. 2.13
- hydrogeologische Verfahren 351
- Immissionen 188 ff.
- Lebensmittel Tab. 2.13
- Lösungsmittel Tab. 2.13
- Meßstellenanforderungen 379
- Oberflächenabdeckung 508
- Orientierungswerte Tab. 2.13
- Probenahme 363
- Qualitätskontrolle 525
- Qualitätssicherung 379
- Stoffliste 171
- Trinkwasser 167, Tab. 2.20
- Richtwert 154
  - Grundwasser Tab. 2.20
- Ringversuch 380 ff.
- Risiko
  - s. a. Gefährdungsabschätzung
  - s. a. Gefährdungspotential
  - akzeptables 454
  - Ermittlung Tab. 3.10
  - maßgebliches (404), Tab. 3.10
- Risikoabschätzung 614
  - Erkenntnisgrenzen 1010
  - unbekannte Faktoren 1011
- Risikoabwägung 834
- Risikobewertung 10
- Risikofaktoren
  - standortgegebene 128 ff.
- Risikovorsorge 836
- Risk Communication 101
- Röntgenfluoreszenz 367
- Rückstände der Dekontamination 541
- Rückstandsbelastung 229
- Rückwirkungsverbot 800
  - s. a. Wasserhaushaltsgesetz
- Rüstungsaltposten 7, 271, 804 ff., 807, 890, 994
  - s. a. Kriegsfolgelast
  - s. a. Munition
  - Abfallgesetz 814
  - Erfassung 67, Abb. 1.2
  - organische Stoffe 231
  - Trinkwasserbelastung 255
- Rüstungsgüter 807 ff.
- Rüstungsindustrie 7
- Sachverständiger
  - s. Gutachter
- Sanierung 5, 446 ff.
  - s. a. Altlastensanierung
  - Ablaufschema Abb. 3.1
  - Änderung 470
  - Alternativen 476
  - Anlagen 468, 1007
  - Arbeitsgruppe 78
  - Auswirkung von Maßnahmen 350
  - Definition 446 ff., 450, 956
  - Entscheidungsvorbereitung 292 ff.
  - Erfolgskontrolle 414
  - Grenzen 447 ff.
  - Hautkontakt 278
  - kombinierte Verfahren (465)
  - Konzept „learning by doing“ 477
  - Kriterien 472
  - Leitung 475
  - Maßnahmen 455 ff., Tab. 4.1
  - Nachsorge Tab. 4.1
  - Planung 469 ff.
  - Prioritäten 400, 418
  - Prognose 498
  - Risiko 480, 559
  - Situationsbericht 72
  - städtebaulich 879 ff., 1009
  - Staubentwicklung 267
  - Systematik 455 ff.
  - Verfahren Tab. 4.1
  - Vorgaben 472 f.
  - Wirksamkeit 466
  - Zeitbedarf 473
  - Ziel 446 ff.
- Sanierungsanlagen
  - mobile 1007
- Sanierungsanordnung 866
- Sanierungsaufgaben 793
  - Rückwirkungsprinzip 791
- Sanierungsaufwand 972 ff.
  - Definition 972
  - Sanierungsplanung 469 ff., 972 f.
  - Verhältnismäßigkeit 973
- Sanierungsbeauftragter 105
- Sanierungsbedarf 689
  - Ausmaß 976
- Sanierungsbeirat 105
- Sanierungsentscheidung 637, 847
  - s. a. Prüfwerte
- Sanierungserfolg 472
  - Grundwassersanierung 619
- Sanierungsfälle
  - Umfang 688
- Sanierungsgemeinschaft 90, 105
- Sanierungsgrad 451, 637
- Sanierungskonzept 491 ff.
  - Definition 491
  - Kosten 669 ff.
- Sanierungskosten 618, 705, 971
  - Altablagerungen Tab. 5.3
  - Altstandorte Tab. 5.4
  - Gemeinlastprinzip 705 ff.

- Konkretisierung 666
- Parameter 666
- Schätzungen 692 ff.
- Sanierungskriterien 852
  - s. a. Niederländische Liste
- Sanierungsmaßnahmen 455 ff.
  - an Altablagerungen 871
  - Auswahl 642, 657, 961
  - Dekontamination 957
  - Durchführung 867
  - Kosten 676 f., 695 ff., Tab. 5.2
  - Kosten-Nutzen 657
  - ordnungsrechtliche 865
  - Planung 662
  - Sicherungsmaßnahmen 957
  - Träger 869
  - Umlagerung 958
  - Verfahren 647, 966
  - Verhältnismäßigkeit 1005 ff.
  - Wirksamkeit 676
  - Ziele 955 ff.
- Sanierungsnotwendigkeit 661, 953
- Sanierungsplanung 469 ff.
  - Kosten 662, 972 f.
- Sanierungstechnik 959 ff.
  - Anwendbarkeit 962
  - Auswahlkriterien 966
  - biotechnisch 968
  - Dekontamination 959
- Sanierungstechnologien
  - Anwendung 640
  - Auswirkungen 687
- Sanierungsüberwachung 621 ff.
  - Nachsorge 629 ff.
- Sanierungsuntersuchung 158, 474 ff.
- Sanierungsverfahren
  - s. a. in situ
  - s. a. off site
  - s. a. on site
  - Auswaschen 559
  - Kombination 495, 498, 543, 966
- Sanierungszentrum 85 ff., 551
- Sanierungsziel 446 ff., 955 f.
  - Gefährdungsausschluß 955
  - Machbarkeit 956
- Sauerstoff
  - Begasung 611
- Sauerstoffdonator 615
- Sauerstoffverdrängung 28
- Saugbrunnen 564
  - Abschätzung 563
- Säuren Tab. 2.1
- Schadensbegrenzung
  - Prioritäten 1017
- Schadensbilanz
  - Altlasten 652
- Schadenshaftung 35
- Schadensintensität
  - durch Altlasten 838
- Schadenskosten
  - bei Altlastensanierung 652
- Schädlingsbekämpfungsmittel 280 ff., Tab. 2.1, Tab. 2.13
- Schadstoff
  - s. organische Stoffe
  - s. anorganische Stoffe
  - s. Schwermetalle
- Abbaubarkeit 910
- Analytik Tab. 3.5
- Aufnahme 152, 283 ff.
  - s. a. Resorption
  - s. a. Schadstoffaufnahme
- Ausbreitung 350, 461, 495 ff.
- Austrag
  - s. a. Ausbreitungspfad
- Behandlung Abb. 4.2
- Beurteilungshilfe 121 ff.
- Bewertung 120 ff., 160
- Bewertungszahlen 404 ff.
- Bindungsformen Tab. 4.1
- branchentypisch 305, 362, 366
- Dosis-Wirkung 924
  - s. a. Gesundheitsbeeinträchtigung
- Eigenschaften 119 ff.
- Entfernung 467, 483 ff.
- Erfassung 308
- flüchtig 148, 268 ff.
- Freisetzung 46, 413, Tab. 3.14
  - s. a. Ausbreitungspfad
- gasförmig 513
- Gemisch 387
- Gruppen 47 ff., 568
- Höchstwert 154 ff.
- im Organismus 211
- im Trinkwasser Tab. 2.20
- Immobilisierung
  - s. Immobilisierung
- Inhalation 261 ff.
- Kombinationswirkung 279 ff.
- Leitparameter (117)
- Metabolit 425
- Metalle 217 ff.
- Nahrungskette 232 ff.
- orale Aufnahme 215 ff.
- organisch 224 ff.
- Orientierungswert 154 ff.
- persistent Tab. 2.8
- Prüfwert 154 ff., Tab. 2.11
- Referenzwert 154 ff., Tab. 2.14
- Resorption 205 ff.
- Restkonzentration 451 ff.
- staubgebunden 261 ff.
- Transferfaktor 234 ff.
- Transport Tab. 2.3
  - s. a. Ausbreitungspfad
  - s. a. Migration
- Umwandlung 467
- Verbleib 486, 492
- Verhalten 130 ff., Tab. 2.3
- Volumen 44
- Wasserlöslichkeit 250
- Zerstörung 566 ff.
- Schadstoffabtrennung
  - mechanisch 584
- Schadstoffanreicherung
  - in Böden 894
- Schadstoffaufnahme 924
  - s. a. Resorption

