



**Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH**

Mobilitätsdatenbank AMANDA

Datenbank zum
Mobilisationsverhalten und
Schadstoffpotenzial von
belasteten Feststoffen



**Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH**

Mobilitätsdatenbank AMANDA

Datenbank zum
Mobilisationsverhalten und
Schadstoffpotenzial von
belasteten Feststoffen

Jörg Mönig
Thomas Brassler
Anne Engels
Marianne Hegemann
Christoph Klinger
Michael Veerhoff

April 2002

Anmerkung:

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Arbeiten wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 02 C 0679 6 gefördert.

Die Arbeiten wurden von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH sowie ihren Projektpartnern Deutsche Montan Technologie GmbH, Kemski & Partner Beratende Geologen, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn und Tauw GmbH durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt allein bei den Autoren.

**GRS - 178
ISBN 3-931995-46-1**

Danksagung

Die Autoren bedanken sich recht herzlich beim Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (www.lua.nrw.de), Abteilung 7 - Abfallwirtschaft, insbesondere bei den Herren Claus Becker und Dr. Karl-Heinz Striegel, für die gute Kooperation und fachliche Unterstützung bei der Realisierung dieses Projektes.

Bezugsquellen Datenbank AMANDA

Eine Runtime-Version der Datenbank AMANDA einschließlich der Mobilitätsdaten für eigene wissenschaftliche Auswertungen ist auf Anfrage von den Projektpartnern erhältlich:

Jörg Mönig, Thomas Brasser
GRS Braunschweig, Theodor-Heuss-Str. 4, 38122 Braunschweig
Tel. +49-531-8012 202 (Mönig), +49-5 31-80 12 238 (Brasser)
e-mail: moe@grs.de, bra@grs.de; www.grs.de/geochemie/

Prof. Jean Thein, Anne Engels
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Geologisches Institut,
Nußallee 8, 53115 Bonn
Tel. +49-2 28-732 460
e-mail: jthein@uni-bonn.de; www.geologie.uni-bonn.de

Marianne Hegemann
Tauw GmbH, Richard-Löchel-Str. 9, 47441 Moers
Tel. +49-2841-14 90 13
e-mail: mhg@tauw.de; www.tauw.nl/de/

Christoph Klinger
Deutsche Montan Technologie GmbH, Safe Ground Division,
Am Technologiepark 1, 45307 Essen
Tel. +49-2 01-1 72 18 12
e-mail: klinger@dmtd.de; www.dmt.de

Michael Veerhoff
Kemski&Partner, Beratende Geologen, Alte Heerstraße 1, 53121 Bonn
Tel. +49-2 28-962 92 43
e-mail: veerhoff@kkv-bonn.de; www.kkv-bonn.de

Deskriptoren:

Datenbank, Langzeitsicherheit, nichtaktiver Abfall, Schadstofftransport, Wechselwirkung

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Projektziele	1
1.2	Vorarbeiten.....	3
2	Auslaugversuche zur Bestimmung von Mobilitätsdaten	7
2.1	Klassifizierung von Auslaugversuchen.....	7
2.2	Anforderungen an die Dateneingabe	12
2.2.1	Allgemeine Anforderungen.....	12
2.2.2	Versuchsarten-spezifische Anforderungen	13
2.2.2.1	Einstufige Batchversuche.....	15
2.2.2.2	Mehrstufige Batchversuche.....	17
2.2.2.3	Trogversuche	19
2.2.2.4	Kaskadenversuche.....	20
2.2.2.5	Säulen- und Lysimeterversuche.....	23
3	Aufbau der Datenbank	29
3.1	DV-technische Anforderungen	29
3.1.1	Darstellung von Auslaugversuchen.....	29
3.1.2	Datenselektion zur Auswertung	32
3.1.3	Datenaufbereitung zur Auswertung unter MS Excel	33
3.2	Datenstrukturen.....	33
3.2.1	Datenstrukturen in ABANDA	33
3.2.2	Datenstrukturen in AMANDA	35
3.3	DV-technische Umsetzungen.....	37
3.3.1	Dateneingabe	37
3.3.1.1	Anlegen von Probensätzen	38
3.3.1.2	Ablage der Versuchsbedingungen	39
3.3.1.3	Ablage von Parametern des Datentyps »Zahl«.....	41

4	Erfasste Daten	45
4.1	Abfalldaten	45
4.2	Mobilitätsdaten	47
4.3	Elutionsmittel	49
4.4	Batch-Versuche.....	50
4.4.1	Einstufige Batchversuche.....	50
4.4.2	Mehrstufige Batchversuche.....	52
4.4.3	Trogversuche	54
4.5	Kaskadenversuche.....	57
4.6	Säulen- und Lysimeterversuche.....	58
5	Datenauswertung	61
5.1	Auswertemöglichkeiten mit AMANDA bzw. anderen Tools.....	61
5.1.1	Datenselektion	61
5.1.2	Datenaufbereitung zum Export	63
5.2	Ergebnisse und Beispiele.....	65
5.2.1	Schadstoffgehalte der Abfälle	65
5.2.2	pH-Werte der Eluate	67
5.2.3	pH-abhängige Schadstoffmobilisierung	69
5.2.4	Elementspezifische Dynamik der Schadstoffmobilisierung	76
5.2.5	Stoffspezifische Dynamik der Schadstoffmobilisierung.....	83
5.2.6	Elementspezifische Mobilisierbarkeit	86
5.2.7	Vergleich der Elutionsverfahren	91
5.2.8	Differenzierung nach Stoffgruppen.....	94
5.2.9	Einfluss von Zementanteil und Elutionsverfahren	95
5.2.10	Alllastenspezifische Schadstoffe.....	100
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	105

7	Literaturverzeichnis	109
	Abbildungsverzeichnis	117
	Tabellenverzeichnis	121
A	Anhang	123
A.1	Übersicht über in der Literatur beschriebene Auslaugverfahren	123
A.1.1	Batchversuche	123
A.1.2	Säulen- und Lysimeterversuche.....	128
A.2	Checkliste für die Dateneingabe in AMANDA	139
A.3	Liste der erfassten Parameter	145
A.4	Probenselektion und Datenauswertung mit Hilfe des Expertenmodus ...	163
A.4.1	Aufgabenstellung	163
A.4.2	Aufruf des Auswertemenüs	163
A.4.3	Auswahl der Parameter.....	163
A.4.4	Analysenauswahl	164
A.4.5	Datenexport.....	166
A.4.6	Kriterien zur Auswahl bestimmter Probandatensätze in AMANDA	167

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Projektziele

Untertagedeponien (UTD) und Endlager spielen bei der Entsorgung gefährlicher Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland eine bedeutende Rolle. Das Konzept einer nicht rückholbaren und in der Nachbetriebsphase überwachungsfreien Endlagerung in tiefen geologischen Formationen wird für radioaktive Abfälle bereits seit Anfang der 60er Jahre verfolgt. Die untertägige Entsorgung von chemisch-toxischen Abfällen wird seit der Inbetriebnahme der UTD Herfa-Neurode 1972 praktiziert, hat aber seit jeher nicht die gleiche wissenschaftliche Beachtung wie die Endlagerung radioaktiver Abfälle gefunden. Erst mit Beginn der 90er Jahre haben verstärkte Forschungsaktivitäten, vornehmlich zum Abfallinventar, zu geomechanischen Fragestellungen sowie zu geochemischen Wechselwirkungen zwischen Abfällen, Fluiden (u. a. Grundwasser) sowie Wirtsgestein und Deckgebirge im Nah- und z. T. auch Fernfeld einer UTD/UTV begonnen.

Heute existieren in Deutschland mehrere Untertagedeponien mit einem Deponie-Hohlraumvolumen von ca. 12 bis 15 Mio. m³ und einer Einlagerungskapazität von etwa 350.000 t/a. Darüber hinaus nimmt die Verwertung von Abfällen als Versatz im Bergbau (UTV) eine wichtige Funktion beim Lagerstättenabbau sowie bei Abschluss- und Verwahrmaßnahmen für stillzulegende Bergwerke ein. Die Reduktion zu beseitigender Abfallmengen und damit verbunden die Entlastung von insbesondere oberirdischen Deponien, die Einsparung von Primärrohstoffen und nicht zuletzt die Erhaltung und Schonung der Natur sind dabei ebenfalls wichtige Aspekte. Derartige Versatzmaßnahmen unter Einbeziehung von mineralischen Abfällen, die in großen Mengen und mit einer mehr oder weniger konstanten Qualität zur Verfügung stehen, bedeutet also zunächst, dass die in den Abfällen enthaltenen Schadstoffe aus der Biosphäre in den Stoffkreislauf der Geosphäre zurückgeführt werden.

Im Rahmen der sicherheitstechnischen Bewertung eines Entsorgungskonzeptes sind - neben Anforderungen an einen sicheren Betrieb und einen ausreichenden Arbeitsschutz - der Schutz der Umwelt, der Lagerstätte und des Grundwassers zu gewährleisten. Dabei muss wegen des toxischen Potentials zahlreicher Abfälle eine Gefährdung der Biosphäre ausgeschlossen werden. Dies ist möglich, indem Abfälle

und deren Schadstoffausträge dauerhaft und nachsorgefrei von der Biosphäre ferngehalten werden (Prinzip des vollständigen Einschlusses) oder Abfälle so eingebracht werden, dass keine schädliche Verunreinigung oder nachteilige Veränderung des Grundwassers gegenüber der geogenen Beschaffenheit eintritt (Prinzip der immissionsneutralen Entsorgung). Dies bedeutet, dass die Nutzung von Grubenräumen zur Entsorgung von Abfällen so durchgeführt werden muss, dass von deren Inhaltsstoffen langfristig keine Gefährdung für Mensch und Umwelt ausgeht. Eine potentielle Gefährdung dieser Schutzgüter stellt die Freisetzung von Schadstoffen aus Abfällen und deren Transport und Ausbreitung mit dem Grundwasser bis in die Biosphäre dar. Dies erfordert eine Auslegung von Entsorgungsräumen derart, dass durch ein ggf. auch gestaffeltes System von Barrieren eine wirksame Isolation der Schadstoffe von der Biosphäre gewährleistet wird.

Sicherheitsnachweise für die Entsorgung von Abfällen müssen aufgrund der Langzeitbeständigkeit der zu betrachtenden Schadstoffe und ihres toxischen Potentials für lange Zeiträume geführt werden. Dazu werden Rechenprogramme eingesetzt, welche die potentielle Freisetzung von Schadstoffen aus dem Ablagerungs- bzw. Versatzbereich und deren Transport mit dem Grundwasser durch die Geosphäre bis hin zur Biosphäre beschreiben.

Eine sichere Entsorgung chemisch-toxischer Abfälle setzt die Kenntnis und Beherrschung von Wechselwirkungen zwischen Schadstoffen in einem Deponiekörper und der Umwelt voraus. Der Schadstoffgehalt eines Abfalls allein gestattet noch keine Aussage über die Konzentrationen, die sich in den Reaktionslösungen einstellen können. Hierfür ist vielmehr der unter Ablagerungsbedingungen lösliche Anteil entscheidend, der sich generell mit einer Reihe unterschiedlicher Auslaug- bzw. Elutionsverfahren experimentell untersuchen lässt. Ziel von Elutionsverfahren ist es, Aussagen über die Verfügbarkeit von Abfallinhaltsstoffen bei der Umsetzung mit wässrigen Lösungen (z. B. Grundwasser, saline Lösungen) zu gewinnen. Untersucht werden dabei Umfang und zeitlicher Verlauf der Schadstoffmobilisierung sowie welche Schadstoffhöchstkonzentrationen in den Reaktionslösungen erreicht werden können.

Im Bereich der Endlagerung radioaktiver Abfälle in Salzbergwerken liegen bereits umfangreiche Studien und Kenntnisse zur Freisetzung, Migration und Sorption von Radionukliden unter Labor- und in situ-Bedingungen vor /KIM 92, KIM 94a, KIM 94b,

KIM 96, KLO 85, KOS 91, LIE 86, MEI 86/. Über das Mobilisationsverhalten von Schadstoffen chemisch-toxischer Abfälle aus Untertagedeponien bzw. Versatzbereichen ist vergleichsweise wenig bekannt /BRA 91a, BRA 91b, HER 96, KLI 94, THE 97, WIL 98/. Darüber hinaus liegen Ergebnisse bisher nur fragmentiert vor und sind bisher nicht in systematischer Weise zusammengefasst worden.

Ziel des Vorhabens war es, die bei den am Vorhaben beteiligten Institutionen vorliegenden Ergebnisse und Daten physikochemischer Experimente zum Freisetzungverhalten von Schadstoffen aus Abfällen zusammenzustellen, zu validieren und in einer sogenannten Mobilitätsdatenbank (**Abfallmobilitäts-Analysendatenbank**, AMANDA) zu erfassen. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf Versuchen, in denen die Schadstoffmobilisation experimentell untersucht wurde und damit Größen ermittelt wurden, die zur Beschreibung des Stofftransportes auf dem Wasserpfad in der Geo- und Biosphäre benötigt werden. Dabei sollte nicht ein vollständiges Kataster aller in Deutschland veröffentlichten Mobilitätsdaten erstellt werden. Vielmehr sollten Grundlagen geschaffen werden, um derartige experimentelle Daten, die auch bei anderen umweltbezogenen Fragestellungen relevant sein können, in systematischer Weise vollständig zu erfassen und einer wissenschaftlichen Auswertung zugänglich zu machen.

Grundlage für die Mobilitätsdatenbank bildete dabei die bereits in der Praxis erprobte **Abfall-Analysendatenbank** (ABANDA) des Nordrhein-Westfälischen Landesumweltamtes (LUA NRW). Ein weiterer wichtiger Aspekt war, die prinzipielle Möglichkeit zu schaffen solche Mobilitätsdaten durch gezielte Auswertung im Rahmen eines Langzeitsicherheitsnachweises für untertägige Abfallentsorgungsmaßnahmen einsetzen zu können. Schließlich war die Anwendbarkeit dieses Tools exemplarisch aufzuzeigen.

