

Chemie und Biologie der Altlasten

*Herausgegeben von der Fachgruppe
Wasserchemie in der GDCh*

WILEY-VCH

Aus technischen Gründen bleibt diese Seite leer

Chemie und Biologie der Altlasten

Herausgegeben von der
Fachgruppe
Wasserchemie in der
GDCh



Weitere Titel zum Thema:

Rump, H.H. / Scholz, B.

**Untersuchung von Abfällen, Reststoffen und Altlasten
Praktische Anleitung für chemische, physikalische und biologische Methoden**

1995. XX, 453 Seiten mit 44 Abbildungen und 26 Tabellen.
Gebunden. ISBN 3-527-28754-X

Fachgruppe Wasserchemie in der GDCh (Hrsg.)

**Biochemische Methoden zur Schadstofffassung im Wasser
Möglichkeiten und Grenzen**

1993. X, 174 Seiten mit 70 Abbildungen und 13 Tabellen.
Gebunden. ISBN 3-527-28551-2

© VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-69451 Weinheim, (Bundesrepublik Deutschland), 1997

Vertrieb:

VCH, Postfach 10 11 61, D-69451 Weinheim (Bundesrepublik Deutschland)

Schweiz: VCH, Postfach, CH-4020 Basel (Schweiz)

United Kingdom und Irland: VCH (UK) Ltd., 8 Wellington Court, Cambridge CB1 1HZ (England)

USA und Canada: VCH, 220 East 23rd Street, New York, NY 10010-4606 (USA)

Japan: VCH, Eikow Building, 10-9 Hongo 1-chome, Bunkyo-ku, Tokyo 113 (Japan)

ISBN 3-527-28802-3

Chemie und Biologie der Altlasten

Herausgegeben von der Fachgruppe
Wasserchemie in der GDCh



VCH

Weinheim · New York · Basel · Cambridge · Tokyo

Fachgruppe Wasserchemie
in der Gesellschaft Deutscher Chemiker
Postfach 6980
D-76128 Karlsruhe

Obmann des Arbeitskreises:
Prof. Dr. Ulrich Förstner
Arbeitsbereich Umweltschutztechnik
Technische Universität Hamburg-Harburg
Eißendorfer Str. 40
D-21071 Hamburg

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Lektorat: Dr. Steffen Pauly

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Chemie und Biologie der Altlasten / hrsg. von der Fachgruppe Wasserchemie in der GDCh.
Weinheim ; New York ; Basel ; Cambridge ; Tokyo : VCH, 1996
ISBN 3-527-28802-3
NE: Gesellschaft Deutscher Chemiker / Fachgruppe Wasserchemie

© VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-69451 Weinheim (Federal Republic of Germany), 1997

Gedruckt auf säurefreiem chlorfrei gebleichtem Papier

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Druck und Bindung: Strauss Offsetdruck GmbH, D-69509 Mörlenbach

Printed in the Federal Republic of Germany

Geleitwort

Chemische Aspekte spielen in allen Phasen der Altlastensanierung - Erfassen, Bewerten, Behandeln - eine wichtige Rolle, doch wird bislang insbesondere bei der Erfassung von Verdachtsflächen und bei der Bewertung von Altablagerungen und Altstandorten das chemische Erfahrungspotential noch nicht ausgeschöpft. Nachdem in den achtziger Jahren die systematische, vergleichende Einstufung einer großen Zahl sehr unterschiedlicher Altlasten mit einem vorrangig administrativen Ansatz im Vordergrund stand, werden künftig stärkere Prioritätensetzungen sowohl bei der Auswahl der zu sanierenden Objekte als auch beim Einsatz spezieller Sicherungs- und Sanierungstechniken erforderlich sein. Damit verbinden sich auch wirksamere Erfolgskontrollen, die bislang wegen der großen Dringlichkeit von Sofortmaßnahmen teilweise in den Hintergrund getreten sind. Diese Entwicklung fällt zusammen mit einem gestiegenen Kostenbewußtsein und vielfältigen Erfahrungen mit unzulänglichen Sanierungsergebnissen. Insgesamt kann man erwarten, daß die naturwissenschaftlich begründeten Ansätze sowohl bei der Bewertung als auch Sanierung von Altlasten eine immer größere Bedeutung erhalten werden.