- bei Kindern 215 ff., 287, Tab. 2.21  
dermal 923, 931  
inhalativ 923, 931
- Schadstoffaustrag 583  
s. a. Ausbreitungspfad
- Schadstoffbehandlung 572
- Schadstoffbelastung  
s. Belastung
- Schadstoffeinsickerung 1019
- Schadstoffeinwirkung 843  
s. a. Schadstoffkonzentration
- Schadstoffentfrachtung  
vor Ablagerung 1021
- Schadstoffkonzentration  
Beurteilung 154 ff., Tab. 2.5
- Schadstoffmenge 45, 924
- Schadstoffmineralisierung 1021
- Schadstoffrelevanz  
Auswahlkriterien 910
- Schadstofftransportvorgänge 583
- Schadstoffverdünnung 582
- Schadstoffverlagerung 616
- Schadstoffwirkung 925  
s. a. Kombinationswirkung
- Schadwirkung 23 ff.  
s. a. Kombinationswirkung  
auf Pflanzen 504  
auf Sachgüter 31  
Beherrschung 455, Tab. 4.1  
für den Boden 27 ff.  
für die Landschaft 30  
für Pflanzen 28  
irreversible 448  
Tiere 29  
Untersuchung 329  
Wasser 26
- Schlacke Tab. 1.5
- Schlamm (527), Tab. 1.5  
aus Dekontamination 543  
Immobilisierung Tab. 4.3
- Schlammung 344
- Schlitzwand 514
- Schmieröl Tab. 2.1
- Schnelltestverfahren 356  
Gase 373
- Schrottplatz  
Altstandort Tab. 2.1
- Schürfe 341, 365  
Einsatzbereich Tab. 3.3  
Vorschriften 546
- Schutzgüter 138 ff., 796, 838, 866, 871, 915, 991,  
Tab. 2.1, Tab. 2.2  
s. a. Boden  
s. a. Grundwasser  
Bewertung 681  
Definition 912  
Gefährdung Tab. 2.4  
Stellenwert 427
- Schutzgutdenken 150
- Schutzmaßnahmen (305), 403, 455 ff., 544, Tab. 4.1  
Dauer 504  
Definition 460
- Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen 867
- Schutzvorschriften 1006
- Schwarze Liste 171
- Schwefel  
Bioindikatoren Tab. 3.9  
-haltige Verbindungen 270  
Referenzwert Tab. 2.5
- Schwefelwasserstoff 493, 562
- Schwellenwert 154 f., 280, 454  
s. a. Prüfwert  
Arsen und Schwermetalle 219 ff.  
physiologischer 282  
Schwermetalle Tab. 2.17  
vorläufiger 219 ff.
- Schwermetalle 568, Tab. 2.1  
ADI-Werte Tab. 2.12  
Analytik Tab. 3.5, Tab. 3.7  
Aufnahme durch Kinder Tab. 2.17, Tab. 2.21  
Aufnahme in Pflanzen 234 ff.  
Bioindikatoren Tab. 3.9  
Endlagerung 541  
im Fleisch 241 ff.  
im Trinkwasser 256  
Immobilisierung Tab. 4.3  
in Nutzpflanzen 233 ff.  
in Pflanzen 391  
in Wohngebieten Tab. 2.18  
in/auf Lebensmitteln Tab. 2.19  
Orientierungswert Tab. 2.15  
persistent Tab. 2.8  
Resorption 218 ff.  
Schwellenwert Tab. 2.17  
staubgebunden 261 ff.  
Transferfaktor 234 ff.
- Screening 435, Tab. 3.15  
Bioindikatoren Tab. 3.9  
Wasseruntersuchung 361, Tab. 3.5
- Sediment  
Analytik 363
- See  
s. Gewässer, stehend
- Seismik 336  
Anwendungsbereich Tab. 3.2  
Schock-Verfahren 560, Abb. 4.9
- Sekundärbelastung 473
- sekundäre Kontamination 541 ff., (552)  
s. a. Sekundärschaden
- Sekundärschaden 502, 537, 541
- Selbstreinigungskräfte 8 ff.
- Selen Tab. 2.1
- Separation von Schadstoffen 542
- Setzung (Bauwerke) 560, 565
- Sicherheit von Bauwerken (23)
- Sicherheitsanforderungen Tab. 4.4
- Sicherheitsfond  
bei Betriebsaufgabe 1031
- Sicherung kollektiver Rechtsgüter 835
- Sicherungsmaßnahme 495 ff., 638, 640, 865,  
963, Tab. 4.1  
Anforderungen 458 ff.  
Definition 457 ff.  
Immobilisierung 644  
Kostenarten 671, 673