1.2 Vorarbeiten

Die Abfallanalytischen Datenbank (ABANDA) des Landes Nordrhein-Westfalen ist ein Instrument zur Abfallbewertung für die Abfallwirtschaftsbehörden des Landes auf der Basis von MS ACCESS. Die Datenbank wird seit 1993 beim Landesumweltamt (LUA NRW) entwickelt und enthält neben der Abfallanalytik auch Informationen über Herkunft, Entstehung und Verbleib der Abfälle. Weiterhin sind als Beurteilungswerte zahlreiche Grenz- und Richtwertlisten aus relevanten Umweltbereichen sowie

Zulassungswerte zu Abfallentsorgungsanlagen gespeichert. Darüber hinaus können auch benutzerspezifische Beurteilungslisten angelegt werden.

Der Datenbestand in ABANDA speist sich aus Literaturrecherchen, Untersuchungsvorhaben des Landes sowie aus dem abfallwirtschaftlichen Vollzug. Den Bearbeitungsstand fasst Tabelle 1.1 für Daten aus Abfalluntersuchungen und Tabelle 1.2 für Beurteilungslisten zusammen.

Tab. 1.1 Daten aus Abfalluntersuchungen in ABANDA

Abfallkatalog	registrierte Abfallarten	Anteil	Anzahl		
			Berichte	Proben	Werte
Europäischer Abfallartenkatalog (EAK)					
EAK - Gesamt	271 von 684	40 %	3.428	6.026	79.046
LAGA-Abfallartenkatalog (Obergruppen)					
1 – Abfälle pflanzlichen, tierischen Ursprungs	27 von 109	25 %	125	260	4.234
3 – mineralische Abfälle	117 von 148	78 %	3.119	7.022	133.679
5 – Abfälle aus Umwandlungs- und Syntheseprozessen	162 von 288	56 %	2.033	3.209	51.196
9 – Siedlungsabfälle	25 von 39	61 %	306	942	16.245
LAGA – Gesamt	331 von 590	56 %	5.617	11.433	205.354

Stand 10/2001

Tab. 1.2 Beurteilungslisten aus verschiedenen Umweltbereichen in ABANDA

Umweltbereiche			Anzahl Beurteilungslisten
Abfallwirtschaft	OTD	obertägige Ablagerung	28
	OTV	obertägige Verwertung	53
	UTV	untertägige Verwertung	32
Wasser	WW	Wasserwirtschaft	21
Boden	BO	Altlasten	61
Gesamt			195

Stand 10/2001

Zu den Nutzungsmöglichkeiten von ABANDA gehört nicht nur die systematische Datenerfassung, sondern auch die statistische Auswertung der Abfalldaten oder der schnelle Datenvergleich mit relevanten Beurteilungswerten. Damit unterstützt ABANDA die Arbeit der Abfallbewertung z. B. in folgenden Bereichen:

1. Systematische Informationssuche in den Datenbeständen, z. B. zur Einordnung vorliegender Abfallanalysergebnisse. Es kann beispielsweise nach Parameterwerten für Thallium in den verschiedenen »Grenzwertlisten« oder in den verschiedenen Abfallarten als Mittelwert gesucht werden. Das Suchergebnis wird in übersichtlicher Weise dargestellt und kann als Bericht ausgedruckt werden.
2. Ermittlung von Leitparametern einer Abfallart:
 - Typische Schadstoffe einer Abfallart und deren Konzentrationsbandbreite,
 - Schadstoffmuster (Art und Menge) abhängig vom Entstehungsprozess des Abfalls,
 - Zeitabhängige Änderungen der Schadstoffzusammensetzung (Art und Menge).
3. Auffinden umweltverträglicher Verwertungs- und Beseitigungswege (»Grenzwertvergleich«).

Die Abfallanalydatenbank ABANDA ermöglicht so die zeitnahe Bearbeitung abfallwirtschaftlicher Fragestellungen /HEG 99, STR 97/. Daher wird ABANDA in NRW beim LUA und seit 1997 bei den im abfallwirtschaftlichen Vollzug tätigen Behörden zur Bearbeitung von Entsorgungsnachweisen und Zulassungsbescheiden eingesetzt /MAL 98/. Darüber hinaus beschäftigt sich seit 2001 ein Forschungsvorhaben des BMBF (BMBF-Fördernummer: 1461197) mit dem Ausbau der Abfall-Analydatenbank, um bundesweite Einsatzmöglichkeiten für eine Abfalldatenbank zu schaffen. Im Rahmen dieses Projekts wird ABANDA bereits in Niedersachsen und Hessen eingesetzt.

2 Auslaugversuche zur Bestimmung von Mobilitätsdaten

2.1 Klassifizierung von Auslaugversuchen

Für die oberirdische Ablagerung sind eine Reihe von experimentellen Untersuchungsmethoden erprobt und teilweise in nationalen und internationalen Standardverfahren (NEN, EPA, CEN/TC 292) berücksichtigt. Darüber hinaus haben verschiedene Institutionen in einer Vielzahl unterschiedlicher Laborversuche versucht, das Auslaugverhalten fester bzw. verfestigter Abfälle zu charakterisieren. Die Entwicklung erfolgte dabei im wesentlichen für folgende Anwendungsgebiete /CUL 86, IAWG 97/:

- Genehmigungsverfahren (Klassifikation der Abfälle, Identifizierung von auslaugbaren Bestandteilen)
- Gefährdungsabschätzung (maximale Belastung der Umwelt)
- Technische Gestaltung (Bemessung der Deponie)
- Abschätzung der in situ-Konzentrationen und
- Quantifizierung der Quellen-Parameter für die Verwendung von Transportmodellen

Kurzbeschreibungen der am häufigsten angewendeten Verfahren, ihre Zielsetzungen und Einsatzbereiche finden sich u.a. in /LOE 78, FRA 88, WIE 90, BEC 91, BLA 94, SUE 94, HAG 95, SLO 97, IAWG 97 sowie MOE 00/. Die wichtigsten Auslaugverfahren sind mit ihren Randbedingungen und Parametern im Anhang A.1 zusammengestellt.

In Deutschland wird für feste Abfälle standardmäßig das Deutsche Einheitsverfahren zur Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (DEV-S4, DIN 38 414, T4) angewendet. Ursprünglich für die Kennzeichnung des Elutionsverhaltens von festen, pastösen und schlammigen Materialien im Rahmen der Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen entwickelt, dient das Verfahren heute bundesweit als Grundlage zur Beurteilung eines Abfalles und ist im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für jeden zur Beseitigung vorgesehenen Abfall durchzuführen. Zur Simulierung des Deponieverhaltens eines festen bzw. verfestigten Abfalles ist dieses Verfahren jedoch aus vielerlei Gründen, z. B. aufgrund der Versuchstechnik (hohes Flüssig/Fest-Verhältnis, kurze Versuchsdauer) nur bedingt geeignet. Die Entwicklung eines besser geeigneten, standardisierten Verfahrens ist derzeit noch nicht abgeschlossen.

In den Niederlanden beschäftigt man sich bereits seit mehreren Jahren mit Elutionsverfahren zur Beurteilung fester Abfälle. Dabei wurde besonderer Wert auf die mittel- und langfristige Vorhersage des Elutionsverhaltens gelegt. Ergebnis dieser Arbeiten ist die Notwendigkeit einer Testserie mit Säulen-, Schüttel- und Diffusionstests sowie einem Test zur maximalen Auslaugbarkeit, für die Niederländische Einheitsnormen (NEN) existieren.

Auslaugversuche lassen sich nach /ENC 90/ in zwei Hauptgruppen unterteilen, je nachdem ob die Auslauglösung im Laufe des Versuches erneuert wird oder nicht. Diese beiden Gruppen können weiterhin in verschiedene Kategorien unterteilt werden (Abb. 2.1).

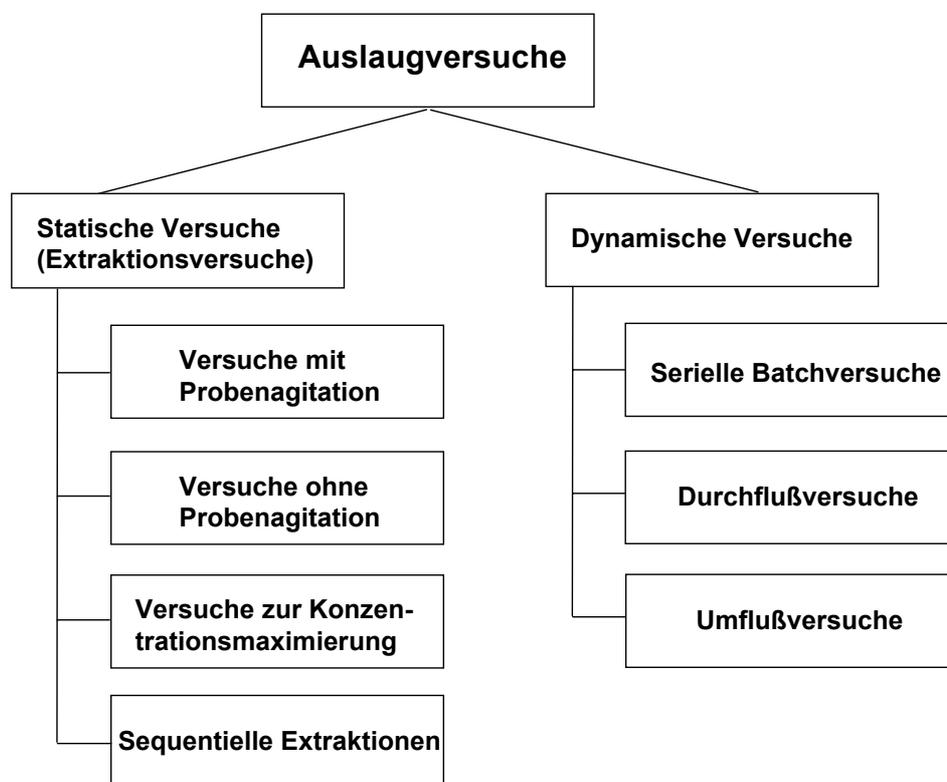


Abb. 2.1 Einteilung von Auslaug- bzw. Extraktionsversuchen nach /ENC 90/

Statische Auslaugversuche – auch als Extraktionsversuche bezeichnet – umfassen alle Versuche, bei denen eine bestimmte Menge an Auslauglösung mit einer gegebenen Abfallmenge für eine festgelegte Zeitdauer in Kontakt gebracht wird, ohne die Auslauglösung zu erneuern. Das Eluat wird vom Feststoff separiert und analysiert, entweder zu bestimmten Zeiten während des Versuches oder, wie in den meisten Fällen, zum Ende

des Versuches. Die wiederholte Eluatanalyse während des Versuches kann wichtige Hinweise auf die Kinetik des Auslaugungsprozesses liefern bzw. ob eine Gleichgewichtseinstellung erfolgt ist. Die Entwicklung des Systems wird meistens bei diesen Versuchen thermodynamisch durch Löslichkeitsgrenzen von bestimmten Festphasen bestimmt.

Dynamische Auslaugversuche umfassen all jene Versuche, bei denen die Auslauglösung kontinuierlich oder diskontinuierlich erneuert wird. Die diskontinuierliche Variante kann wahlweise so durchgeführt werden, dass Auslaugungsphasen (gesättigte Bedingungen) mit trockenen Phasen (ungesättigte Bedingungen) abwechseln. Die Erneuerung der Auslauglösung bei den dynamischen Versuchen dient dem Zweck die Bedeutung von bestimmten Festphasen und damit Löslichkeitsgrenzen für die Entwicklung des Systems einzuschränken. Dynamische Auslaugversuche liefern Informationen zur Kinetik der Auflösung des Feststoffes und des Mobilitätsverhaltens von Schadstoffen. Im Ergebnis erhält man zeitabhängige Konzentrationsdaten.

Die Systematik, die im Rahmen dieses Berichtes verwendet wird, resultiert aus praktischen Erwägungen, weil sie die Art der in der Datenbank erfassten Versuchsdaten direkt widerspiegelt. In AMANDA werden sieben Versuchsarten unterschieden, die sich wie folgt den entsprechenden Kategorien in Bild 2.1 zuordnen lassen.

Tab. 2.1 Art und Kategorie der in der Mobilitätsdatenbank erfassten Versuchsarten

Versuchsart	Art der Versuches	Versuchskategorie
einstufiger Batchversuch einstufiger Batchversuch mit Parametervariation	statisch, Extraktionsversuch	Versuch mit Probenagitation
mehrstufiger Batchversuch	Dynamisch	Serieller Batchversuch
Kaskadenversuch	statisch, Extraktionsversuch	Versuch zur Konzentrations- maximierung
Trogversuch	statisch, Extraktionsversuch	Versuch ohne Probenagitation
Säulenversuch Durchlaufsäulenversuch Umlaufsäulenversuch	dynamisch statisch	Durchflussversuch Versuch ohne Probenagitation
Lysimeterversuch	dynamisch	Durchflussversuch

Einstufige Batchversuche: Bei dieser Versuchsart wird in einem Gefäß eine gewisse Menge eines Feststoffs mit einer definierten Menge einer Lösung in Kontakt gebracht und gegebenenfalls für eine festgelegte Zeit bewegt (z.B. Schütteltisch, Rührer, Überkopfschüttler). Anschließend wird das Eluat vom Feststoff abgetrennt, z.B. durch Filtration oder Zentrifugation, und analysiert. Gelegentlich wird auch der Feststoff chemisch oder mineralogisch analysiert.

Batchversuche mit Parametervariation: Mehrere einstufige Batchversuche, bei denen jeweils ein Parameter, wie z.B. die Temperatur, das Flüssig/Fest-Verhältnis oder andere, in systematischer Weise variiert wird, werden unabhängig voneinander durchgeführt. Zur besseren Auswertung werden diese Versuche in Serien zusammengefasst.