Der Hauptausschuß III "Naturwissenschaftliche Grundlagen" der Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker (Obmann: Prof. Dr. J.K. Reichert) hat 1993 einen neuen Arbeitskreis 'Chemie und Biologie der Altlasten' eingesetzt, der sich mit der Erarbeitung von naturwissenschaftlich begründeten Konzepten für die Gefährdungsabschätzung, Bewertung und die Sanierung von Altlasten befassen soll. Einzelaufgaben sind (1) die Sichtung von Parameterlisten im Hinblick auf ihre Plausibilität, (2) die vergleichende Begutachtung in bereits vorliegenden oder geplanten Konzepten für die Gefährdungsabschätzung, Bewertung oder Sanierung von Altablagerungen und Altstandorten, (3) die Erarbeitung von Vorschlägen für die Probenahme, Probenlagerung und Probenaufbereitung sowie auch Beratung bei analytischen Fragestellungen, (4) die Zusammenarbeit mit anderen relevanten Arbeitsgruppen auf dem Altlastensektor (Frau Dr. M. Raudschus vertritt die Fachgruppe Wasserchemie in der Kommission "Altlasten", einem Zusammenschluß einschlägiger Verbände in diesem Arbeitsgebiet), und (5) die Identifizierung von Forschungsdefiziten und Vorschläge für Projekte im Bereich der Grundlagenforschung.

VI *Geleitwort*

Die Dokumentation "Chemie und Biologie der Altlasten - wissenschaftliche Grundlagen für den Grundwasserschutz" ist ein erstes Ergebnis der Aktivitäten dieses Arbeitskreises, koordiniert von Prof. Dr. Ulrich Förstner. Die Fachgruppe Wasserchemie dankt allen Mitgliedern und Gastautoren, die zum Gelingen dieses Werkes beigetragen haben.

Prof. Dr. Dr. habil. Fritz H. Frimmel
Vorsitzender der Fachgruppe Wasserchemie
in der Gesellschaft Deutscher Chemiker

Vorwort

Die vorliegende Dokumentation "Chemie und Biologie der Altlasten", die vom gleichnamigen Arbeitskreis der Fachgruppe Wasserchemie zusammengestellt wurde, gibt einen Überblick über naturwissenschaftliche Aspekte der Altlastenforschung, mit dem Schwerpunkt auf dem Gebiet des Grundwasserschutzes:

- *Chemisch/toxikologisch*: zu den Ableitungskriterien für Orientierungs-, Schwellen-, Eingreif-, Grenz- und anderen Normwerten; zu Bewertungsansätzen für spezielle Kontaminanten in Altstandorten.
- *Biologisch/ökotoxikologisch*: zur Beurteilung der Ökotoxizität einzelner Chemikalien bzw. einer Altlast und zu Prognosen von Effekten, zu den Hinweisen auf die biologische Sanierbarkeit sowie zur Einschätzung des Sanierungserfolges.
- *Geochemisch/hydrogeologisch*: zum langfristigen Verhalten von Kontaminanten in den Wasser-, Kolloid- und Festphasen, zu den Wirkungen von Sanierungsmaßnahmen und zur großräumigen Demobilisierung von Schadstoffen.
- *Probentechnisch/analytisch*: zu den Entnahmestrategien für Grundwasser-, Feststoff- und Bodenluftproben, den Zielsetzungen, der Durchführung und Bewertung von Auslaugungstests sowie zu den chemischen Analysemethoden.
- *Sanierungstechnisch*: zu den erforderlichen biologischen, bodenphysikalischen, chemischen und geowissenschaftlichen Bewertungskriterien für die Auswahl und Durchführung angemessener, besonders innovativer, Behandlungsmethoden.

Künftig muß die Vorgehensweise bei der Erfassung, Gefährdungsabschätzung und Bewertung besser auf die technischen Problemlösungen abgestimmt werden. Die Dokumentation bietet eine wissenschaftliche Basis für den Brückenschlag von der Phase der Diagnose zu den optimierten Methoden der Behandlung kontaminierter Böden.