- Kriterien 481  
 Reparatur 459, 462, 506, 513, 523, 532  
 Überwachung 969  
 Verfahren 461 ff.  
 zeitlicher Verlauf 461
- Sickeröl 460, (497)  
 Auffangen 500  
 thermische Behandlung 567
- Sickerverhalten 132
- Sickerwasser (15), (493), (497), 508  
 Analytik 363  
 Anforderungen 173  
 Ausbreitung 513  
 Beurteilung 172 ff.  
 Bewertung 414  
 Erfassung Abb. 4.7  
 im Grundwasser 145  
 Immobilisierung 526 ff.  
 Neubildung 547  
 Permeation 515
- Sickerwasserbehandlung  
 Kosten 668
- Sickerwasserreinigung Tab. 1.1
- Siebung 344
- Siedlungsabfall Tab. 1.5
- Simulation 533
- Simulationsmodelle 911  
 Stofftransport 133 f.
- Sonderabfall 527, (543), 567  
 Entsorgung (466)
- Sonderabfallanlagen 716 ff.  
 Lizenzentgelt 716  
 Lizenzpflicht 716
- Sonderabfallentsorgung  
 Gesetzgebung 722 f.
- Sonderabfallproduzent 775 ff.
- Sonderabfallverbrennung 573
- Sonderabgabe  
 Definition 731  
 Zweckgebundenheit 784
- Sondierbohrung 341, 365, 373  
 Einsatzbereich Tab. 3.3
- Sondierung  
 Einsatzbereich Tab. 3.3
- Sorptionsfähigkeit des Bodens 147
- soziale Auswirkung 38
- Sozialverträglichkeit 88  
 s. a. Akzeptanz
- Speiseöl Tab. 2.1
- Sprechstunde 102
- Sprengstoff  
 s. Explosivstoffe
- Spülbohrung 337, 341  
 Einsatzbereich Tab. 3.3
- Spülkreislauf 485, Abb. 4.1
- Spurenelemente (Tab. 3.5)  
 persistent Tab. 2.8
- Spurenstoffe  
 in Bodenluft 373
- Stabilisierung  
 s. Immobilisierung
- Stadtentwicklung 19  
 s. a. Bebauungsplan
- Stahlerzeugung  
 Altstandort Tab. 2.1
- Standard  
 rechtliche Funktion 156
- Standardisierung  
 Bewertungsverfahren Tab. 3.10
- Standort  
 Akzeptanz 85
- Standorttyp Tab. 2.1
- Staub (291), (527), 545  
 belasteter 243  
 Belastung beim Sport 266  
 Beurteilung 262 ff.  
 Bioindikatoren Tab. 3.9  
 Inhalation 261 ff.  
 Schwebstaub 264  
 Zündgrenze 192
- Staubverwehung 15, 508
- Stauwasser 347, 363, 508, 553  
 hydraulische Maßnahme 496 ff.  
 im Abfallkörper 340
- Steinkohlebergbau  
 Altstandort Tab. 2.1
- stereoskopische Auswertung 309
- Steuerharmonisierung der EG 746 ff.
- Steuerpolitik  
 Bundesrepublik 752 ff.  
 EG-weit 750
- Stilllegungsmaßnahmen 1024
- Stoffgemisch 555  
 Kombinationswirkung 282
- Stoffgruppen  
 toxikologische Bewertung 285
- Stoffkonzentration 849  
 s. a. Referenzwerte
- Stoffliste 171, 362 ff., 409  
 s. a. Substanzliste  
 Bodengefährdung Tab. 2.7
- Stoffspektrum  
 Altstandort 118
- Stoffstrom 492  
 bei Dekontamination 486
- Stofftransport  
 Simulationsmodelle 133 f., 911  
 Untergrundbeschaffenheit 615
- Stoffwechsel  
 im Grundwasser 145
- Störerhaftung 837, 998
- Störfall-Verordnung 1032
- Strippeffekt 616
- Stripping (542), 553, 560 f., 565, Abb. 4.9
- Struktogramm 292 ff.
- Styrol  
 Referenzwert Tab. 2.5
- Subsidiaritätsprinzip 785
- Substanzliste 161, 171  
 s. a. Stoffliste
- Sulfat  
 Referenzwert Tab. 2.5

- Summengrenzwert  
   Trinkwasser 257 ff.
- Summenparameter 354
- Synergismus  
   s. Kombinationswirkung
- TA Luft 188 ff.
- TA Abfall 1020
- tägliche Aufnahme  
   s. a. ADI-Wert  
   durch Wasser Tab. 2.20
- tägliche Dosis  
   s. a. ADI-Wert  
   durch Nahrung 240
- Tankstelle 66  
   Altstandort Tab. 2.1
- TCDD Tab. 2.1  
   s. a. Dioxine  
   Empfehlungen 248  
   Halbwertszeit 229
- TCDD-Äquivalente 227 ff., Tab. 2.12
- Technikfeindlichkeit 82
- Technologieentwicklung  
   Finanzierung 763
- Technologieregister Altlastensanierung 663
- Teeröl Tab. 2.1
- Testbenzin Tab. 2.1
- Testtabelle (Referenzwerte) 158, Tab. 2.5
- Testverfahren Tab. 3.9  
   biologische 387 ff.
- Tetrachlorethen  
   Höchstmengen 247
- Tetrachlorkohlenstoff 281
- Tetrachlormethan Tab. 2.1
- Tetraethylblei Tab. 2.1
- Tetrahydrofuran  
   Referenzwert Tab. 2.5
- Tetrahydrothiophen  
   Referenzwert Tab. 2.5
- Textilindustrie  
   Altstandort Tab. 2.1, Tab. 2.4
- Thallium Tab. 2.1
- thermische Verfahren 467, 542  
   s. a. Dekontamination  
   s. a. Dekontaminationsverfahren  
   Beispiel 494  
   Eignung 568 ff.  
   Grundlagen 566  
   Prozessschritte 568, Abb. 4.12  
   Verglasung Tab. 4.2  
   Verziegelung Tab. 4.2
- Thiocyanate Tab. 2.1
- Tiere 288  
   s. a. Bioakkumulation  
   s. a. Nahrungskette  
   s. a. Persistenz  
   als Bioindikatoren Tab. 3.9  
   Dioxinakkumulation 248  
   Schadwirkungen 29
- Tierkörperverwertung  
   Altstandort Tab. 2.1
- Tierversuchsdaten 258 ff.
- TNT  
   s. Trinitrotoluol
- Toluol Tab. 2.1  
   Referenzwert Tab. 2.5
- Tongehalt 178, 368, Tab. 3.7
- Toxikologie  
   Schwierigkeiten 120
- Toxikologische Bewertung 925
- Toxizität 354, (544), 567  
   Abschätzung 283 ff.  
   anorganische Schadstoffe Tab. 2.11  
   bei Aushub 545  
   Beurteilung 171  
   Bewertung 203 ff., 395 ff.  
   Bioindikatoren Tab. 3.9  
   Deponiegas 504  
   durch Kombinationswirkung 281  
   Gips und Hausmüll 270, 493  
   Grundwasser 406  
   Punktebewertung Tab. 3.14  
   quantitative Beurteilung 285  
   standardisierte Bewertung Tab. 3.11  
   Staub 263  
   Stoffauswahl 366  
   Stoffgemisch 387  
   Testverfahren 388  
   Verringerung 526 ff.  
   von Aushub 549
- Trägerfunktion der Umwelt 12 ff.
- Transferfaktor (Resorption) 234 ff., 248
- Transport 475, 544  
   Gefahren 545, Tab. 4.4  
   Planung 549  
   Staubentwicklung 267
- Transportunfall 59
- Trichlorethan Tab. 2.1
- Trichlorethen 259, Tab. 2.1
- Trichlormethan Tab. 2.1
- Trimethyltrinitroamin Tab. 2.1
- Trinitrotoluol Tab. 2.1
- Trinkwasser 290  
   anorganische Stoffe 256 ff.  
   Aufbereitung 253  
   Belastung durch 250 ff.  
   Beschränkungsmaßnahmen 460  
   Bewertung Tab. 3.14  
   Höchstwerte 255 ff., Tab. 2.13  
   Nitrat 256  
   Nitrit 256  
   organische Stoffe 257 ff.  
   Parameter 167  
   Richtlinien 167  
   Schäden 26  
   Schutz durch Auskoffern 464  
   Schutzgebiet 501, Tab. 3.12
- Trinkwassergewinnung  
   Beurteilung Tab. 2.5