Mehrstufige Batchversuche: Eine festgelegte Feststoffprobenmenge wird mehrfach hintereinander mit jeweils neuer Auslauglösung ausgelaugt und die Eluate einzeln analysiert. Im Versuchsverlauf steigt demnach das kumulierte Flüssig/Fest-Verhältnis stufenweise an.

Kaskadenversuche: Eine Feststoffprobe wird mit einer individuell festgelegten Lösungsmenge in Kontakt gebracht und geschüttelt. Anschließend wird das Eluat filtriert, eine kleine Teilmenge zur Analyse abgetrennt, das Restvolumen bestimmt und dieses Eluat auf eine neue Feststoffmenge gegeben. Pro Kaskade wird im Normalfall ein identisches Flüssig/Fest-Verhältnis verwendet. Die Schadstoffkonzentrationen im Eluat nehmen im Regelfall von Kaskade zu Kaskade zu. Das kumulierte Flüssig/Fest-Verhältnis sinkt stufenweise.

Trogversuche: Eine grobkörnige bzw. großvolumige Feststoffprobe wird mit einer individuell festgelegten Lösungsmenge in Kontakt gebracht und in einem Trog stehen gelassen. Die Lösung wird meistens durch Rühren bewegt, um eine Homogenisierung der Lösung zu erreichen. Eine oder, zeitlich gestaffelt, mehrere Eluatproben werden zu festgelegten Zeiten entnommen. Die Auslaugung der Schadstoffe aus dem Feststoff wird stärker durch diffusive Prozesse bestimmt als bei den anderen Auslaugversuchen.

Bei diesen Versuchsarten kann durch Zugabe von Säure oder Lauge der pH-Wert fest eingestellt werden. Diese sogenannten pH-stat-Versuche stellen keine eigene Versuchskategorie oder -art dar, sondern werden in der AMANDA-Systematik als Varianten der o.g. Versuchsarten behandelt.

Säulen- und Lysimeterversuche: Hierbei wird eine bestimmte Feststoffmenge in Form eines Säulenkörpers kontinuierlich oder diskontinuierlich von einer Auslauglösung (von unten bzw. von oben) durchströmt. Am Ende des Säulenkörpers kann das Eluat zur Analyse entnommen bzw. aufgefangen werden. Bei dieser Versuchsart existieren mehrere Modifikationen des Versuchsaufbaus:

- *Durchlaufversuch:* Bei dieser Versuchsart wird eine Feststoffprobe mit einer Auslauglösung kontinuierlich oder diskontinuierlich durchströmt und am Ende der Säule in Fraktionen zur Analyse aufgefangen. Als unmittelbares Ergebnis erhält man den Konzentrationsverlauf im Eluat über der Zeit bzw. der Lösungsmenge in diskreten Einzelstufen. Konzeptionell ähnelt ein solcher Versuch daher einem mehrstufigen Batch-Schüttelversuch. Dabei sind die jeweils aufgefangenen Eluatfraktionen im Durchlaufsäulenversuch nicht notwendigerweise konstant.
- *Umlaufversuch:* Bei dieser Versuchsart wird die Lösung kontinuierlich durch eine Pumpe im Kreislauf gefördert. Die Versuchsdauern liegen im Bereich von mehreren Wochen. Das Eluat wird in den meisten Fällen nur am Ende der Versuchszeit beprobt. In dieser Form entspricht ein Durchlaufsäulenversuch einem langfristigen einstufigen Batch-Schüttelversuch bei einem vorgegebenen Flüssig/Fest-Verhältnis, ohne allerdings die Probe mit der Lösung zu agitieren.

Die Auswahl der Versuchsart erfolgt bei der Dateneingabe in AMANDA über ein Katalogfeld mit insgesamt sieben Einträgen (Abb. 2.2).

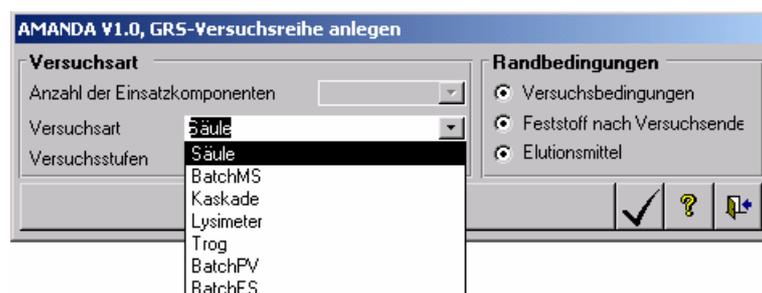


Abb. 2.2 Auswahl der Art des Auslaugversuchs bei der Dateneingabe

Sequentielle Extraktionsversuche, zu denen in der Literatur sowie bei den am Vorhaben beteiligten Organisationen umfangreiche Datensätze vorliegen, wurden aus Kapazitätsgründen zunächst nicht in die Mobilitätsdatenbank aufgenommen. Die Struktur der Datenbank erlaubt aber eine spätere Aufnahme solcher Daten.

2.2 Anforderungen an die Dateneingabe

2.2.1 Allgemeine Anforderungen

Ein wichtiges Ziel ist es, in der Mobilitätsdatenbank nach Möglichkeit sämtliche Parameter zu erfassen, die bei Auslaugversuchen einen Einfluss auf den Grad der Schadstoffmobilisierung haben bzw. haben können. Dies umfasst zum einen sämtliche Parameter, die die Randbedingungen für die Versuchsdurchführung festlegen. Zum anderen betrifft dies Parameter, die den untersuchten Abfall bzw. Feststoff selbst beschreiben. Darüber hinaus sollen die Zusammensetzungen der Eluate der einzelnen Versuchsstufen so vollständig wie möglich erfasst werden, um eine Bilanzierung zu ermöglichen.

In Tabelle 2.2 sind die wichtigsten Versuchsparameter zusammengestellt, die für praktisch alle Versuchsarten von Bedeutung sind. Einige der Parameter können dynamisch sein und sich im Laufe der Versuche verändern (dies gilt immer dann, wenn die Anzahl der Stufen bzw. Eluate größer als 1 ist).

Tab. 2.2 Wichtige allgemeine Versuchsparameter

Parameter	Bemerkung
Versuchsart	genaue Bezeichnung des Auslaugversuchs, siehe Beschreibung der Versuchsarten oben
Anzahl der Stufen	Zahl zwischen 1 und n, gibt die Anzahl der Eluatproben an
Feststoff-Einwaage *	in kg, ggf. ist zwischen Trockengewicht und Einbaugewicht, einschließlich anhaftender Wasserreste, zu unterscheiden
Volumen der Auslauglösung *	in mL
l/s-Verhältnis	Flüssig/Fest-Verhältnis bei der aktuellen Versuchsstufe, Mengenverhältnis zwischen Auslauglösung und Feststoff (in L/kg)
l/s-Verhältnis, kumuliert *	kumuliertes Mengenverhältnis zwischen Auslauglösung und Feststoff bei Versuchsarten mit mehreren Versuchsstufen (in L/kg)
Auslaugdauer *	in Stunden
Temperatur	in °C
Art der Auslauglösung	chemische Zusammensetzung und physikalische Messwerte, wie pH-Wert, Dichte usw.
Art des Feststoffs	Beschreibung, mineralogische und/oder chemische Zusammensetzung

* dynamischer Parameter

Die in der Datenbank abzulegenden Messgrößen der Eluatproben sind in Tabelle 2.3 zusammengestellt. Sie sind im Wesentlichen unabhängig von der Versuchsart. Allerdings ist die Anzahl der Eluatproben von Versuchsart zu Versuchsart unterschiedlich. Bei bestimmten Versuchsarten ist die Anzahl der Eluatproben variabel.

Die Komplexität der Datenbankstruktur erlaubt prinzipiell die Eingabe von bestimmten Daten und experimentellen Parametern an unterschiedlichen Stellen in den Bildschirmmasken. Dadurch besteht die Gefahr, dass wichtige Informationen nicht an den Stellen abgelegt werden, an denen sie bei einer übergreifenden Auswertung abgefragt werden. Um eine strukturierte Eingabe aller notwendigen Daten für die verschiedenen Versuchsarten zu erreichen, wurde eine Checkliste für die Anwender erstellt (siehe Anhang A.2), die genau festlegt, an welchen Stellen bestimmte Informationen abgelegt werden.

Tab. 2.3 Wichtige allgemeine Messgrößen des Eluats

Messgröße	Bemerkung
Eluatmenge, Perkolatmenge	in mL
Dichte des Eluats	in mg/cm ³
pH-Wert des Eluats	
Eh-Wert des Eluats	in mV
Leitfähigkeit des Eluats	in µS/cm
Eluatkonzentrationen (Spezies 1 - n)	Konzentrationen der im Eluat enthaltenen Elemente bzw. Spezies, Angabe in mg/L

Eine vollständige Liste aller Parameter, die in der Datenbank erfasst werden können, ist im Anhang A.3 aufgeführt.

2.2.2 Versuchsarten-spezifische Anforderungen

In den nachfolgenden Abschnitten sind für die einzelnen Versuchsarten spezifische Anforderungen an die in der Datenbank zu erfassenden Parameter, die über die im voranstehenden Abschnitt genannten allgemeinen Anforderungen hinausgehen, detailliert beschrieben. Tabelle 2.4 zeigt in Kurzform eine Übersicht über die Relevanz verschiedener Parameter für die Auswertung der Versuchsergebnisse bzw. zu deren besseren Interpretation.

Tab. 2.4 Relevanz der Parameter für die Auswertung von Auslaugversuchen

Versuchsbedingung	Untersuchungsmethode zu Auslaugversuchen				
	Batch	Trog	Kaskade	Säule	Lysimeter
1. Versuchsart					
Versuchsart	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Durchströmrichtung				✓✓✓	✓✓✓
Wassersättigung				✓✓✓	✓✓✓
2. Apparatur					
Versuchsbehälter		✓	✓✓	✓✓	✓✓
Behältervolumen		✓		✓✓	✓✓
Gefülltes Volumen				✓✓	✓✓
Durchmesser				✓✓	✓✓
Höhe				✓✓	✓✓
Breite				✓✓	✓✓
Länge				✓✓	✓✓
Gasatmosphäre	✓✓	✓	✓✓		
Agitation	✓✓		✓✓		
Anzahl Umdrehungen	✓✓	✓	✓✓		
Filtermaterial				✓	✓
Filter/Kies – oben				✓	✓
Filter/Kies – unten				✓	✓
3. Elutionsmittel					
Elutionsmittel	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
4. Feststoffprobe					
Probenzustand (bei Einbau)		✓✓		✓✓	✓✓
Probenaufbereitung	✓	✓		✓	✓
5. Menge/Masse					
Feststoffeinwaage	✓✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Wassergehalt	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Trockengewicht	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Elutionsmittel-Menge	✓✓✓	✓✓		✓✓	✓✓
Elutionsmittel-Masse			✓✓✓		
Eluat-Menge	✓✓✓	✓		✓✓✓	✓✓✓
Eluat-Masse			✓✓✓		
l/s-Verhältnis	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
l/s-Verhältnis, kumuliert			✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
6. Zeit					
Versuchsdauer gesamt	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓
Versuchsdauer Stufe			✓	✓✓	✓✓
Versuchsbeginn					
Versuchsende					
Säule gesättigt				✓✓	✓✓
7. Sonstige					
Beprobungsintervall				✓✓	✓✓
Anzahl der Proben					

- ✓✓✓ Parameter für Auswertung notwendig, daher Parametereingabe notwendig
- ✓✓ Parameter für Verständnis des Versuchs hilfreich, Eingabe nicht unbedingt erforderlich
- ✓ Parameter kann zur Dokumentation eingegeben werden

2.2.2.1 Einstufige Batchversuche

Einstufige Batchversuche sind weitgehend standardisiert /SLO 97, IAWG 97, MOE 00/, wodurch die experimentellen Randbedingungen festgelegt sind. Solche Verfahren, wie z.B. das DEV-S4-Verfahren, werden routinemäßig im Rahmen des Entsorgungsvollzugs zur Untersuchung von Abfällen angewendet. Bei bestimmten Untersuchungen werden diese Standardverfahren je nach Fragestellung leicht modifiziert und in ihren Randbedingungen angepasst.

Diesem Versuchstyp liegt die Annahme zugrunde, dass innerhalb der Versuchsdauer, die typischerweise 24 h beträgt, eine Gleichgewichtseinstellung zwischen Feststoff und Lösung erfolgt ist. Kinetische Informationen zur Auslaugung durch wiederholte Probennahmen während des Versuchs sind nur unter Schwierigkeiten zu erhalten. So muss sichergestellt werden, dass sich die Wechselwirkungen zwischen Feststoff und Auslauglösung, die von experimentellen Einflussgrößen wie z.B. dem l/s-Verhältnis oder der Gasatmosphäre abhängen, durch die Probennahme nicht verändern /IAWG 97/.

Für eine Interpretation solcher Versuche werden in jedem Fall die folgenden Bezugsdaten benötigt:

- Flüssig/Fest-Verhältnis (alternativ Angaben zur Berechnung dieses Wertes wie Masse des eingesetzten Feststoffs und Menge des Elutionsmittels)
- Chemische Zusammensetzung des Feststoffes, ggf. Vorbehandlung
- Art der Auslauglösung bzw. des Elutionsmittels
- Versuchsdauer
- Temperatur

Bei einstufigen Batch-Schüttelversuchen sind darüber hinaus eine Reihe von Einflussfaktoren identifiziert worden. Eine wichtige Größe ist der pH-Wert des Eluats, der die Löslichkeit von einigen Schwermetallionen und die thermodynamische Stabilität bestimmter Mineralphasen steuert. Bei Abfällen mit einem hohen Anteil löslicher – sauer bzw. basisch reagierender – Stoffe kann der Eluat-pH-Wert sehr stark vom pH-Wert der eingesetzten Elutionslösung abweichen, insbesondere wenn diese keine Pufferkapazität besitzt.