Hamburg, Lippstadt und Aachen, im August 1996

Ulrich Förstner
Marlies Raudschus
Johannes K. Reichert

Dank

Eine wichtige fachliche Grundlage für das vorliegende Buch waren die Sitzungen des Arbeitskreises "Chemie und Biologie der Altlasten". Neben den namentlich aufgeführten Autoren haben folgende Mitglieder und Gäste des Arbeitskreises zu dieser Dokumentation beigetragen: Priv.-Doz. Dr. habil. Peter Belouschek (Institut für Umweltforschung e.V., Essen), Prof. Dr. Klaus Fischwasser (Gesellschaft für umweltverträgliche Verfahrensinnovation, Teltow), Priv.-Doz. Dr. Rainer Köster (Institut für Technische Chemie, Forschungszentrum Karlsruhe), Dr. Arno Maurer (Engler-Bunte-Institut, Universität Karlsruhe), Dipl.-Chem. Werner Muschack (Umweltbundesamt, Berlin) und Prof. Dr. Peter Werner (Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten, Technische Universität Dresden). Der besondere Dank gilt Herrn Dipl.-Geol. Frank Engelmann (Gesellschaft für Umwelt- und Wirtschaftsgeologie mbH, Berlin) für den einführenden Beitrag zum Kapitel "Hydrogeologische und geochemische Grundlagen".

Die Edition dieser Dokumentation wurde durch die Gesellschaft für Forschung und Entwicklung Hamburg-Harburg und die Wasserlaboratorien-Roetgen finanziell unterstützt. Frau Barbara Eckhardt und Herrn Dr. Michael Roemer danken wir für die engagierte Mitarbeit, sowie Herrn Konrad Förstner für die Hilfe bei der Erstellung des Sachverzeichnisses. Nicht zuletzt geht der Dank an Herrn Dr. Steffen Pauly und an Frau Cornelia Clauß vom VCH Verlag in Weinheim für das Interesse an diesem Projekt der Fachgruppe Wasserchemie und für die umsichtige Betreuung der Herausgabe des vorliegenden Buches.

Inhalt

1 Chemische und humantoxikologische Grundlagen (Kerndorff)	1
1.1 Chemische Aspekte bei der Altlastenproblematik	1
1.1.1 Zeitliche Entwicklungen in der Altlastenproblematik	1
1.1.2 Kriterien für Verdachtsflächen: Genese, Stoffcharakteristik und Emissionspfade	2
1.1.2.1 Altablagerungen	2
1.1.2.2 Altstandorte	4
1.2 Schadstoffe gemäß ihrem Auftreten und Reaktionsverhalten	5
1.2.1 Altablagerungen - typische Schadstoffe im Sickerwasser	5
1.2.2 Altstandorte - branchentypische Kontaminanten	8
1.2.3 Rüstungs- und Militäraltlasten - spezifische Substanzen	12
1.3 Kontaminanten im Boden und Grundwasser	16
1.3.1 Hydrophile und hydrophobe Kontaminanten	16
1.3.2 Hauptkontaminanten	22
1.3.3 Humantoxikologische Bewertung von Kontaminanten	27
1.3.4 Prioritätskontaminanten	27
1.3.5 Parameterlisten	30
1.4 Erfassen/Bewerten mit "pfadspezifisch" und humantoxikologisch prioritären Parametern	31
1.4.1 Feldtests und Screening-Tests	31
1.4.2 Erseinstufung nach Kerndorff et al.	32
1.4.3 Perspektiven für die Stoffbewertung	34
1.4.3.1 Das stoffspezifische Transferpotential von Grundwasser- kontaminanten	35
1.4.3.2 Das stoffspezifische Persistenzpotential von Grundwasser- kontaminanten	36
1.4.3.3 Das stoffspezifische Grundwassergängigkeitspotential von Grundwasserkontaminanten	37
1.5 Literatur	40
2 Biologische und ökotoxikologische Grundlagen (Obst/Seibel)	43
2.1 Biologischer Abbau und biologische Umsetzung von Xenobiotika	43
2.1.1 Mikrobieller Abbau	43
2.1.2 Milieufaktoren	46
2.1.2.1 Temperatur und pH-Wert	47
2.1.2.2 Nährstoffangebot	48