- Trockenbohrung 341, 365  
Einsatzbereich Tab. 3.3
- Trockenlegung 501
- Überschwemmungsmaterial 41
- Überwachung  
Altlastensanierung 621 ff.
- Überwachungsbehörde 622
- Überwachungsmaßnahmen  
Übersicht Abb. 4.17
- Umlagerung (542), 639, 958, Tab. 4.1  
Problemverlagerung 464
- Umwelt  
Definition 12  
Hauptfunktionen 12
- Umweltbewußtsein 9, 992  
s. a. Akzeptanz  
Entwicklung 891
- Umweltgefährdungen 14 ff., 49 ff.  
akute und latente 897
- Umwelthaftungsrecht 1036
- Umweltinformationssystem 319  
s. a. Information
- Umweltpolitik  
EG-Leitlinien 745  
EG-Normen 745  
Zielsetzung 1012
- Umweltschaden  
s. Schadwirkung  
Aufdeckung 9
- Umweltschutz  
Beihilfen 744  
EG-Beihilfen 744 ff.  
integrale Betrachtungsweise 896  
präventiv 797
- Umweltverträglichkeit 590, 594
- Umweltverträglichkeitsprüfung  
s. UVP
- Untergrund  
s. Boden
- Untergrundabdichtung  
s. Basisabdichtung
- Untergrundaufbau  
Untersuchung 340 ff., Tab. 3.3
- Untergrundbedingungen  
Stofftransport 615
- Untergrundbeschaffenheit 618  
Stofftransport 615
- Untersuchung  
Anforderung 376  
Aufwand 435  
biologische 387 ff.  
Bodenluft 372 ff.  
Feststoffe 364 ff.  
Gas 372 ff.  
hierarchische 429 ff., 441  
Konzeptbeispiele 432 ff.  
Mindestprogramm 442  
Pflanzen 407
- Prioritäten 400  
Prioritätensetzung 412 ff.  
Verfahren 328 ff.  
von Anwohnern 393  
von Verdachtsflächen 327 ff.
- Untersuchungsbefunde  
Dokumentation 946  
Verlässlichkeit 946
- Untersuchungskosten 661
- Untersuchungsmaßnahmen 860 ff.
- Untersuchungsstellen  
Qualifikation 379
- Untersuchungsstrategie 941 ff.  
Aufwand 943 ff.
- Urin  
Orientierungswert Tab. 2.15
- Urinprobe (209)
- UVP  
bei Sanierungsmaßnahmen 871
- Vanadium Tab. 2.1
- Verantwortlichkeit (298)  
Altablagerung 816
- Verbrennung 566  
s. a. thermische Verfahren
- Verbrennungsanlagen 870  
mobile 874
- Verbrennungstemperatur 569 ff.  
s. a. Dekontaminationsmaßnahmen
- Verdachtsfläche 20, 66  
s. a. altlastverdächtige Fläche
- Erfassung 935, 970  
Erstbewertung 313, 942  
Grundstück 971  
Klassifizierung 39 ff.  
Prioritätensetzung Tab. 3.13  
Ursachen 40 ff.  
Wertminderung 971
- Verdachtsflächenerfassung  
Systematik 932 ff.
- Verdichtung Tab. 4.2
- Verdünnungsfaktor  
Luft 273
- Verdunstungsverhalten 132
- Verfahrensablauf  
Bodenbehandlung 588
- Verfahrensauswahl 585
- Verfahrensbewertung  
mikrobiologisch 612 ff.
- Verfahrenskombination 620  
mikrobiologisch 613
- Verfahrensoptimierung 601, 609
- Verfahrensparameter  
Biotechnologie 601 f.
- Verfahrenstechnik  
Kompostierung 611  
Parameter 574
- Verfahrensvorschriften 1006
- Verfestigung Tab. 1.1, Tab. 4.2