Die Redoxbedingungen können ebenfalls einen Einfluss auf die Mobilisierung von Schadstoffen, insbesondere Schwermetallen, ausüben. Je nachdem ob oxidierende oder reduzierende Bedingungen in der Lösung vorliegen, können unterschiedliche Mineralphasen thermodynamisch stabil sein und die Löslichkeit steuern. In den meisten Fällen findet eine Registrierung des Eh-Wertes des Elutionsmittels bzw. Eluats aber nicht statt.

Ferner ist bekannt, dass die Korngröße, d.h. die mit der Lösung in Kontakt stehende Feststoff-Oberfläche, einen Einfluss auf die Auslaugkinetik haben kann (und damit auf die inherente Annahme der Gleichgewichtseinstellung während der Versuchsdauer, s.o.). Die Korngröße kann sich aber unter Umständen im Laufe des Versuchs unkontrolliert ändern. Bei bestimmten Feststoffen können hohe Drehzahlen des Überkopfschüttlers zu einem Abriebeffekt der Feststoffkörner führen, wodurch sich die Oberfläche der Feststoffteilchen erhöht und die Kinetik der Auslaugung verändert. Üblicherweise sind daher in den Versuchen geringe Umdrehungszahlen (< 10/min) vorgeschrieben. Sollten höhere Umdrehungszahlen benutzt worden sein, sind diese in den Datensätzen entsprechend anzugeben.

Bei der Auswertung von einstufigen Batchversuchen interessiert vor allem die Menge an ausgelaugten Inhaltsstoffen in Abhängigkeit vom jeweiligen Flüssig/Fest-Verhältnis (l/s-Verhältnis), dem pH-Wert des Elutionsmittels bzw. des Eluats, der Temperatur, dem Gehalt an bestimmten Spezies in der Lösung oder anderen experimentellen Randbedingungen. Die gemessenen Eluatkonzentrationen der ausgelaugten Inhaltsstoffe werden in mg/L Lösung angegeben. Zur Berechnung der mobilisierten Menge, MM, wird die Eluatkonzentration auf die Menge an eingesetztem Feststoff bezogen. Dazu wird die jeweilige Eluatmenge benötigt, die entweder nominell der eingesetzten Lösungsmenge gleichgesetzt wird oder deren Volumen gemessen wird:

$$MM = \frac{c_{\text{Eluat}} \cdot V_{\text{Eluat}}}{m_{\text{Fest}}} \quad (1)$$

mit:

- MM mobilisierte Schadstoffmenge bezogen auf die Feststoffmenge, in mg/kg
- c_{Eluat} Eluatkonzentration, in mg/L
- m_{Fest} eingesetzte Feststoffmasse, in kg
- V_{Eluat} Eluatvolumen, in L

Der mobilisierte Schadstoffanteil, MA, errechnet sich dann nach

$$MA = \frac{MM}{M - FS} \quad (2)$$

mit:

M-FS Schadstoffmenge im Feststoff, in mg/kg

Die Berechnung der mobilisierten Schadstoffmenge, MM, und des mobilisierten Anteils, MA, erfolgt durch AMANDA. Die Werte werden nach Vorgabe des Benutzers in einer Ergebnismatrix exportiert (siehe Kap. 5.1.2)

2.2.2.2 Mehrstufige Batchversuche

Mehrstufige Batchversuche stellen eine ein- oder mehrfache Wiederholung der einstufigen Versuchsvariante dar, wobei der eingesetzte Feststoff derselbe bleibt und jeweils neue Elutionslösung hinzugefügt wird (Abb. 2.3).

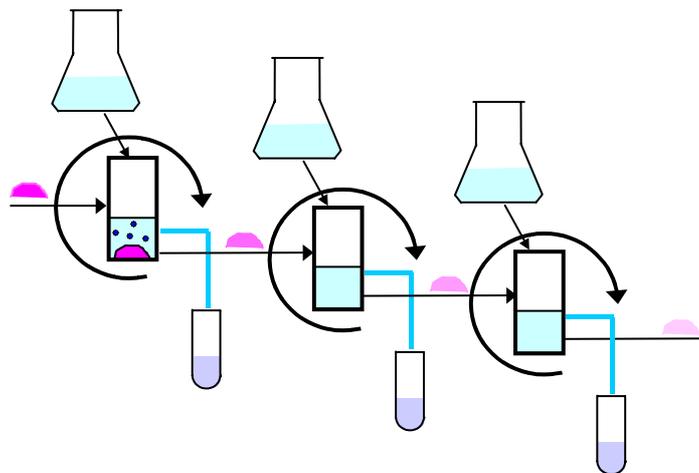


Abb. 2.3 Schema eines mehrstufigen Batchversuches

In Analogie zum Durchlaufsäulenversuch steigt somit das Flüssig/Fest-Verhältnis innerhalb der Versuchsreihe an. Die zunehmenden Flüssig/Fest-Verhältnisse sind mit einer relativen Zeitskala der Stoffauslaugung vergleichbar. Diese Probeneigenschaft lässt sich über mehrstufige Batchversuche einfacher erfassen, als durch die vergleichsweise zeitaufwendigen Säulenversuche, zumal so Probleme bei der Versuchsdurch-

führung wie Randumläufigkeiten, heterogene Durchströmung des Probenmaterials etc. entfallen.

Für derartige mehrstufige Batchversuche existiert derzeit noch keine verbindliche DIN-Verfahrensvorschrift. Auf internationaler Ebene liegen jedoch Verfahrensbeschreibungen für solche Versuche vor (z.B. /NOR 95a, NNI 95a/ s. Anhang Tabelle A.2). Entsprechend den jeweiligen Untersuchungszielen werden die Randbedingungen im allgemeinen stärker modifiziert, als dies bei einstufigen Batchversuchen der Fall ist. Dies betrifft vor allem die Feststoffeinwaage, die Versuchsdauer sowie die Anzahl der Versuchsstufen. Standardrandbedingungen existieren somit nicht.

Generell sind für mehrstufige Batchversuche dieselben Eingangsdaten erforderlich wie für einstufige Batchversuche (vgl. Kap. 2.2.2.1). Bei den erforderlichen Wechseln des Elutionsmittels werden je nach Bearbeiter unterschiedliche Verfahren angewendet (z.B. Dekantieren, Abfiltrieren), bei denen Verluste des Feststoffes bzw. unvollständige Entfernung des Elutionsmittels unvermeidlich sind und somit Abweichungen von der ursprünglichen Feststoffeinwaage bzw. dem beabsichtigten Flüssig/Fest-Verhältnis auftreten. Bestimmungen solcher Verfahrensfehler werden im allgemeinen nicht vorgenommen und die Angaben zu den Versuchsrandbedingungen auch nicht korrigiert. Im Rahmen der Datenvalidierung zu den mehrstufigen Batchversuchen wurden derartige Datenkorrekturen somit auch nicht gefordert, zumal erfahrungsgemäß die damit verbundenen Fehler nicht gravierend für die Versuchsaussage sind.

Das Flüssig/Fest-Verhältnis des einzelnen Versuchsschrittes stimmt nur für die erste Versuchsstufe mit dem kumulativen Flüssig/Fest-Verhältnis überein. Die in der einzelnen Versuchsstufe ausgelaugte Stoffmenge berechnet sich entsprechend Formel (1) jeweils aus der Eluatkonzentration und dem Flüssig/Fest-Verhältnis der jeweiligen Versuchsstufe. Während diese Berechnung (mobilisierte Menge, MM, und mobilisierter Anteil, MA) im Rahmen der in AMANDA integrierten Daten-Auswertungen erfolgt (vgl. Kap. 2.2.2.1), werden Summationen zur Ermittlung des kumulativen Stoffaustrages extern in MS Excel vorgenommen. Auswertungen zur Laugungsdynamik erfordern jedoch (entsprechend den Säulenversuchen) auch die Angabe des kumulativen Flüssig/Fest-Verhältnisses. Es ist daher unbedingt erforderlich, dass beide Werte (Parameter LS und LSK) im Datensatz vorliegen und eingegeben werden.

2.2.2.3 Trogversuche

Zur Bestimmung des eluierbaren Anteils aus Versatzstoffen empfehlen z.B. die Technischen Regeln des Länderausschuss Bergbau /LAB 96/ eine Materialuntersuchung in dem Zustand, in dem es verwertet werden soll. Da mineralische Materialien oft konditioniert und in einem abbindefähigen Zustand eingesetzt werden, ist es auch zur Berücksichtigung der mit dem Abbindeprozess verbundenen Mineralneubildungen sinnvoll, das Schadstofffreisetzungverhalten der Mischungen ebenfalls im abgebundenen Zustand zu untersuchen, zumal aus solchen Stoffen in der Realität die Schadstoffmobilisationen überwiegend über diffusive Austauschprozesse an der Grenzfläche Feststoff-Wasser erfolgen.

In Trogversuchen werden daher Probenkörper aus (meist unter Zusatz von Zement) abgebundenen Abfällen bzw. Abfallmischungen in einem geschlossenen Behälter (meistens Glas) von der Elutionslösung umspült. Unter dem frei in der Lösung stehenden Probenkörper befindet sich im allgemeinen ein Rührer, mit dem die Elutionslösung bewegt wird. Der Probenkörper selbst ist somit keinen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt. Das Elementfreisetzungverhalten aus diesen Probenkörpern bzw. die letztendlich ermittelten Eluatkonzentrationen hängen von den folgenden Versuchsbedingungen ab, die somit auch die erforderlichen Eingabedaten darstellen:

- Flüssig/Fest-Verhältnis (alternativ Angaben zur Berechnung dieses Wertes wie Trockenmasse des eingesetzten Feststoffes und Menge des Elutionsmittels)
- Chemische Zusammensetzung des Abfall-Feststoffes bzw. aller enthaltenen Einsatzkomponenten
- Bei Abfallgemischen prozentuale Anteile der Einsatzkomponenten (die Summe der Einsatzkomponenten muss 100 % betragen, der Anteil eines Zuschlagstoffes wird hierbei nicht berücksichtigt)
- Art des als Abbindemittel zugesetzten Zuschlagstoffes. Eine Angabe zur chemischen Zusammensetzung des Zuschlagstoffes ist nicht vorgesehen. Der Zuschlagstoff wird somit als emissionsneutral betrachtet
- Prozentualer Anteil des Zuschlagstoffes
- Art der Auslauglösung bzw. des Elutionsmittels

- Versuchsdauer
- Temperatur

Die Proben werden üblicherweise im feuchten Originalzustand, d.h. ungetrocknet in das Elutionsmittel eingesetzt. Angaben zu den Wassergehalten bzw. die Trocken- einwaage des Feststoffes müssen vorliegen bzw. bei der Berechnung des Flüssig/Fest-Verhältnisses berücksichtigt worden sein.

Auch für Trogversuche gibt es noch keine verbindlichen Vorschriften zur Versuchsdurchführung. Die Elutionen werden häufig zur Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der Schüttelversuche bei Flüssig/Fest-Verhältnissen von 10 L/kg durchgeführt. Vom Arbeitskreis »6.4.1 Elutionsverfahren für Mineralstoffe« wurden Versuche mit Prüfkörpern von 1 bis 2 kg (Kantenlänge 10 cm) und Wasservolumina von 10 bis 20 Litern vorgeschlagen /FSV 93/, jedoch weichen die Abmessungen der Probenkörper und auch das Flüssig/Fest-Verhältnis häufig von diesen Werten ab. Da die Stofffreisetzung durch Lösungsprozesse an der Oberfläche des Probenkörpers sowie über diffusiven Stofftransport erfolgt, ist die Größe des Probenkörpers von Bedeutung für das Elutionsergebnis. Mit zunehmender Versuchsdauer nimmt der Einfluss dieses Parameters jedoch ab. Da für die meisten Versuche Angaben zur Größe bzw. Geometrie des Probenkörpers nicht vorliegen, wurden Angaben zur Größe des Probenkörpers nur als ergänzende Beschreibung unter »Randbedingungen: Versuchsbedingungen« (siehe Kap. 3.2.2) aufgenommen.

Entsprechendes gilt für die Abbindedauer. Häufig wird zwar ein Abbindezeitraum von 28 Tagen aus der Baustoffprüfung übernommen, jedoch gilt dies nicht für alle Versuche. Eine Auswertung zum Einfluss der Abbindedauer auf die Elutionseigenschaften ist somit mit der vorliegenden Datenbankstruktur nicht möglich.

2.2.2.4 Kaskadenversuche

Der Kaskadenversuch dient zur Maximierung der Eluatkonzentrationen. Dazu wird in jeder Kaskade eine neue Abfallmenge mit dem Eluat der vorangegangenen Kaskade ausgelaugt (Abb. 2.4). Mit fortschreitender Kaskadenzahl stellen sich dadurch immer kleinere Flüssig/Fest-Verhältnisse ein, wodurch in der Regel die Konzentrationen an Abfallinhaltsstoffen in den Eluaten zunehmen /HER 97/.

Diese Versuchsart simuliert ein Volumenelement an Lösung, das durch einen großen Feststoffkörper strömt. Mit solchen Versuchen werden keine kinetischen Informationen erhalten, sondern es wird eine Aufsättigung des Eluats mit bestimmten löslichen Abfallinhaltsstoffen erzielt, wodurch sich auch die Auslaugcharakteristik ändern kann. Solche Versuche dienen hauptsächlich dazu, den Reaktionsverlauf schrittweise untersuchen zu können. Von besonderer Bedeutung für eine Interpretation derartiger Versuche ist daher, dass die Auslaufdauer je Kaskade ausreichend lang ist, um jeweils eine Gleichgewichtseinstellung zwischen Feststoff und Lösung sicherzustellen. Dazu werden üblicherweise Vorversuche durchgeführt, die in den wissenschaftlichen Berichten, deren Daten ausgewertet und in die Mobilitätsdatenbank aufgenommen werden, dokumentiert sein müssen.