2.1.2.3 Sauerstoff	49
2.1.2.4 Feuchte	51
2.1.3 Chemische Struktur und Abbauverhalten	51
2.1.4 Bioverfügbarkeit	53
2.1.5 Anpassungen von Mikroorganismen	55
2.1.6 Mikrobiologische Umsetzungen ausgewählter Stoffgruppen	56
2.1.6.1 Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)	56
2.1.6.2 Aromatische Kohlenwasserstoffe	58
2.1.6.3 Aromatische Nitroverbindungen (Rüstungsaltslasten)	61
2.1.6.4 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	63
2.1.6.5 Leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (LCKW)	68
2.1.6.6 Phenolverbindungen	73
2.1.6.7 Chlorphenole und schwerflüchtige Chlorverbindungen	74
2.1.6.8 Polychlorierte Biphenyle, Dioxine und Furane	75
2.1.6.9 Ammonium und Cyanide	76
2.1.6.10 Schwermetalle	78
2.2 Toxizität und Erbgutschädigung	78
2.2.1 Biologische Mechanismen toxischer Einwirkungen	79
2.2.1.1 Prokaryonten und Einzeller	80
2.2.1.2 Pflanzen	81
2.2.1.3 Tiere	82
2.2.2 Angriffspunkte im Organismus und mögliche Testansätze	83
2.2.3 Mögliche Teststrategien	83
2.2.3.1 Kartierung	84
2.2.3.2 Bewertung der (gen)toxischen Wirkung	84
2.3 Literatur	86
3 Hydrogeologische und geochemische Grundlagen	89
3.1 Hydrogeologische Einflußfaktoren auf die Ausbreitung von Schadstoffen <i>(Engelmann)</i>	90
3.1.1 Aufbau und Struktur des Untergrundes	90
3.1.1.1 Gesteinszusammensetzung und Schichtfolge des Untergrundes ..	90
3.1.1.2 Hydraulische Eigenschaften des Untergrundes	92
3.1.1.3 Grundwasserleiter, Grundwassernichtleiter	94
3.1.1.4 Flurabstand, Grundwassermächtigkeiten	95
3.1.2 Sickerwasserbildung, Grundwasserneubildung	96
3.1.3 Grundwasserbewegung	97
3.1.3.1 Speisungs- und Entlastungsgebiete	97
3.1.3.2 Grundwasserfließrichtung	98
3.1.3.3 Grundwasserfließgeschwindigkeit	99

3.2 Verhalten von Schadstoffen im Untergrund	100
3.2.1 Physikalische und geochemische Randbedingungen für die Bewertung des Verhaltens von Schadstoffen in Böden und Grundwasser (<i>Peiffer</i>) ...	100
3.2.1.1 Physikalische Randbedingungen	100
3.2.1.2 Chemische Randbedingungen	102
3.2.2 Physikalisch-chemische Reaktionen von Sickerwasserinhaltsstoffen (<i>Schöttler</i>)	104
3.2.2.1 Filtration	105
3.2.2.2 Adsorption	105
3.2.2.3 Ionenaustausch	106
3.2.2.4 Fällung	106
3.2.2.5 Hydrolyse	107
3.2.2.6 Biotische Akkumulation	108
3.2.3 Chemische und biologische Prozesse im Grundwasser (<i>Förstner</i>)	108
3.2.3.1 Verhalten der Hauptwasserinhaltsstoffe	109
3.2.3.2 Biologische Umsetzungen im oberen Grundwasserbereich	110
3.2.4 Wechselwirkungen zwischen gelösten und festen Substanzen (<i>Förstner</i>) ..	111
3.2.4.1 Mobilität von Spurenmetallen im Grundwasser	111
3.2.4.2 Organische Schadstoffe unter realen Untergrundbedingungen ...	114
3.2.4.3 Schadstofftransport durch Kolloide im Grundwasser	115
3.2.5 Frühwarnsysteme für Veränderungen der Grundwasserqualität (<i>Förstner</i>)	116
3.3 Ausbreitung von Schadstoffen (<i>Wienberg/Schneider</i>)	117
3.3.1 Aufgabenstellung und Ziele für Schadstofftransportmodelle	117
3.3.2 Mathematische Beschreibung des Schadstofftransportes	118
3.3.3 Lösungen der Transportgleichung	120
3.3.3.1 Analytische Lösungen	120
3.3.3.2 Halbanalytische Lösungen	128
3.3.3.3 Numerische Lösungen	129
3.4 Die Oxidation von Eisensulfiden und ihre Auswirkung auf die Umwelt (<i>Peiffer</i>)	131
3.4.1 Problemstellung	131
3.4.2 Biogeochemische Grundlagen	131
3.4.2.1 Ungepufferter Bereich	131
3.4.2.2 Gepufferter Bereich	133
3.4.3 Umweltproblematik	133
3.4.3.1 Pyrit haltige Abraumhalden in der ungesättigten Zone	134
3.4.3.2 Pyrit haltige Abraumhalden in der gesättigten Zone	135
3.4.3.3 Sedimente	136
3.4.4 Sanierungsstrategien	138