- Vergasung 566  
Vergasungsanlage  
  mobil 577  
Vergiftung  
  durch Insektizide 280  
Verglasung 530, Tab. 4.2, Tab. 4.3  
Vergleichsmessung  
  Luft 187  
Verkehrsfläche (153), 505  
Verkehrswege  
  Schäden 31  
Vermeidungskosten 702 ff.  
Vermutungen  
  Bewertung 412 ff., Tab. 3.13  
Verockerung 565  
Verordnung  
  s. Richtlinien  
Verschuldung 71  
Versorgungsleitung  
  Schäden 31, 889, 1016 ff.  
Verständnis  
  s. Akzeptanz  
Versuchsanlagen  
  Genehmigungsverfahren 878, 1008  
Verteuerung  
  der Entsorgung 712  
vertrauensbildende Maßnahmen 102 ff.  
  s. a. Akzeptanz  
Verunreinigung  
  s. a. Schadstoff  
  Analyseverfahren 353 ff.  
  Definition 59, 194  
  Erkennung 361  
Verursacher  
  Altlast 753 ff.  
  Feststellung 997  
  Handlungshaftung 817 ff.  
  zahlungsunfähig 71  
Verursacherhaftung 703 f.  
  s. a. Haftung  
  Verantwortlichkeit 704 ff.  
Verursacherorientierung (714)  
  Lizenz-Modell 716 ff.  
Verursacherprinzip 35, 709, 742, (753), 761, 763,  
  817, 1025  
  föderalistisch 705, 774  
  nicht anwendbar 990 ff.  
  Vergangenheitsbezug 703  
  Zukunftsbezug 709 ff.  
Verwaltungsvorschrift 855  
  Erlaß 1003  
  Verbindlichkeit 1003  
  Wasserrecht 790 ff.  
Verwehung (365)  
  s. a. Staub  
Verweilzeit 569, 571  
  s. a. Dekontamination, thermisch  
Verwertung  
  juristischer Aspekt 873  
Verziegelung Tab. 4.2  
Verzögerung 107  
  s. a. Widerstand  
Vinylchlorid Tab. 2.1  
  s. a. Chlorethen  
vorbeugender Umweltschutz (33), 1010 ff.  
Vorschrift 621 f.  
Vorsorge  
  juristische Tragweite 998 f.  
Vorsorgemaßnahmen 834  
  s. a. Gefahrenabwehr  
Vorsorgeprinzip 833 ff.  
  
Waschanlagen 870  
  mobile 874  
Waschmittel (176)  
Waschverfahren  
  Schema Abb. 4.14  
  Überblick Tab. 4.7  
Wasser  
  s. a. Gewässer  
  s. a. Grundwasser  
  s. a. Trinkwasser  
  Analytik 378  
  Ausbreitungsmedium 125 ff.  
  Bioindikatoren Tab. 3.9  
  Gefährdungsklasse 171  
  Güteklasse II Tab. 2.6  
  Infiltration 501  
  Nutzungsrichtlinien 168  
  Transportmedium 495  
  Untersuchung 359 ff.  
Wassergefährdungsklasse 171  
Wasserhaushaltsgesetz 790 ff., 792, 800 ff., 814,  
  998, 1019  
Wasserlöslichkeit von Schadstoffen 250, 619  
Wasserpfad 125, 345 ff.  
  s. a. Ausbreitungspfad  
  s. a. Belastungspfad  
  Regeluntersuchung 437  
  Strömungsmodell 350  
Wasserprobe 165  
Wasserrecht 790, 1026  
  s. a. Wasserhaushaltsgesetz  
  Regelung durch Abfallgesetz 791  
Wertedifferenzierung  
  bundeseinheitlich 922  
Widerstand der Bevölkerung 90, 94 ff., 105  
Wiederholungsemissionen 1016  
wilde Ablagerung 5, 58  
Willensbildung  
  politische 900  
Wirkungsgrad 575  
Wirkungsverstärkung  
  s. a. Kombinationswirkung  
Wohngebiet  
  Beurteilung 289, Tab. 2.5  
  Dauerexposition 274  
  Schwellenwert Tab. 2.17  
  Schwermetalle Tab. 2.18  
  TCDD-Prüfwert 230  
Wuchsschäden 28



Xylole Tab. 2.1	Zusatzbelastung
Referenzwert Tab. 2.5	orale Bodenaufnahme 229
	Zustandsstörer 832
Zahlenwerte	Zwecksteuer 729 ff., 733 ff., 987
Beurteilungskriterien 154 ff.	auf chemische Grundstoffe 729 ff.
Zeitbedarf einer Sanierung 473, 487	Definition 733
Zeitgewinn	Effizienz 729 ff.
durch Einkapselung 505 ff.	Finanzierungsrahmen 733
Zerstörung	Finanzierungszweck 730, 733, 736 f.
mutwillige 460	für Produkte 749
Zink 568, Tab. 2.1	juristischer Aspekt 730 ff.
Referenzwert Tab. 2.5	Vermeidungswirkung 734
Zinn	Zweckverband 748
Referenzwert Tab. 2.5	s. a. Lizenzmodell
Zündgrenze 192	Zweiter Weltkrieg
Zusammenarbeit	ökologisches Erbe 810, 812
interdisziplinär 896	Zwischenlagerung 494, (544), 549 ff., 567

## Verzeichnis der Abkürzungen

AAbfG Hmb.	– Hamburgisches Ausführungsgesetz zum Abfall(beseitigungs)gesetz	BTX-Aromaten	– Benzol, Toluol, Xylol (aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen)
AbfG	– (Bundes-)Abfallgesetz (vormals: Abfallbeseitigungsgesetz)	BUA	– Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe der Gesellschaft Deutscher Chemiker
Abs.	– Absatz	BVerfGE	– (Amtliche Sammlung der) Entscheidungen des Bundesverfassungsgerichtes
ACHEMA	– Ausstellung für chemisches Apparatewesen	BVerwG	– Bundesverwaltungsgericht
ADI	– Acceptable Daily Intake, s. a. DTA	BVerwGE	– (Amtliche Sammlung der) Entscheidungen des Bundesverwaltungsgerichtes
AG	– Ausführungsgesetz	BW	– Baden-Württemberg
AGAPE	– Abschätzung des Gefährdungspotentials von altlastverdächtigen Flächen zur Prioritätenermittlung	CERCLA	– Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act
Anm.	– Anmerkung	CKW	– Chlorkohlenwasserstoffe
AOX	– Adsorbierbare organische Halogenverbindungen	CSB	– Chemischer Sauerstoffbedarf
ARSU	– Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH, Oldenburg	DDT	– 1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4-chlorphenyl)ethan
Art.	– Artikel (auch im Plural)	DECHEMA	– Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen
ATV	– Abwassertechnische Vereinigung	DEV	– Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung
BAT	– Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte	DFG	– Deutsche Forschungsgemeinschaft
BauGB	– Baugesetzbuch	DIFU	– Deutsches Institut für Urbanistik
BBergG	– Bundesberggesetz	DIHT	– Deutscher Industrie- und Handeltag
BDI	– Bundesverband der Deutschen Industrie	DIN	– Deutsche Industrienorm; Deutsches Institut für Normung
BG	– Berufsgenossenschaft(en)	DÖV	– Die Öffentliche Verwaltung (Zeitschrift)
BGA	– Bundesgesundheitsamt	DTA	– Duldbare tägliche Aufnahmemenge, s. a. ADI
BGH	– Bundesgerichtshof	DVBl.	– Deutsches Verwaltungsblatt (Zeitschrift)
BGHZ	– Entscheidungen des Bundesgerichtshofs in Zivilsachen	DVGW	– Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
BImSchG	– Bundes-Immissionsschutzgesetz	DVWK	– Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau
BImSchV	– Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes	EDV	– Elektronische Datenverarbeitung
BMBau	– Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau	EG	– Europäische Gemeinschaft(en)
BMFT	– Bundesminister für Forschung und Technologie		
BMU	– Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit		
BR-Drucksache	– Bundesrats-Drucksache		
BremAG-AbfG	– Bremisches Ausführungsgesetz zum Abfall(beseitigungs)gesetz		
BSB <sub>5</sub>	– Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen		
BT-Drucksache	– Bundestags-Drucksache		