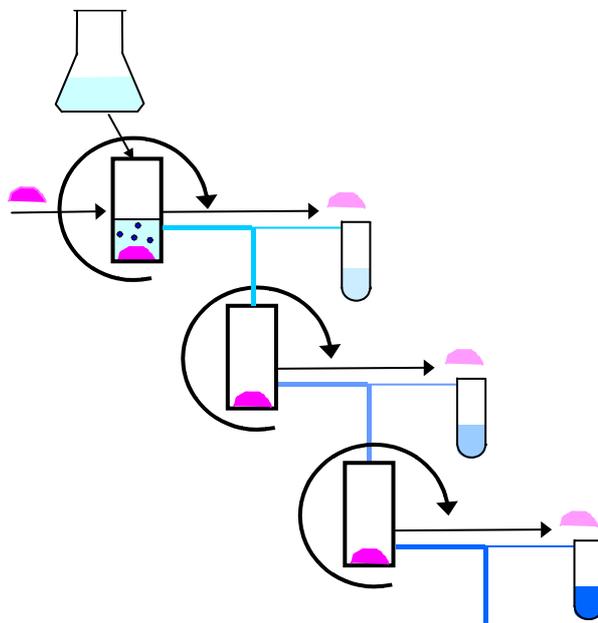


Abb. 2.4 Schema eines Kaskadenversuches

Die primären Daten eines Kaskadenversuches sind im allgemeinen die Elementkonzentrationen der einzelnen Eluate, bezogen auf das kumulierte Flüssig/Fest-Verhältnis in der jeweiligen Kaskade. Dieses berechnet sich aus dem in jeder Kaskade eingesetzten Eluatvolumen und der Feststoffeinwaage pro Kaskade. Bei Kaskadenversuchen werden üblicherweise pro Kaskade einheitliche Massenverhältnisse von Feststoff zu Lösung (Einheit g/g) verwendet. Wegen unvermeidbarer Flüssigkeitsverluste in jeder Kaskade (z.B. muss etwas Lösung für die chemische Analyse entnommen werden) sinken die jeweils eingesetzten Lösungs- und Feststoffmengen.

Für die Auswertung werden in jedem Fall die folgenden Bezugsdaten je Kaskade benötigt:

- Feststoffeinwaage (trocken)
- Chemische Zusammensetzung des Feststoffes
- eingesetztes Volumen und Dichte der Auslauglösung
- Eluatvolumen

Da keine kinetischen Informationen aus Kaskadenversuchen abgeleitet werden können, ist die Zeitdauer pro Kaskade von untergeordneter Bedeutung. Sie sollte aber zur Dokumentation mit dem Datensatz eingegeben werden.

Für die Ergebnisdarstellung müssen die gemessenen Eluatkonzentrationen in den einzelnen Kaskaden (Stufen) auf eine gemeinsame Basis bezogen werden, da sich die Dichten der Lösungen von Kaskade zu Kaskade verändern. Im allgemeinen werden die Konzentrationen auf die im Eluat enthaltene Wassermenge bezogen (dies erleichtert auch einen Vergleich mit den Ergebnissen von geochemischen Modellrechnungen). Dazu wird aus der gemessenen Gesamtionenbilanz und der Dichte des Eluats die freie Wassermenge pro Liter Eluat nach (3) berechnet:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \cdot \rho_{\text{Eluat}} - \frac{\sum_i c_i}{1000} \quad (3)$$

mit:

$m_{\text{H}_2\text{O}}$ Menge an H_2O im Eluat, in mg/kg

ρ_{Eluat} gemessene Dichte des Eluats, in kg/L

c_i gemessene Konzentration eines Ions i im Eluat, in mg/L

Bei der Berechnung der kumulierten Flüssig/Fest-Verhältnisse für die einzelnen Kaskaden (Parameter LSK, Einheit L/kg) ist zu berücksichtigen, dass üblicherweise in jeder Kaskade konstante Massenverhältnisse von Auslauglösung und Feststoff (kg/kg) verwendet werden, sich aber die Dichten der Eluate, die in der nächsten Stufe als Eluens eingesetzt werden, von Stufe zu Stufe verändern.

$$l/s_{\text{kum},n} = \sum_{i=1}^n \frac{m_{\text{Eluens},i}}{\rho_{\text{Eluat},i-1} \cdot m_{\text{Fest},i}} \quad (4)$$

mit:

$l/s_{\text{kum},n}$ kumuliertes Flüssig/Fest-Verhältnis der n-ten Kaskade, in L/kg

$m_{\text{Eluens},i}$ in der i-ten Kaskade eingesetzte Masse an Eluens, in kg

$\rho_{\text{Eluat},i-1}$ gemessene Dichte des Eluats in der i-1-ten Kaskade, in g/cm^3

$m_{\text{Fest},i}$ in der i-ten Kaskade eingesetzte Feststoffmasse, in kg

Die Masse des feuchten Bodenkörpers berechnet sich nach Formel (5). Damit werden vereinfachend auch alle übrigen Flüssigkeitsverluste, wie durch Anhaftungen an Wandungen usw., dem feuchten Bodenkörper zugerechnet:

$$m_{\text{BK,feucht}} = m_{\text{Eluens}} + m_{\text{Fest}} - m_{\text{Eluat}} \quad (5)$$

mit:

$m_{\text{BK,feucht}}$ berechneter Wert für die Masse des feuchten Bodenkörpers, in kg

m_{Eluens} in der Kaskade eingesetzte Masse an Eluens, in kg

m_{Fest} in der Kaskade eingesetzte Feststoffmasse, in kg

m_{Eluat} in der Kaskade abfiltrierte Masse an Eluat, in kg

Der Flüssigkeitsverlust wird vereinfachend aus der eingesetzten Eluensmasse und der Masse des erhaltenen Eluats berechnet.

2.2.2.5 Säulen- und Lysimeterversuche

Säulenelutionsversuche werden üblicherweise als kleinmaßstäbliche Laborversuche bei relativ großen Flüssig/Fest-Verhältnissen durchgeführt. Diese Versuchsansätze können aufgrund der meist nur kurzen Versuchszeiten und den hohen hydraulischen Gradienten die komplexen Wechselwirkungen zwischen Wasser- und Festphase auch nur eingeschränkt wiedergeben. Diese Abhängigkeiten bedingen z.T. große Unterschiede zwischen Langzeitgroßversuchen und Laboruntersuchungen.

Mit Hilfe von Lysimeterversuchen kann bei *geringen* Flüssig/Fest-Verhältnissen, *langen* Versuchszeiten und *geringer mechanischer Beanspruchung* untersucht werden,

- ob und in welchem Ausmaß die Schadstoffmobilität in Abfällen durch langfristige Mineralreaktionen beeinflusst wird und
- wie sich die Schadstoffkonzentrationen im Initialstadium der Laugung (geringes Flüssig/Fest-Verhältnis) verhalten,

Bei Säulen- und Lysimeterelutionen wird eine Feststoffprobe mit einem Elutionsmittel durchströmt, wobei mehrere Modifikationen des Versuchsaufbaus existieren (Abb. 2.5).

Innerhalb der verschiedenen Versuchssysteme sind die Lysimeterversuche mit vorherrschend inkonstanter Perkolation als Spezialfälle der Säulenversuche anzusehen. So simuliert z.B. ein in-situ-Großlysimeter ein *offenes Wasserkreislaufsystem* mit diskontinuierlicher Perkolation und *variablem* Flüssig/Fest-Verhältnis, der Standardlysimeter im Labor kann jedoch auch als Versuch mit *geschlossenen Wasserkreislauf* und *konstantem* Flüssig/Fest-Verhältnis eingesetzt werden (siehe auch Versuchsbeschreibung im Anhang A.1.2).

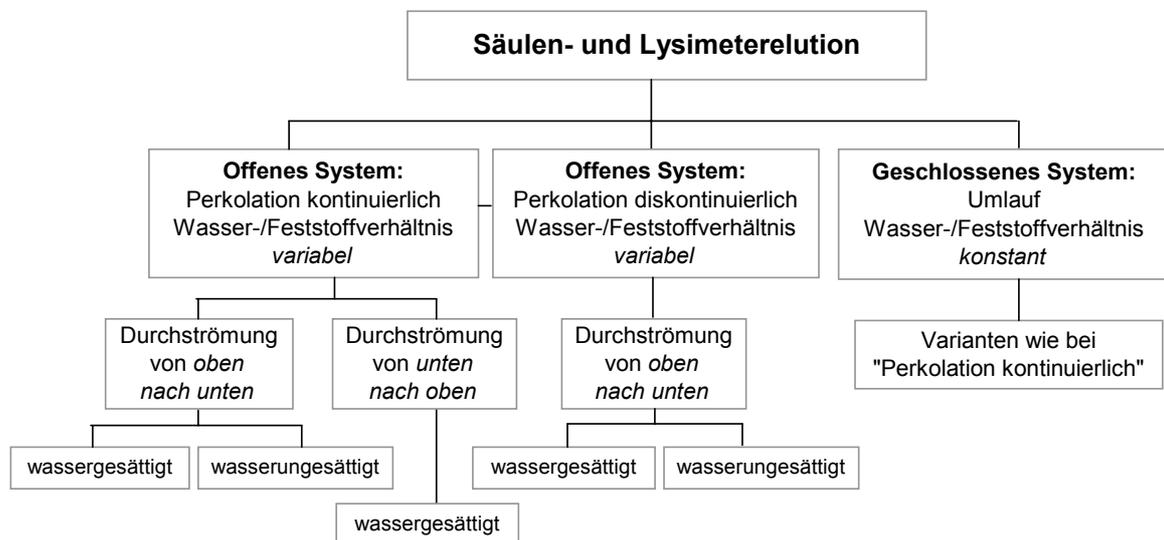


Abb. 2.5 Modifikationen von Säulen- und Lysimeterversuchen

Ziel einer Perkolation ist der Austausch von Wasser, erzeugt wird ein permanenter Ungleichgewichtszustand. Ziel einer Umlauflösung ist eine Aufsättigung und die Annäherung an einen Gleichgewichtszustand.

Die Versuchsapparaturen selbst können für unterschiedliche Probentypen ausgelegt sein und aus verschiedenen Materialien bestehen (siehe Tabelle 2.5).

Die Größe der Säulen und damit der untersuchten Feststoffmengen kann zwischen wenigen Gramm und mehreren Kilogramm variieren. Die Größe der Säulen und die Probenmenge sollte einen Bezug zu der Körnigkeit der eluierten Materialien aufweisen (z.B. Säulendurchmesser 30- bis 50-fache des mittleren Korndurchmessers).

Tab. 2.5 Übliche Probentypen und Versuchsapparaturen für Säulen- und Lysimeterversuche

Versuchsapparatur	Probentyp	Beschreibung
Glassäule	Lockermaterialien mit organischen Kontaminanten	Einfüllung des Materials zwischen Filterplatten oder Filtersand trocken oder als Suspension
Kunststoffsäulen	Lockermaterialien mit anorganischen Kontaminationen	Einfüllung des Materials zwischen Filterplatten oder Filtersand trocken oder als Suspension
Triaxialzelle	Verfestigte Feststoffe	Einrichtung mit flexibler Manschette zur Verhinderung von Randumläufigkeiten
Kunststoffummantelung	Verfestigte Feststoffe mit geringer Probengröße	Umgießen des Probenkörpers mit einer Kunststoffmasse
Druckzelle	Lockermaterialien	Durchströmung unter Auflastdruck
Lysimeter	Lockermaterialien/ Suspension	Einfüllung des Materials über Filterschicht

Als Elutionsmittel können - abgesehen von entionisiertem Wasser (Deionat) - Wässer jeglicher Mineralisation in Abhängigkeit vom Standort bzw. der Fragestellung eingesetzt werden. Im Spezialfall der Großlysimeter dient die natürliche Bewitterung (Niederschlag) als Elutionsmittel. Wenn die Proben hohe Salzgehalte aufweisen oder

im Falle von Salzfrachten im Elutionsmittel müssen diese bei einer Bilanzierung von Lösungen und Fällungen bekannt sein und berücksichtigt werden.

Bei Säulenelutionen verändern sich die Porenlösungsfrachten zwangsläufig sowohl in Abhängigkeit von der Perkolationsdauer als auch im Säulenprofil. Während bei einer aufwärts gerichteten Durchströmung der Probe der basale Teil unbefrachteten Lösungen ausgesetzt ist, wird der obere Teil möglicherweise von zum Teil gesättigten Lösungen durchströmt. Diese Inhomogenität tritt zusammen mit einem durch den ständigen Austausch der Porenlösungen bedingten Ungleichgewicht des Feststoffes mit der Lösung auf und entspricht auch weitgehend dem Realfall. Es ist somit davon auszugehen, dass sich die Konzentrationen von leichtlöslichen Komponenten mit der Länge der Sickerstrecke kontinuierlich erhöhen, bis eine Sättigung erreicht ist. Umgekehrt kann es zur Ausfällung kommen, sobald das Sickerwasser an einer Komponente (z.B. Gips) übersättigt ist.