3.5 Ingenieurgeochemische Konzepte für Altlasten (Förstner)	140
3.5.1 Gekoppelte geochemische Stoffkreisläufe	141
3.5.1.1 Stoffströme in Ablagerungen	141
3.5.1.2 Geochemische Steuerprozesse	142
3.5.1.3 Konzept der kapazitätsbestimmenden Eigenschaften	142
3.5.1.4 Mobilitätskonzept	143
3.5.2 Meßparameter für langfristige Prognosen	144
3.5.3 Ingenieurgeochemische Behandlungstechniken	147
3.5.3.1 Untersedimentdeponie - subaquatische Lagerung	147
3.5.3.2 Endlagerqualität und Verwertung	148
3.5.3.3 Gefährdungsabschätzung aus geochemischer Sicht	148
3.6 Literatur	149

4 Gefährdungsabschätzung

4.1 Stoffspezifisches Gefährdungspotential (Kerndorff)	155
4.1.1 Grundsätzliches zur Gefährdungsabschätzung bei Kontaminationen	155
4.1.2 Die Stoffproblematik bei Altlasten	155
4.2 Bewertungsprinzipien (Kerndorff)	156
4.2.1 Allgemeines zu Bewertungsprinzipien bei kontaminierten Standorten	156
4.2.2 Beispiele für eine direkte Exposition	159
4.2.3 Beispiel für eine indirekte Exposition	164
4.2.4 Schlußfolgerungen	168
4.3 Umfeldanalyse	169
4.3.1 Die Bedeutung des Umfeldes der Kontamination für die Gefährdungsabschätzung (Kerndorff)	169
4.3.2 Geochemische Untersuchungen - Methodenpaket (Wienberg)	171
4.3.2.1 Einleitung, Zum Schadstoffrückhaltepotential des Untergrundes	171
4.3.2.2 Untersuchungskonzept für das Methodenpaket zur Bestimmung des Schadstoffrückhaltepotentials	172
4.3.2.3 Kritischer Ausblick	177
4.3.3 Biologische Untersuchungen (Stottmeister)	177
4.3.3.1 Zielstellung	177
4.3.3.2 Biologische Methoden der Schadstofferkennung und -bestimmung	179
4.3.3.3 Zukünftige Entwicklungen	188
4.4 Untersuchungsstrategie (Reichert/Roemer)	190
4.4.1 Ziele und Anforderungen einer Untersuchungsstrategie	190
4.4.2 Struktur der Untersuchungsstrategie	193
4.4.3 Probenahmestrategie (Übersicht)	196

4.4.4 Analytisches Untersuchungsprogramm 196
 4.4.4.1 Übersicht 196
 4.4.4.2 Auswahl der Analysenproben bei Feststoffen 196
 4.4.4.3 Auswahl der Analysenproben bei Grundwasser 197
 4.4.5 Bezugsgrößen und Parameterauswahl 197
 4.4.5.1 Auswahlkriterien 199
 4.4.5.2 Stufenkonzept 200
 4.4.6 Zusammenstellung einiger Untersuchungsprogramme 202
 4.5 Literatur 206