EPA	– Environmental Protection Agency (US-Umweltschutzbehörde)	kg	– Kilogramm (10 <sup>3</sup> g)
EuGH	– Gerichtshof der Europäischen Gemeinschaften	km	– Kilometer (10 <sup>3</sup> m)
EWG	– Europäische Wirtschaftsgemeinschaft (heute: EG)	l	– Liter
EWGV	– Vertrag zur Gründung der EWG	LABfG NW	– Abfallgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen
		LAGA	– Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
FHH	– Freie und Hansestadt Hamburg	LAWA	– Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
FKZ	– Förder(ungs)kennzeichen	LD <sub>50</sub>	– Letale Dosis, die bei 50 % der Versuchstiere zum Tode führt
		lit.	– littera (Buchstabe)
		LÖLF	– Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen
g	– Gramm	LWA	– Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen
GAB	– Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern		
GABL.	– Gemeinsames Amtsblatt des Landes Baden-Württemberg	m	– Meter
GBS	– Gesellschaft zur Beseitigung von Sonderabfällen in Rheinland-Pfalz	MAK	– Maximale Arbeitsplatzkonzentration
GC	– Gaschromatographie	MBL	– Ministerialblatt
GemRdErl.	– Gemeinsamer Runderlaß	MELF	– (Landes-)Minister(ium) für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
GewO	– Gewerbeordnung	MELUF	– (Landes-)Minister(ium) für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten
GG	– Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland	MEPolG	– Musterentwurf eines einheitlichen Polizeigesetzes
GMBL.	– Gemeinsames Ministerialblatt	mg	– Milligramm (10 <sup>-3</sup> g)
GVBl.	– Gesetz- und Verordnungsblatt	MIK	– Maximale Immissionskonzentration
		Mio	– Million
h	– Stunde	mm	– Millimeter (10 <sup>-3</sup> m)
HCH	– Hexachlorcyclohexan-Isomere	Mrd	– Milliarde
HDPE	– Polyethylen hoher Dichte	MS	– Massenspektrometrie
HE	– Hessen	MURL	– (Landes-)Minister(ium) für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft
HLfU	– Hessische Landesanstalt für Umwelt	MWV	– Mineralölwirtschaftsverband
Hmb.	– Hamburg		
HRS	– Hazard Ranking System		
		Nds	– Niedersachsen
ISO	– International Organization for Standardization	ng	– Nanogramm (10 <sup>-9</sup> g)
IWS	– Institut für wassergefährdende Stoffe e. V. an der Technischen Universität Berlin	NJW	– Neue Juristische Wochenschrift (Zeitschrift)
		NL	– Niederlande
		NLfB	– Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
JAPCA	– The Journal of the Air and Waste Management Association (Zeitschrift)	NLW	– Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft
		NPL	– National Priorities List
		NVwZ	– Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht
KABV	– Kommunalen Abfallbeseitigungsverband Saar	NW	– Nordrhein-Westfalen
		NWP	– Nord-West-Plan GmbH, Oldenburg

OVG	– Oberverwaltungsgericht	TRgA	– Technische Regeln für gefährliche Arbeitsstoffe
OVGE	– (Amtliche Sammlung der) Entscheidungen der Oberverwaltungsgerichte Lüneburg und Münster	TRGS	– Technische Regeln für Gefahrstoffe
		TU	– Technische Universität
		TÜV	– Technischer Überwachungsverein
		Tz.	– Textziffer
PAH=PAK	– Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	UBA	– Umweltbundesamt
PCB	– Polychlorierte Biphenyle	µg	– Mikrogramm (10 <sup>-6</sup> g)
PCDD	– Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine	µm	– Mikrometer (10 <sup>-6</sup> m)
PCDF	– Polychlorierte Dibenzofurane	UM	– (Landes-)Minister(ium) für Umwelt
PCN	– Polychlorierte Naphthaline	UMK	– Umweltministerkonferenz
pg	– Pikogramm (10 <sup>-12</sup> g)	UPR	– Umwelt- und Planungsrecht (Zeitschrift)
pH-Wert	– Maß für Säuregrad	UVP	– Umweltverträglichkeitsprüfung
PTWI	– Provisional Tolerable Weekly Intake (vorläufig duldbare wöchentliche Aufnahmemenge)	UWD	– Umweltschutz-Dienst (Zeitschrift)
PVC	– Polyvinylchlorid		
		VAB	– Vermittlungsstelle der Wirtschaft für Altlastensanierungs-Beratung
Rh.Pf.	– Rheinland-Pfalz	VCI	– Verband der Chemischen Industrie
Rn.	– Randnummer	VDI	– Verein Deutscher Ingenieure
Rs.	– Rechtssache	VersR	– Versicherungsrecht (Zeitschrift)
		VG	– Verwaltungsgericht
SARA	– Superfund Amendments and Reauthorization Act	VGH	– Verwaltungsgerichtshof
SH	– Schleswig-Holstein	VROM	– Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (Niederländisches Ministerium für Volksgesundheit, Raumordnung und Umweltschutz)
Slg.	– Sammlung der Rechtsprechung des Gerichtshofes der EG		
SMBL. NW	– Sammlung des Bereinigten Ministerialblattes für das Land Nordrhein-Westfalen	WHG	– Wasserhaushaltsgesetz
Sp.	– Spalte	WHO	– World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
SRU	– Rat von Sachverständigen für Umweltfragen		
		XSAL	– Expertensystem für Altlasten
t	– Tonne (10 <sup>6</sup> g)	XUMA	– Expertensystem „Umweltgefährlichkeit von Altlasten“
TA Luft	– Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft		
TCDD	– 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin	ZfBR	– Zeitschrift für deutsches und internationales Baurecht
TERESA	– Technologieregister Altlastensanierung	ZfW	– Zeitschrift für Wasserrecht
TGU	– Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH, Kolenz	Ziff.	– Ziffer
TNO	– Niederländische Organisation für angewandte naturwissenschaftliche Forschung		
TNT	– 2,4,6-Trinitrotoluol		