Die primär zu erfassenden Daten eines Säulenversuches sind im allgemeinen die Elementkonzentrationen der einzelnen Elutionslösungen. Die Auswertung des Versuches hängt von dem eingesetzten Versuchstyp und der Zielstellung ab. Benötigt werden in jedem Fall die folgenden Bezugsdaten:

- zu der Säulenfüllung Feststoffeinwaage (trocken)
 Chemische Zusammensetzung des Feststoffes
- zu den Probenahmen Perkolatvolumen
 evtl. Datum/Uhrzeit bzw. Versuchsdauer
- zur Versuchsdurchführung Durchströmungsart
 Durchströmungsrichtung

Eine Auswertung der Daten von Säulen- und Lysimeterelutionsversuchen erfolgt überwiegend über den Bezug zum Flüssig/Fest-Verhältnis, das sich aus dem Perkolatvolumen und der Feststoffeinwaage berechnet (L/kg). So können die aus dem Versatzmaterial ausgetragene Schadstoffmengen (mg/kg) bzw. die mobilisierten Schadstoffanteile (%) des Feststoffgehaltes ermittelt werden (vgl. Formeln (1) und (2), Kap. 2.2.2.1), die für den Vergleich der verschiedenen Elutionsverfahren von Bedeu-

tung sind. Das Flüssig/Fest-Verhältnis entspricht dabei wiederum einer Zeitachse (siehe Kap. 2.2.2.2).

Wie vergleichende Untersuchungen verschiedener Autoren zeigen, sind Ergebnisse, die mit Säulen- bzw. Lysimeterversuchen erzielt werden im allgemeinen schlecht reproduzierbar /FRI 88, FAU 90, OBE 92/. Demzufolge ist ein direkter Vergleich mit anderen Versuchsarten auch bei Berücksichtigung des gleichen Flüssig/Fest-Verhältnisses bzw. weiteren Versuchsparametern (Temperatur, pH-Wert u.a.) nur bedingt möglich. Dies liegt u.a. darin begründet, dass eine gleichmäßige, reproduzierbare Befüllung der Säule bzw. des Lysimeters nicht gegeben ist, und sich daher bevorzugte Wasserwege ausbilden können, Wandeffekte auftreten oder bei langen Versuchszeiten mikrobiologische Prozesse stattfinden können. Für die Auswertung sowie für eine vergleichende Betrachtung von Elutionswerten aus verschiedenen Versuchen ist es daher bei Säulen- und Lysimeterversuchen besonders wichtig neben den o.a. Bezugsdaten weitere Versuchsrandbedingungen wie Schüttdichte, Porosität, Mischungsverhältnis (bei mehreren Komponenten) u.a. möglichst vollständig in die Datenbank aufzunehmen (s. auch Anhang A.1.2).

Werden Großlysimetertests unter realen Bedingungen durchgeführt, ist zur Registrierung der lokalklimatischen Verhältnisse eine Wetterstation erforderlich, die Niederschlagsmengen, Temperatur, Feuchte, Verdunstung, Luftdruck, Windrichtung/-geschwindigkeit etc. dokumentiert. Im Labor muss zur Simulation der Niederschlagsverhältnisse der Jahresniederschlag umgerechnet werden auf Tage und über einen zuvor festgelegten Zeitraum verrieselt werden.

3 Aufbau der Datenbank

Die Mobilitätsdatenbank AMANDA basiert auf der Abfallanalysendatenbank ABANDA des LUA NRW, die bereits über zahlreiche Optionen zur systematischen Erfassung und Auswertung von Analysendaten verfügt. Die Aufnahme von Mobilitätsdaten in die bestehende Datenbank ABANDA erforderte weitgehende Anpassungen, die sich insbesondere aus den Anforderungen zur Speicherung von nicht normierten Auslaugversuchen ergeben.

Die Abfallanalysendatenbank ABANDA enthält in der Regel Abfalldaten aus dem abfallwirtschaftlichen Vollzug. Dort werden in der Praxis normierte einstufige Elutionsmethoden zur Untersuchung von Abfällen eingesetzt, z. B. bei der Herstellung von Abfall-Eluaten nach DIN 38 414 Teil 4 (DEV-S 4) oder der Herstellung eines Königswasserauszugs aus Abfällen nach DIN 38 414, Teil 7 (DEV-S 7). In ABANDA werden daher neben den Analysendaten nur Informationen zum verwendeten Normverfahren abgelegt aber nicht die zugehörigen Versuchsbedingungen.

Die Untersuchung des Mobilitätsverhaltens von Abfällen beruht dagegen auf verschiedenartigen, nicht normierten und zum großen Teil mehrstufigen Auslaugverfahren, so dass neben der Beschreibung der chemischen, mineralogischen und physikalischen Kenngrößen der untersuchten Stoffe auch die Beschreibung der Versuchsbedingungen zu den verschiedenen Auslaugversuchen abzuspeichern sind. Die notwendigen Anpassungen von ABANDA beinhalten außerdem die Einrichtung einer Schnittstelle zu MS Excel, um Mobilitätsdaten für weitergehende statistische Auswertungen bereitstellen zu können. Aus der Überarbeitung der Abfallanalysendatenbank zur Aufnahme von Mobilitätsdaten resultiert die Mobilitätsdatenbank AMANDA.

3.1 DV-technische Anforderungen

3.1.1 Darstellung von Auslaugversuchen

In einem Auslaugversuch wird ein Feststoff unter festgelegten Versuchsbedingungen einem Elutionsmittel ausgesetzt. Es resultieren ein oder mehrere Eluate sowie der behandelte Feststoff nach Ende des Versuchs. Den schematischen Versuchsablauf zeigt Abb. 3.1.

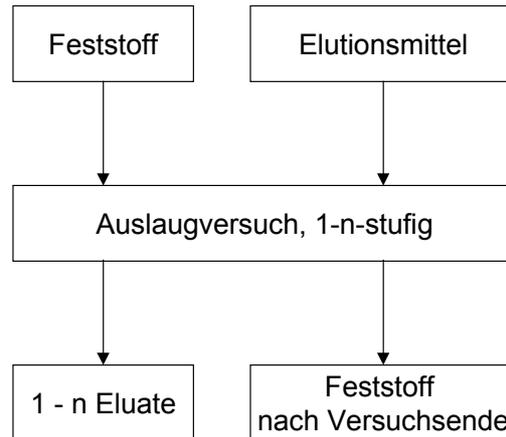


Abb. 3.1 Schematischer Ablauf eines Auslaugversuchs

Ein Auslaugversuch wird also vollständig durch einen Probensatz bestehend aus Feststoffprobe, Elutionsmittel sowie Eluat und Feststoffprobe nach Versuchsende beschrieben. In mehrstufigen Versuchen werden dabei mehrere Eluatproben erzeugt. Für jede Versuchsanordnung sind Zahlenwerte (Messwerte) zur chemischen Zusammensetzung der Proben und zu den physikalischen Kenngrößen der Proben zu speichern. Im Fall der Feststoffproben ist auch die mineralogische Zusammensetzung der Stoffe festzuhalten.

Die Beschreibung der Versuchsbedingungen einer Versuchsanordnung ist komplex aufgebaut und benutzt Informationen, die als Zahl oder als Text abgespeichert werden können. Eine Information des Datentyps »Zahl« ist z. B. die Behälterdimension (Behältervolumen = 1000 mL) während die Art des Versuchsbehälters (Säule) im Datentyp »Text« vorliegt. Datumsangaben z. B. zum Versuchszeitraum werden dem Datentyp »Text« zugeordnet. Darüber hinaus sind einige Versuchsbedingungen je nach Versuchsart dynamisch, d. h. die Versuchsbedingungen ändern sich im Laufe eines Auslaugversuches.

Jede Art von Auslaugversuch weist unterschiedliche Versuchsbedingungen auf, die in Tabelle 3.1 differenziert nach Datentyp (Zahl oder Text/Datum) aufgeführt sind. Einige Texte lassen sich zu Katalogen zusammenstellen, aus denen die gewünschten Informationen entnommen werden können. Diese Texte sind in Tabelle 3.1 mit dem Kürzel »Text (k)« gekennzeichnet.

Tab. 3.1 Datentypen der zu erfassenden Parameter von Auslaugversuchen

Versuchsbedingung		Untersuchungsmethode zu Elutionsversuchen			
Beschreibung	Einheit	Batch	Kaskade	Säule	Lysimeter
1. Versuchsart					
Versuchsart		Text (k)	Text (k)	Text (k)	Text (k)
Durchströmrichtung		--	--	Text (k)	Text (k)
Wassersättigung		--	--	Text (k)	Text (k)
2. Apparatur					
Versuchsbehälter		Text (k)	Text (k)	Text (k)	Text (k)
Behältervolumen	mL	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Gefülltes Volumen	mL	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Durchmesser	cm	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Höhe	cm	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Breite	cm	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Länge	cm	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Gasatmosphäre		Text (k)	Text (k)	Text (k)	Text (k)
Agitation		Text (k)	Text (k)		
Anz. Umdrehungen	/min	Zahl	Zahl	--	--
Filtermaterial		--	--	Text (k)	Text (k)
Filter/Kies – oben	cm	--	--	Zahl	Zahl
Filter/Kies – unten	cm	--	--	Zahl	Zahl
3. Elutionsmittel					
Elutionsmittel		Text (k)	Text (k)	Text (k)	Text (k)
4. Feststoffprobe					
Probenzustand (beim Einbau)		Text	Text	Text	Text
Probenaufbereitung		Text (k)	Text (k)	Text (k)	Text (k)
5. Menge/Masse					
Feststoffeinwaage	g	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Wassergehalt	%	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Trockengewicht	g	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Elutionsmittel-Menge	mL; L	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Elutionsmittel-Masse	g	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Eluat-Menge	mL	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Eluat-Masse	g	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
l/s-Verhältnis		Zahl	Zahl	Zahl	Zahl

Versuchsbedingung		Untersuchungsmethode zu Elutionsversuchen			
Beschreibung	Einheit	Batch	Kaskade	Säule	Lysimeter
6. Zeit					
Versuchsdauer, gesamt	h	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Versuchsdauer, Stufe	h	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
Versuchsbeginn		Datum/Zeit	Datum/Zeit	Datum/Zeit	Datum/Zeit
Versuchsende		Datum/Zeit	Datum/Zeit	Datum/Zeit	Datum/Zeit
Säule gesättigt		--	--	Datum/Zeit	Datum/Zeit
7. Beprobungsintervall					
Beprobungsintervall		Text	Text	Text	Text
8. Anzahl Proben					
Anzahl Proben		Zahl	Zahl	Zahl	Zahl
9. Besonderheiten					
Besonderheiten		Text	Text	Text	Text

Zur Darstellung der Auslaugversuche von Abfällen sind zusammengefasst folgende Anforderungen an die Anpassung von ABANDA zu stellen:

- Zusammenführen der einzelnen Proben einer Versuchsanordnung zu einem Probensatz,
- Ablage der chemischen, physikalischen und mineralogischen Messwerte,
- Ablage der Versuchsbedingungen einer Versuchsanordnung.

3.1.2 Datenselektion zur Auswertung

Die Auswertung von Mobilitätsdaten erfordert es, dass aus dem Gesamtdatenbestand zielgerichtet relevante Daten selektiert und zusammengestellt werden können. Die Datenselektion greift auf ein in ABANDA bereits vorhandenes Werkzeug zurück. Dieses Auswahltool stellt einen Editor zur Erstellung von Abfragen an die Datenbank dar. Als Abfrageergebnis liefert die Datenbank eine Liste mit Proben, die den vorgegebenen Auswahlbedingungen genügen. Da das Abfrageergebnis lediglich Proben auflistet, sind nur Auswahlkriterien sinnvoll, die sich auf Probeneigenschaften beziehen, die zusammen mit der Probe in der Datenbank abgelegt wurden.

Dieser Probenbezug des Auswahltools war bei der Einrichtung der Datenstrukturen zur Speicherung der Versuchsbedingungen zu berücksichtigen, um sicherzustellen, dass erforderliche Auswahlkriterien greifen. Die Maske zur Datenselektion wird in Kapitel 5.1.1 dargestellt.

3.1.3 Datenaufbereitung zur Auswertung unter MS Excel

Weitergehende Auswertungen der Mobilitätsdaten werden in MS Excel ausgeführt. Daher ist es erforderlich in AMANDA eine MS Excel-Schnittstelle einzurichten, die selektierte Daten nach einem vorgegebenen Schema aufbereitet und für den Export bereitstellt. Wichtige Auswertungsgrößen wie die mobilisierte Menge oder der mobilisierte Anteil werden dabei bereits in AMANDA aus den Messgrößen berechnet und zusammen mit den Messwerten exportiert. Die Auswertungsmöglichkeiten in AMANDA beschreibt Kapitel 5.2.

3.2 Datenstrukturen

Die Anforderungen zur Speicherung und Auswertung von Mobilitätsdaten können grundsätzlich mit den in ABANDA vorliegenden Datenstrukturen umgesetzt werden. Die Darstellung der Versuchsbedingungen ist dabei ein Arbeitsschwerpunkt, da in ABANDA bisher nur normierte Auslaugverfahren in eindimensionalen Datenstrukturen abgelegt wurden. Diese Strukturen sind allerdings nicht geeignet für die komplexen Versuchsbedingungen unter denen Mobilitätsdaten gewonnen werden. Jedoch konnten die zur weitergehenden Probenkennzeichnung hierarchisch angelegten ABANDA-Datenstrukturen genutzt werden, um Auslaugversuche aus Mobilitätsuntersuchungen in der Datenbank abzubilden.

3.2.1 Datenstrukturen in ABANDA

In der Abfallanalysendatenbank ABANDA werden Daten zu einem Abfall in drei Ebenen gespeichert (siehe Abb. 3.2).

In Ebene 1 werden zu einem Abfall allgemeine Informationen wie Art, Herkunft und Verbleib des Abfalls gespeichert. Ebene 2 beschreibt einzelne Abfallproben. Zu jedem

Abfallbericht kann eine beliebige Anzahl von Abfallproben erfasst werden, die den Stammdaten des Berichts entsprechen. Jeder Abfallprobe eines Berichtes können Informationen aus folgenden Bereichen zugeordnet werden:

- Untersuchungslabor
- Organoleptik/Probenahme
- Probenkennzeichnung
- Analytik

Dabei werden die Daten zum Bereich Labor, Organoleptik/Probenahme und zur Probenkennzeichnung auf Ebene der Proben (Ebene 2) gespeichert. Die Analysendaten jeder Probe werden auf Ebene 3 in eine Werteliste geschrieben.