5 Probenahme- und Untersuchungsmethoden (Reichert/Roemer) 211

5.1 Probenahmestrategien 211
 5.1.1 Einfluß der Probenahme auf das Untersuchungsergebnis 211
 5.1.2 Probenahme 212
 5.1.2.1 Anforderungen 212
 5.1.2.2 Übersicht 212
 5.1.3 Bestandteile der Probenahmestrategie 213
 5.1.3.1 Vorgehensweise 213
 5.1.3.2 Urteilsbegründete Probenahme 215
 5.1.3.3 Statistische Strategien 215
 5.1.3.4 Positionierung der Beprobungsstellen 217
 5.1.3.5 Probenahmetiefen 219
 5.1.3.6 Anzahl der Beprobungsstellen 221
 5.1.3.7 Probenmenge 230
 5.1.4 Behandlung der Feldprobe 231
 5.1.4.1 Probenauswahl 231
 5.1.4.2 Probenverfälschung 232
 5.1.4.3 Probenkonservierung 232
 5.1.4.4 Probenvorbereitung 233
5.2 Grundwasserproben 234
 5.2.1 Charakter von Grundwasserkontaminationen 234
 5.2.2 Einstufung in Grundwasserregionen 235
 5.2.3 Auswahl und Einrichtung der Grundwassermeßstelle 236
 5.2.4 Anforderungen an ein Meßstellennetz 239
 5.2.5 Randbedingungen der Probenentnahme 240
 5.2.5.1 Repräsentanz 240
 5.2.5.2 Beprobungstechniken 240
 5.2.6 Auswahl der Untersuchungsparameter bei Verdachtsflächen 246
 5.2.6.1 Stoffeigenschaften 246
 5.2.6.2 Anorganische Parameter 246
 5.2.6.3 Organische Verbindungen 247

5.2.7	Untersuchungskonzepte	247
5.2.8	Plausibilitätsprüfungen	252
5.2.9	Probenveränderungen	253
5.3	Feststoffproben	255
5.3.1	Anlaß und Ziel	255
5.3.2	Methoden der Feststoffprobenahme	256
5.3.2.1	Auswahlkriterien für Bohrverfahren	256
5.3.2.2	Verfahren der Probengewinnung	257
5.3.2.3	Vor- und Nachteile einiger Verfahren	261
5.4	Bodenluftproben	263
5.4.1	Definition und Zusammensetzung der Bodenluft	263
5.4.2	Wechselbeziehungen zwischen den Bodenmatrizes	266
5.4.3	Einflußfaktoren auf die Schadstoffkonzentration	267
5.4.4	Beprobungskonzept	268
5.4.4.1	Vorarbeiten	268
5.4.4.2	Lage der Meßpegel	269
5.4.4.3	Tiefenlage der Probenahme	271
5.4.4.4	Zeitpunkt der Probenahme	271
5.4.5	Ausbauart einer Bodenluftmeßstelle	272
5.4.6	Methoden der Bodenluftprobenahme	273
5.4.6.1	Übersicht	273
5.4.6.2	Direktmethoden	276
5.4.6.3	Anreicherungsmethoden	276
5.4.6.4	Farbreaktionsröhrchen	280
5.4.6.5	Arbeitsablauf der Probenahme	281
5.4.6.6	Probenahmeprotokoll	283
5.4.7	Auswertung der Bodenluftmessung	285
5.4.7.1	Darstellung der Meßwerte	285
5.4.7.2	Direkte Aussage	285
5.4.7.3	Indirekte Aussage	286
5.4.8	Vorteile und Nachteile der Bodenluft-Untersuchung	290
5.4.9	Erfassung von Oberflächenausgasungen	291
5.5	Eluatuntersuchungen	292
5.5.1	Ziel einer Eluatuntersuchung	292
5.5.2	Einflußfaktoren auf das Elutionsverhalten	295
5.5.2.1	Zusammenstellung der Auslaugmechanismen	295
5.5.2.2	Korngröße	297
5.5.2.3	Abmessungen von Prüfkörpern	298
5.5.2.4	Elutionsflüssigkeit	299
5.5.2.5	pH-Wert	300
5.5.2.6	Gesamtfeststoffgehalt	301