## Gutachten und veröffentlichte Stellungnahmen des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen

### Auto und Umwelt

Gutachten September 1973  
Stuttgart, Mainz: W. Kohlhammer  
1973, 104 S., kart.  
vergriffen

### Die Abwasserabgabe

Wassergütwirtschaftliche und gesamtökonomische Wirkungen  
2. Sondergutachten Februar 1974  
Stuttgart, Mainz: W. Kohlhammer  
1974, VI, 90 S., kart.  
vergriffen

### Umweltgutachten 1974

Stuttgart, Mainz: W. Kohlhammer<sup>1)</sup>  
1974, XV, 320 S., Plast.  
Best.-Nr. 7800201-74902; DM 28,—  
vergriffen

auch als Bundestags-Drucksache  
7/2802 veröffentlicht<sup>2)</sup>

### Umweltprobleme des Rheins

3. Sondergutachten März 1976  
Stuttgart, Mainz: W. Kohlhammer<sup>1)</sup>  
1976, 258 S., 9 farb. Ktn., Plast.  
Best.-Nr. 7800103-76901; DM 20,—

auch als Bundestags-Drucksache  
7/5014 veröffentlicht<sup>2)</sup>

### Umweltgutachten 1978

Stuttgart, Mainz: W. Kohlhammer<sup>1)</sup>  
1978, 638 S., Plast.  
ISBN 3-17-003173-2  
Best.-Nr. 7800202-78904; DM 33,—  
vergriffen

auch als Bundestags-Drucksache  
8/1938 veröffentlicht<sup>2)</sup>

### Umweltchemikalien

Entwurf eines Gesetzes zum Schutz vor gefährlichen Stoffen  
Stellungnahme des Rates  
hrsg. vom Bundesministerium des Innern<sup>3)</sup>  
Bonn 1979, 74 S.  
= Umweltbrief Nr. 19  
ISSN 0343-1312

### Umweltprobleme der Nordsee

Sondergutachten Juni 1980  
Stuttgart, Mainz: W. Kohlhammer<sup>1)</sup>  
508 S., 3farb. Karten, Plast.  
ISBN 3-17-003214-3  
Best.-Nr. 7800104-80902; DM 23,—  
vergriffen

auch als Bundestags-Drucksache  
9/692 veröffentlicht<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Zu beziehen im Buchhandel oder vom Verlag Metzler-Poeschel, Verlagsauslieferung H. Leins GmbH & Co. Verlags-KG, Holzwiesenstr. 2, Postfach 7, 7408 Kusterdingen

<sup>2)</sup> Zu beziehen vom Verlag Dr. H. Heger, Postfach 20 13 63, 5300 Bonn-Bad Godesberg 1

<sup>3)</sup> Erhältlich beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Postfach 12 06 29, 5300 Bonn

**Energie und Umwelt**

Sondergutachten März 1981  
Stuttgart, Mainz: W. Kohlhammer<sup>1)</sup>  
190 S., Plast.  
ISBN 3-17-003238-0  
Best.-Nr. 7800105-81901; DM 19,—

auch als Bundestags-Drucksache  
9/872 veröffentlicht<sup>2)</sup>

**Flüssiggas als Kraftstoff**

Umweltentlastung, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit  
von flüssiggasgetriebenen Kraftfahrzeugen  
Stellungnahme des Rates  
hrsg. vom Bundesministerium des Innern<sup>3)</sup>  
Bonn 1982, 32 S.  
= Umweltbrief Nr. 25  
ISSN 0343-1312

**Waldschäden und Luftverunreinigungen**

Sondergutachten März 1983  
Stuttgart, Mainz: W. Kohlhammer<sup>1)</sup>  
172 S., Plast.  
ISBN 3-17-003265-8  
Best.-Nr. 7800106-83902; DM 21,—

auch als Bundestags-Drucksache  
10/113 veröffentlicht<sup>2)</sup>

**Umweltprobleme der Landwirtschaft**

Sondergutachten März 1985  
Stuttgart, Mainz: W. Kohlhammer<sup>1)</sup>  
423 S., Plast.  
ISBN 3-17-003285-2  
Best.-Nr. 7800107-85901; DM 31,—  
vergriffen

auch als Bundestags-Drucksache  
10/3613 veröffentlicht<sup>2)</sup>

**Luftverunreinigungen in Innenräumen**

Sondergutachten Juni 1987  
Stuttgart, Mainz: W. Kohlhammer<sup>1)</sup>  
110 S., Plast.  
ISBN 3-17-003361-1  
Best.-Nr. 7800108-87901; DM 22,—

auch als Bundestags-Drucksache  
11/613 veröffentlicht<sup>2)</sup>

**Zur Umsetzung der EG-Richtlinie**

über die Umweltverträglichkeitsprüfung in das nationale Recht  
Stellungnahme des Rates  
hrsg. vom Bundesminister für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit<sup>3)</sup>  
Bonn 1987, 15 S.