Im Bereich Untersuchungslabor kann das Labor, das die Abfallprobe untersucht hat, in die Datenbank über eine Auswahlliste eingetragen werden. Informationen zur Organoleptik und Probenahme werden als Text bzw. katalogisierter Text festgehalten.

Mit Hilfe der Probenkennzeichnung kann jede Abfallprobe mit einer weitergehenden Beschreibung, z. B. zum Abfallentstehungsprozess, versehen werden. Diese Probenbeschreibung verwendet Kataloge, die zweistufig gegliederte Stichworte enthalten. So kann z. B. eine Probe zur Abfallart Gießerei-Altsand (LAGA-Abfallschlüssel 31401) nach Herkunft aus einer Metallgießerei (Stufe 1), die Eisen- oder Nichteisenmetalle (Stufe 2) formt, gekennzeichnet werden. Die Datenstruktur der Probenkennzeichnung erlaubt die Einrichtung beliebig vieler Kataloge mit zweistufigen Stichworteinträgen zu weiteren Themen.

Die Analysendaten zu jeder Abfallprobe werden auf Ebene 3 in einer separaten Tabelle abgelegt. Mit dem chemischen bzw. physikalischen Messwert wird die Versuchsart und der Untersuchungsparameter abgespeichert. Diese Kombination muss dabei für jede Probe eindeutig sein. Die Parameter zur Beschreibung der Messwerte müssen aus einer definierten Parameterliste ausgewählt werden, in der die Parameter eindeutig mit einer Einheit verknüpft sind.

Diese eindimensionale Speicherung der Analysenergebnisse (Versuchsart-Parameter) ist im Bereich von Abfalluntersuchungen für den abfallwirtschaftlichen Vollzug

ausreichend, da hier aus Gründen der Vergleichbarkeit auf genormte Untersuchungsmethoden (Versuchsarten) zurückgegriffen wird.

3.2.2 Datenstrukturen in AMANDA

Die Speicherung der Mobilitätsdaten erfolgt analog zu den Abfalldaten in ABANDA auf drei Datenebenen. Zur Ablage der Versuchsbedingungen werden in AMANDA die Datenstrukturen der Probenbeschreibung auf Ebene 2 genutzt. Eine Gegenüberstellung der Datenstrukturen und der damit verknüpften Inhalte zeigt Abb. 3.2.

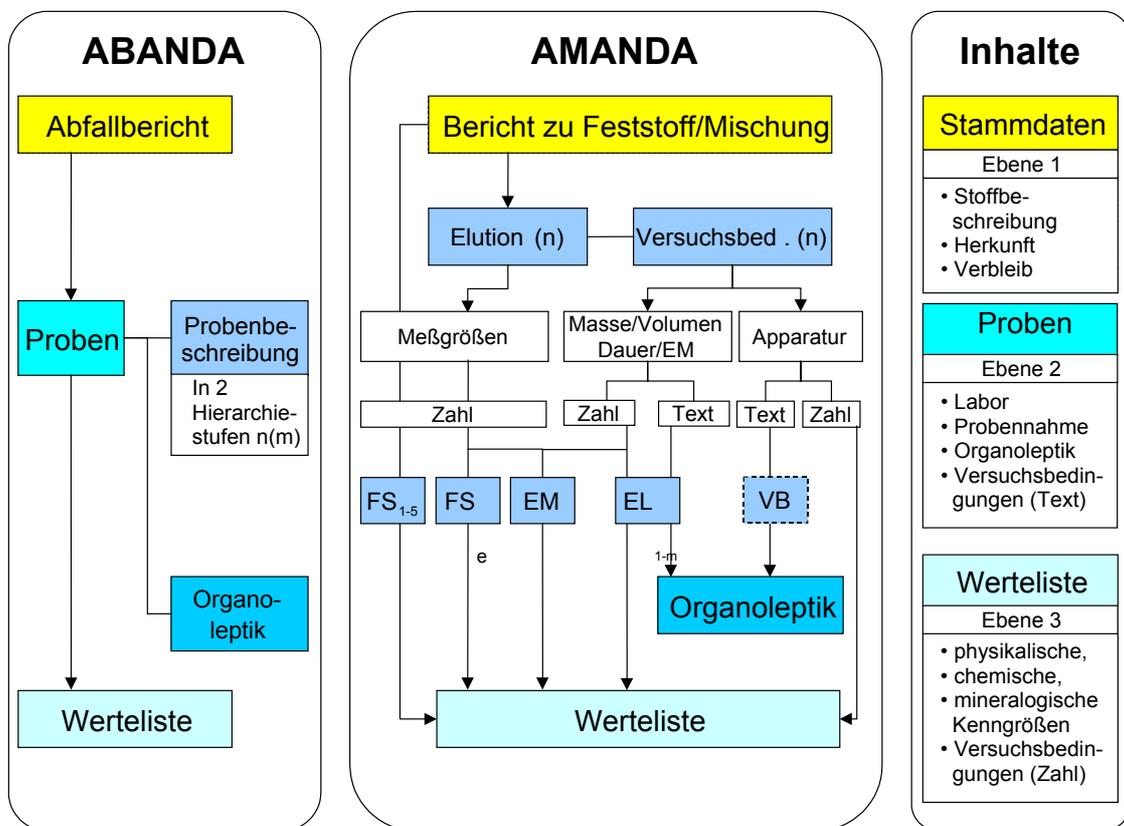


Abb. 3.2 Datenstrukturen und Dateninhalte in ABANDA und der Mobilitätsdatenbank AMANDA

Allgemeine Informationen zum untersuchten Feststoff wie Art, Herkunft und Verbleib werden auf Ebene 1 in einem Bericht abgelegt. Die in einem Bericht abgelegten Elutionsdaten beziehen sich auf jeweils eine Feststoffzusammensetzung. Dabei kann es sich um einen einzigen Feststoff oder um eine Mischung aus maximal fünf ver-

schiedenen Komponenten handeln. In jedem Bericht werden demnach die Zusammensetzungen von einer bis maximal fünf Feststoffproben (FS_1 bis FS_e) abgelegt.

In jedem Bericht können pro Versuchsart 15 unabhängige Elutions-Probensätze mit jeweils bis zu 30 Eluatproben auf Ebene 2 gespeichert werden. Ein Elutions-Probensatz bezieht sich auf eine Elutions-Versuchsordnung (und damit auch auf eine Versuchsart) und kann grundsätzlich folgende Probenarten umfassen:

- Elutionsmittel (EM)
- Eluat 1 bis m (EL_{1-m}) bei m-stufigen Versuchen
- Feststoff nach Versuchsende (FS_e)
- Scheinprobe (VB) zur Speicherung von Versuchsbedingungen, die im Laufe des Versuchs konstant sind und sich z.B. auf Apparategrößen beziehen

Die datentechnische Zuordnung der Probenarten (EM, EL_m , FS_e , VB) zu einem Probensatz einer Versuchsart wird mit Hilfe der Datenstrukturen zur Probenbeschreibung umgesetzt. Dabei kennzeichnet die Probenbeschreibung jetzt nicht die Abfallentstehung, sondern die Probenhierarchie.

Die Versuchsbedingungen zu den verschiedenen Auslaugversuchen in AMANDA werden dabei auf zwei verschiedenen Datenebenen (Ebene 2, Ebene 3) und bei zwei verschiedenen Probenarten (VB, EL_m) in Abhängigkeit vom Datentyp (siehe Tabelle 3.1) abgespeichert. Versuchsbedingungen des Datentyps »Text« werden auf Ebene 2 im Bereich Organoleptik abgelegt, während Versuchsbedingungen des Datentyps »Zahl« auf Ebene 3 in die Werteliste eingetragen werden. Diese Einteilung ergibt sich zwangsläufig aufgrund der vorliegenden Datentypen. Zur Realisierung wurde die zuständige Tabelle auf Ebene 2 um entsprechende Textfelder erweitert. Die Abbildung der Versuchsbedingungen des Datentyps »Zahl« in der Werteliste erforderte eine Ergänzung der Parameterliste um entsprechende Einträge (siehe Tabelle 3.3).

Im Gegensatz zu den Versuchsbedingungen werden Messwerte zu chemischen, mineralogischen und physikalischen Kenngrößen einer Probe (FS , EM, EL_{1-m} , FS_e) einheitlich auf Ebene 3 in der Werteliste abgespeichert. Dazu wurde die Parameterliste entsprechend erweitert.

3.3 DV-technische Umsetzungen

Die Abfallanalytendatenbank ABANDA wurde somit unter Nutzung vorhandener Datenstrukturen zur Aufnahme von Mobilitätsdaten angepasst. Die resultierende Mobilitätsdatenbank AMANDA greift dabei nicht nur auf bestehende Masken zurück, sondern verfügt über zusätzliche Masken, die aufgrund der besonderen Anforderungen an die Speicherung und Auswertung von Mobilitätsdaten eingerichtet wurden. Die dv-technischen Umsetzungen im Bereich Datenauswertung behandelt Kapitel 5.2.

3.3.1 Dateneingabe

Die Datenerfassung erfolgt mittels einer Haupteingabemaske, die in Abb. 3.3 dargestellt ist. Die Stammdaten eines zu untersuchenden Feststoffs werden im Abfallbericht abgelegt, der neben der Probenart Feststoff eine Reihe von Elutions-Probensätzen zu den verschiedenen Arten von Auslaugversuchen enthalten kann. Ein Elutions-Probensatz besteht maximal aus den Probenarten Elutionsmittel, Eluat, Feststoff nach Versuchsende und Versuchsbedingung.

Alle Auslaugversuche beziehen sich auf einen Feststoff, der durch die Probe »Start« charakterisiert wird. Werden Mischungen untersucht, können bis zu fünf Komponenten dieser Mischung als Probe angelegt werden. Der jeweilige Mischungsanteil einer Komponente wird analog zu den Messwerten dieser Probe gespeichert.

Die dv-technischen Umsetzungen werden am Beispiel der Mobilitätsdaten einer Mischung aus Filterstaub und Rauchgasreinigungsrückständen aus der Abfallverbrennung gezeigt. Abb. 3.3 beinhaltet den entsprechenden Abfallbericht mit den zugehörigen Stammdaten im oberen Bildbereich. Der untere Bildbereich stellt die angelegten Probensätze für die verschiedenen Auslaugversuche sowie die Feststoffproben der zwei Mischungskomponenten dar. Die Zweikomponentenmischung wurde einem Kaskaden- sowie einem Trogversuch unterzogen.

Die Kaskadenversuchsreihe wurde zweistufig durchgeführt und beinhaltet außerdem die Probe »Versuchsbedingungen«. Die Möglichkeit, den Probensatz durch die Proben Elutionsmittel und Feststoff nach Versuchsende zu vervollständigen, wurde nicht genutzt. In diesem Fall wurde somit ein Elutionsmittel aus dem entsprechenden Katalog der Datenbank verwendet.

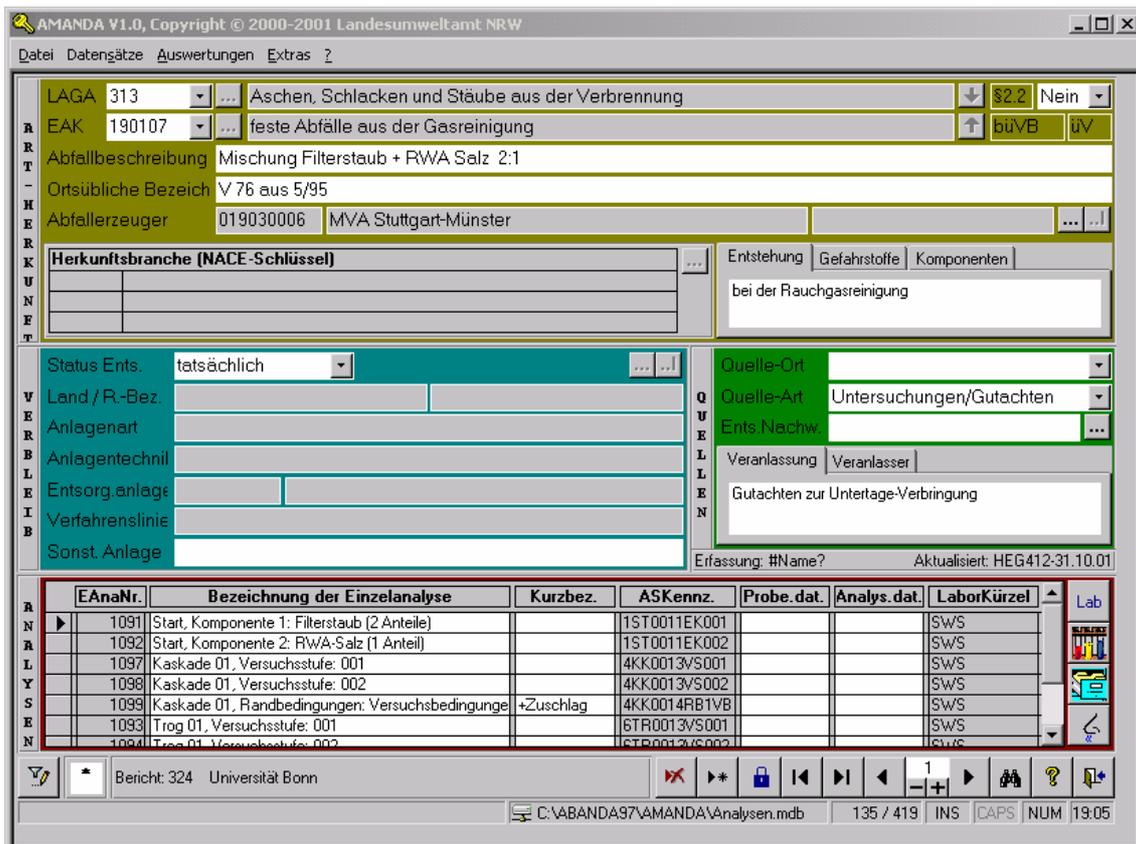


Abb. 3.3 Hauptmaske zur Eingabe von Mobilitätsdaten in AMANDA

3.3.1.1 Anlegen von Probensätzen

Jeder Auslaugversuch wird durch einen Probensatz charakterisiert, der prinzipiell über den Symbolknopf »Karteikasten« im unteren Bereich der Hauptmaske manuell angelegt werden kann. Die Handhabung ist jedoch komplex und fehleranfällig, so dass eine Maske entwickelt wurde, die auf der Grundlage von Benutzereinstellungen automatisch den gewünschten Probensatz anlegt. Abb. 3.4 zeigt die Einstellungen in der Maske »GRS-Versuchsreihe anlegen«, nach denen die Kaskaden-Probenreihe in Abb. 3.3 definiert wurde. Der Benutzer kann die Art des Auslaugversuchs mit maximal 30 Versuchsstufen sowie weitere Probenarten (Versuchsbedingung, Feststoff nach Versuchsende und Elutionsmittel) auswählen. Für jede Versuchsart lassen sich pro Bericht 15 parallele Versuchsreihen mit jeweils bis zu 30 Versuchsstufen, d.h. Eluatproben, einrichten. Die Feststoffproben mit maximal fünf Einsatzkomponenten können nur einmal pro Bericht angelegt werden. Nachträgliche Korrekturen sind mit Hilfe der manuellen Datensatzerstellung möglich.