5.5.3	Einteilung der Elutionsverfahren	302
5.5.3.1	Anorganische und organische Komponenten	302
5.5.3.2	Charakteristische Merkmale von Elutionsverfahren	302
5.5.3.3	Übersicht von Elutionsverfahren	303
5.5.3.4	Ablaufschema von Elutionsversuchen	304
5.5.3.5	Einteilung nach Art der Versuchsdurchführung und Versuchstechnik	306
5.5.3.6	Experimenteller Aufwand	306
5.5.3.7	Flaschentests	307
5.5.3.8	Säulentests	308
5.5.4	Beschreibung und Bewertung spezieller Elutionsverfahren	311
5.5.4.1	Schütteltest DIN 38414-S4	311
5.5.4.2	pH _{stat} -Versuch	314
5.5.4.3	Verfügbarkeitstest für anorganische Stoffe	318
5.5.4.4	Mobilisierbarkeit mit Ammoniumnitrat	319
5.5.4.5	Kaskadentest	320
5.5.4.6	Trogverfahren	322
5.5.4.7	Schweizer CO ₂ -Test (BUS-Test)	323
5.5.4.8	Sequentielle Extraktion	324
5.5.4.9	Schnellelution mit Ultraschall	325
5.5.4.10	Perkolationssäulen	325
5.5.4.11	Kreislaufelution	326
5.5.4.12	Soxhletapparatur	331
5.5.4.13	Triaxialzelle	332
5.5.4.14	Laborlysimeter	333
5.5.4.15	Halbtechnische Modelldeponie	334
5.5.4.16	Großlysimeter	335
5.5.4.17	Diffusionsmeßzelle	335
5.5.4.18	Diffusionstest für Prüfkörper	336
5.5.4.19	Sättigungswasserextraktion	337
5.5.4.20	Druckfiltration zur Porenwasserbestimmung	338
5.5.5	Auswertung von Elutionsversuchen	338
5.5.5.1	Kenngrößen zur Beschreibung des Elutionsverhaltens	338
5.5.5.2	Kontrolle und Bilanzierung der Meßwerte	346
5.5.5.3	Dokumentation	346
5.5.5.4	Ergebnisdarstellung	347
5.5.6	Aussagekraft der Verfahren und Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse	349
5.5.6.1	Zeitraffung	349
5.5.6.2	Organische Stoffe	349
5.5.6.3	Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse	350
5.5.7	Tendenzen der Eluatuntersuchung (<i>Blankenhorn</i>)	354
5.5.7.1	Stand der europäischen Normung	354
5.5.7.2	Entwicklungen auf nationaler Ebene	355

5.6 Chemische Analytik	356
5.6.1 Probenvorbereitung	356
5.6.1.1 Ziel der Probenvorbereitung	356
5.6.1.2 Zerkleinerung	356
5.6.1.3 Beanspruchungsmechanismen	357
5.6.1.4 Aufschlußverfahren	357
5.6.1.5 Reinigungs- und Anreicherungsmethoden	358
5.6.2 Analysenmethoden	360
5.6.2.1 Qualitätsmerkmale von Analysenmethoden	360
5.6.2.2 Verfahrensübersicht	362
5.6.2.3 Physikalische oder instrumentelle Methoden	363
5.6.2.4 Spektrometrische Verfahren	364
5.6.2.5 Chromatographische Verfahren	365
5.6.2.6 Detektoren	366
5.6.2.7 Vor-Ort-Messungen	368
5.6.2.8 Analysenverfahren: Vorgaben und Beispiele	372
5.6.3 Qualitätssicherung	380
5.6.4 Perspektiven	382
5.7 Literatur	383
6 Sicherungs- und Sanierungspraxis	397
6.1 Sanierungsziele (<i>Reichert/Roemer</i>)	397
6.1.1 Übersicht	397
6.1.2 Schutzziele	398
6.1.3 Sanierungsziel	399
6.1.3.1 Zielfindung	399
6.1.3.2 Bodenkontamination	401
6.1.3.3 Grundwasserkontamination	403
6.1.4 Sanierungszielwerte	403
6.2 Sicherungsmaßnahmen	406
6.2.1 Umlagerungen (<i>Förstner</i>)	406
6.2.2 Barriersysteme (<i>Wienberg</i>)	407
6.2.2.1 Abdeckung der Deponie	408
6.2.2.2 Sohlabdichtungen	408
6.2.2.3 Dichtwände	410
6.2.3 Verfestigung und Stabilisierung (<i>Förstner</i>)	415
6.2.3.1 Demobilisierung von Schadstoffen in Gewässern	415
6.2.3.2 Verfestigungs- und Stabilisierungsmittel	416
6.2.3.3 Stabilisierung von kontaminierten Feststoffen	419
6.2.3.4 On site/off site-Verfahren mit Schadstoffeinbindung	423

Aus technischen Gründen bleibt diese Seite leer