**Umweltgutachten 1987**

Stuttgart, Mainz: W. Kohlhammer<sup>1)</sup>  
1987, 674 S., Plast.  
ISBN 3-17-003364-6  
Best.-Nr. 78000203-87902; DM 45,—

auch als Bundestags-Drucksache  
11/1568 veröffentlicht<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Zu beziehen im Buchhandel oder vom Verlag Metzler-Poeschel, Verlagsauslieferung H. Leins GmbH & Co. Verlags-KG, Holzwiesenstr. 2, Postfach 7, 7408 Kusterdingen

<sup>2)</sup> Zu beziehen vom Verlag Dr. H. Heger, Postfach 20 13 63, 5300 Bonn-Bad Godesberg 1

<sup>3)</sup> Erhältlich beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Postfach 12 06 29, 5300 Bonn

## Materialien zur Umweltforschung

herausgegeben vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, zu beziehen im Buchhandel oder vom Verlag Metzler-Poeschel, Verlagsauslieferung H. Leins GmbH & Co. Verlags-KG, Holzwiesenstr. 2, Postfach 7, 7408 Kusterdingen

### Nr. 1:

Prof. Dr. Günther Steffen und Dr. Ernst Berg  
Einfluß von Begrenzungen beim Einsatz von Umwelt-  
chemikalien auf den Gewinn landwirtschaftlicher Un-  
ternehmen  
1977, 93 S., kart., ISBN 3-17-003141-4  
Best.-Nr. 7800301-77901; DM 20,—

### Nr. 2:

Dipl.-Ing. Klaus Welzel und Dr.-Ing. Peter Davids  
Die Kohlenmonoxidemissionen in der Bundesrepublik  
Deutschland in den Jahren 1965, 1970, 1973 und 1974  
und im Lande Nordrhein-Westfalen in den Jahren  
1973 und 1974  
1978, 322 S., kart., ISBN 3-17-003142-2  
Best.-Nr. 7800302-78901; DM 25,—

### Nr. 3:

Dipl.-Ing. Horst Schade und Ing. (grad.) Horst Gliwa  
Die Feststoffemissionen in der Bundesrepublik  
Deutschland und im Lande Nordrhein-Westfalen in  
den Jahren 1965, 1970, 1973 und 1974  
1978, 374 S., kart., ISBN 3-17-003143-0  
Best.-Nr. 7800303-78902; DM 25,—

### Nr. 4:

Prof. Dr. Renate Mayntz u. a.  
Vollzugsprobleme der Umweltpolitik  
Empirische Untersuchung der Implementation von  
Gesetzen im Bereich der Luftreinhaltung und des Ge-  
wässerschutzes  
1978, 815 S., kart., ISBN 3-17-003144-9  
Best.-Nr. 7800304-78903; DM 42,—  
vergriffen

### Nr. 5:

Prof. Dr. Hans J. Queisser und Dr. Peter Wagner  
Photoelektrische Solarenergienutzung  
Technischer Stand, Wirtschaftlichkeit, Umweltver-  
träglichkeit  
1980, 90 S., kart., ISBN 3-17-003209-7  
Best.-Nr. 7800305-80901; DM 18,—  
vergriffen

### Nr. 6:

Materialien zu „Energie und Umwelt“  
1982, 450 S., kart., ISBN 3-17-003242-9  
Best.-Nr. 7800306-82901; DM 38,—

### Nr. 7:

Prof. Dr. Dietrich Mülder  
Möglichkeiten der Forstbetriebe, sich Immissions-  
belastungen waldbaulich anzupassen bzw. deren  
Schadwirkungen zu mildern  
1983, 124 S., kart., ISBN 3-17-003275-5  
Best.-Nr. 7800307-83901; DM 21,—  
vergriffen

### Nr. 8:

Prof. Dr. Horst Zimmermann  
Ökonomische Anreizinstrumente in einer auflagen-  
orientierten Umweltpolitik  
— Notwendigkeit, Möglichkeiten und Grenzen am  
Beispiel der amerikanischen Luftreinhaltungspolitik —  
1983, 60 S., kart., ISBN 3-17-003279-8  
Best.-Nr. 7800308-83903; DM 14,—  
vergriffen

### Nr. 9:

Prof. Dr. Rolf Diercks  
Einsatz von Pflanzenbehandlungsmitteln und die da-  
bei auftretenden Umweltprobleme  
1984, 245 S., kart., ISBN 3-17-003284-4  
Best.-Nr. 7800309-84901; DM 25,—  
vergriffen

### Nr. 10:

Prof. Dr. Dieter Sauerbeck  
Funktionen, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus  
agrikulturchemischer Sicht  
1985, 260 S., kart., ISBN 3-17-003312-3  
Best.-Nr. 7800310-85902; DM 25,—  
vergriffen

**Nr. 11:**

Prof. Dr. Günther Weinschenck und Hans-Jörg Gebhard

Möglichkeiten und Grenzen einer ökologisch begründeten Begrenzung der Intensität der Agrarproduktion

1985, 107 S., kart., ISBN 3-17-003319-0

Best.-Nr. 7800311-85903; DM 18,—  
vergriffen

**Nr. 12:**

Prof. Dr. Erwin Welte und Dr. Friedel Timmermann  
Düngung und Umwelt

1985, 95 S., kart., ISBN 3-17-003320-4

Best.-Nr. 7800312-85904; DM 18,—  
vergriffen

**Nr. 13:**

Prof. Dr. Klaus H. Domsch

Funktionen und Belastbarkeit des Bodens aus der Sicht der Bodenmikrobiologie

1985, 72 S., kart., ISBN 3-17-003321-2

Best.-Nr. 7800313-85905; DM 16,—

**Nr. 14:**

Prof. Dr. Heinz Bernhardt und Dipl.-Ing. Werner-Dietrich Schmidt

Zielkriterien und Bewertung des Gewässerzustandes

und der zustandsverändernden Eingriffe für den Bereich der Wasserversorgung

1988, 297 S., kart., ISBN 3-17-003388-3

Best.-Nr. 7800314-88901; DM 26,—

**Nr. 15:**

Prof. Dr. Meinolf Dierkes und Dr. Hans-Joachim Fietkau

Umweltbewußtsein – Umweltverhalten

1988, 203 S., kart., ISBN 3-17-003391-3

Best.-Nr. 7800315-88902; DM 23,—

**Nr. 16:**

Prof. Dr. G. Eisenbrand, Prof. Dr. H. K. Frank, Prof. Dr. G. Grimmer, Prof. Dr. H.-J. Hapke, Prof. Dr. H.-P. Thier, Dr. P. Weigert

Derzeitige Situation und Trends der Belastung der Lebensmittel durch Fremdstoffe

1988, 237 S., kart., ISBN 3-17-003392-1

Best.-Nr. 7800316-88903; DM 25,—

**Nr. 17:**

Prof. Dr. Jörg Maier, Dipl.-Geogr. Rüdiger Strenger, Dr. Gabi Tröger-Weiß

Wechselwirkungen zwischen Freizeit, Tourismus und Umweltmedien

Analyse der Zusammenhänge

1988, 139 S., kart., ISBN 3-17-003393-X

Best.-Nr. 7800317-88904; DM 20,—