Die Maske »GRS-Versuchsreihe anlegen« erreicht der Benutzer über die Menüleiste der Haupterfassungsmaske unter Datensätze//GRS-Versuchsreihen.

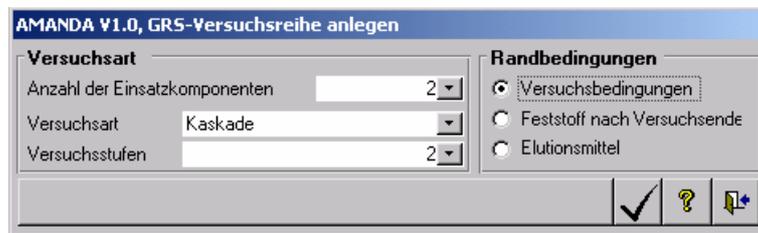


Abb. 3.4 Maske zur automatisierten Erstellung von Probensätzen

3.3.1.2 Ablage der Versuchsbedingungen

Zur Speicherung von Versuchsbedingungen wurde folgende Vereinbarung getroffen. Alle Versuchsbedingungen, die den Aufbau der Versuchsapparatur beschreiben und Gültigkeit über die gesamte Versuchsdauer besitzen, werden der Probe »Randbedingungen: Versuchsbedingungen« (Probe VB) zugeordnet. Hingegen werden alle volumen- und massebezogenen Versuchsbedingungen sowie Angaben zur Versuchsdauer und zum verwendeten Elutionsmittel mit den Eluatproben jeder Versuchsstufe (EL_{1-m}) abgelegt. Diese Vereinbarung geht auf Anforderungen zur Selektion von Mobilitätsdaten zurück, bei der nur Auswahlkriterien greifen, die als Eigenschaften mit den Proben abgelegt wurden.

Versuchsparameter, die als Text oder Datum vorliegen, werden mit Hilfe der Maske »Organoleptik« erfasst, während numerische Versuchsparameter in der Werteliste gespeichert werden, deren Aufruf im nachfolgenden Abschnitt beschrieben wird. Die Maske »Organoleptik« öffnet sich nach Betätigen des Symbolknopfes »Nase« im unteren rechten Bereich der Haupterfassungsmaske (siehe Abb. 3.3). Die Organoleptik-Maske, die um den Bereich »GRS-Versuchsbedingungen« erweitert wurde, zeigt Abb. 3.5. Hier können Angaben zur Apparatur, zum Elutionsmittel, zur Probenbeschreibung und zum Versuchszeitraum eingetragen werden. Dabei kann in vielen Fällen ein Katalogeintrag aus dem entsprechenden Klapplistenfeld ausgewählt werden. Alternativ dazu ist in der Regel eine frei formulierbare Texteintragung möglich.

Organoleptik - Analyse:Kaskade 01, Versuchsstufe: 002, EAna-Nr.

GRS-Versuchsbedingungen | Organoleptik | Probenahme

Apparatur

Versuchsbehälter

Strömungsrichtung

Probenagitation

Gasatmosphäre

Filtermaterial

Elutionsmittel

Elutionsmittel Sole SWS-Sole

Wassersättigung

gesättigt am:

Probenbeschreibung

Probenzustand bei Einbau

Probenaufbereitung

Versuchszeitraum

Versuchsbeginn Beprobungsintervall

Versuchsende

Parametervariation

Parameter

Besonderheiten

Erfassung: ENGELS-12.04.01

Abb. 3.5 Maske zur Erfassung von Versuchsbedingungen des Datentyps »Text« und »Datum«

Eine Sonderstellung unter den Versuchsbedingungen nimmt das Elutionsmittel ein, dessen Angaben bei den Eluatproben der einzelnen Versuchsstufen abgelegt werden. In vielen Auslaugversuchen werden standardisierte Elutionsmittel unterschiedlicher Art eingesetzt. Die Zusammensetzung dieser Standard-Elutionsmittel wird in AMANDA an zentraler Stelle analog zu den ABANDA-Beurteilungslisten erfasst, so dass bei Verwendung eines solchen Elutionsmittels nur der Verweis auf das Elutionsmittel gespeichert werden muss. Die Elutionsmittel werden dabei in die Klassen Deionat, Sole, Grundwasser, Grubenwasser sowie sonstige Elutionsmittel eingeteilt.

Das Beispiel in Abb. 3.5 zeigt, dass der Kaskadenversuch 01 mit einem Standard-Elutionsmittel des Typs »Sole« unter der Bezeichnung »SWS-Sole« durchgeführt

wurde. Nicht standardisierte Elutionsmittel werden durch die Probe »Randbedingungen: Elutionsmittel« eines Probensatzes charakterisiert. In der Maske »Organoleptik« wählt man dann im Bereich »Elutionsmittel« aus der Klappliste den Eintrag »s. Probe EM«.

3.3.1.3 Ablage von Parametern des Datentyps »Zahl«

Parameter des Datentyps Zahl werden einheitlich für alle Probenarten, d.h. für die Proben »Randbedingungen: Versuchsbedingungen«, »Randbedingungen: Elutionsmittel«, »Randbedingungen: Feststoff n. Vers.Ende« sowie für die Eluatproben der Versuchsstufen, nach Betätigen des Symbolknopfes »Reagenzgläser« im unteren rechten Bereich der Haupteingabemaske (vergleiche Abb. 3.3) in der Werteliste gespeichert. Diese kann nur Parameter aufnehmen, die zuvor in einer Parameterliste definiert wurden. Anschließend stehen diese Parameter in der Maske »Inhaltsstoffe« (Abb. 3.6) zur Dateneingabe bereit.

Parameter	Versuch	Wert	Gruppe	Analyseverfahren
PH	pH-Wert (20°C)	9,1000	PHYS. KG	
TEMP	Temperatur	20,0000 °C	PHYS. KG	
CD	Cadmium	<	SM	
CR-G	Chrom (gesamt)	<	SM	
CU	Kupfer	<	SM	
HG	Quecksilber	<	SM	
NI	Nickel	<	SM	
PB	Blei	<	SM	
SN	Zinn	<	SM	
TL	Thallium	0,5400 mg/l	SM	
ZN	Zink	<	SM	
LS	Flüssig/Fest-Verhältnis	0,7000 l/kg	VersBed	
LSK	Flüssig/Fest-Verhältnis, kumulativ	1,4000 l/kg	VersBed	
VD-G	Versuchsdauer, gesamt	1344,0000 h	VersBed	

Versuchsart: EI/Sonst
 Parametergruppe: < alle Gruppen >
 Sortierung: Versuchsart/Gruppe/Kürzel

1095 Trog 01, Versuchsstufe: 003
 1096 Trog 01, Randbedingungen: Versuchsbedingungen
 1097 Kaskade 01, Versuchsstufe: 001
 1098 Kaskade 01, Versuchsstufe: 002
 1099 Kaskade 01, Randbedingungen: Versuchsbedingungen

Abb. 3.6 Erfassungsmaske »Inhaltsstoffe« in AMANDA

Die Parameterliste teilt Untersuchungsparameter in Parametergruppen ein, die Tabelle 3.2 zusammenstellt. Die Aufnahme der Mobilitätsdaten erforderte eine Ergänzung der Parameterliste um die Parametergruppen »Versuchsbedingungen«, »Minerale« und »Zuschlagstoffe«. Die gesamte, derzeit gültige Parameterliste ist der Anlage A.3 beigelegt. Die Parametergruppe »Minerale« wurde aufgenommen, um die

mineralogische Zusammensetzung der Feststoffe abbilden zu können. Die Parameter der restlichen Parametergruppen in Tabelle 3.2 werden zur chemischen und physikalischen Charakterisierung der Untersuchungsproben eingesetzt.

Tab. 3.2 Parametergruppen in der Mobilitätsdatenbank

GruppeNr	GruppeKurzname	GruppeLangname
1	ANION	Anion
2	AROMAT	Aromat
3	AS-GRUPPE	Arsen-Gruppe
4	BIOL. KG	Biologische Kenngröße
5	CHEM. KG	Chemische Kenngröße
6	CKW	CKW (chlorierte Kohlenwasserstoffe)
7	DIOXIN	Dioxine/Furane
8	ELEMENT	Element
9	KATION	Kation
10	KW	Kohlenwasserstoff (allgemein)
11	PAK	PAK (polycyclische aromatische Kohlenstoffe)
12	PCB	PCB (polychlorierte Biphenyle)
13	PHYS. KG	physikalische Kenngröße
14	PST	Pestizide
15	SALZ	Salze
16	SM	Schwermetalle
17	STICKSTOFF	Stickstoffe
18	TENSIDE	Tenside
19	OXID	Oxide
21	SP-TYPVERB	sprengstofftypische Verbindungen bzw. deren Abbauprodukte
22	Phenole	Phenole
24	BKW	bromierte Kohlenwasserstoffe
25	EM	Edelmetalle
26	Minerale	Mineralphasen
27	VersBed	GRS-Versuchsbedingungen
28	LanthActin	Lanthanoide und Actinoide
29	Zuschlag	Zuschlagstoffe

Die Parameter der Gruppe »GRS-Versuchsbedingungen« charakterisieren die Versuchsbedingungen des Datentyps »Zahl«, unter denen Auslaugversuche an Abfällen durchgeführt werden. Eine Zusammenstellung dieser Parameter enthält Tabelle 3.3.

Tab. 3.3 Parameter der Gruppe »GRS-Versuchsbedingungen«

Kürzel	Parameter	Einheit
BVOL	Behältervolumen	L
GVOL	Gefülltes Volumen	L
ZUM	Zahl der Umdrehungen	/min
BDM	Behälter-Durchmesser	cm
BHOE	Behälter-Höhe	cm
BBR	Behälter-Breite	cm
BLAN	Behälter-Länge	cm
VD-ST	Versuchsdauer je Stufe	H
VD-G	Versuchsdauer, gesamt	H
M-TS	Einwaage: Masse, trocken	kg
EM-Men	Elutionsmittel-Menge	L
EM-Mas	Elutionsmittel-Masse	kg
EL-Men	Eluat-Menge	L
EL-Mas	Eluat-Masse	kg
LS	Flüssig/Fest-Verhältnis	L/kg
LSK	Flüssig/Fest-Verhältnis, kumulativ	L/kg
M-OF	Einwaage: Masse, originalfeucht	kg
PH-STAT	Versuch unter statischem pH-Wert	
KOMP1	Mischungsanteil der Komponente 1	%
KOMP2	Mischungsanteil der Komponente 2	%
KOMP3	Mischungsanteil der Komponente 3	%
KOMP4	Mischungsanteil der Komponente 4	%
KOMP5	Mischungsanteil der Komponente 5	%

Die Parametergruppe »Zuschlag« enthält standardisierte Zuschlagstoffe zu Abfällen, deren Analytik nicht in AMANDA vorliegt. Wurde ein Abfall mit diesen in Tabelle 3.4 aufgeführten Zuschlagstoffen versehen, so wird der Mischungsanteil dieser Zuschlagstoffe in der Probe »Randbedingungen: Versuchsbedingungen« abgespeichert. Dieser

Mischungsanteil geht jedoch - im Gegensatz zu den Mischungsanteilen der bis zu fünf Feststoffkomponenten (KOMP1 bis KOMP5) - nicht in eine Berechnung bzw. Korrektur der Feststoffzusammensetzung ein.

Tab. 3.4 Parameter der Gruppe »Zuschlag«

Kürzel	Parameter	Einheit
Z-CEM	Feststoffanteil Zement (unspezifiziert)	%
Z-CEMI	Feststoffanteil Portlandzement (CEM I)	%
Z-CEMII	Feststoffanteil Portlandkomposit-Zement (CEM II)	%
Z-CEMIII	Feststoffanteil Hochofenzement (CEMIII)	%
Z-KALK	Feststoffanteil Gebrannter Kalk	%
Z-GIPS	Feststoffanteil Gips/Anhydrit	%
Z-REA	Feststoffanteil REA-Gips	%
Z-WSA	Feststoffanteil Wirbelschichtasche	%
Z-TFA	Feststoffanteil Trockenfeuerungsflugasche	%
Z-SFA	Feststoffanteil Schmelzfeuerungsflugasche	%
Z-SONST	Feststoffanteil sonstige Zuschlagsstoffe	%
Z-UNBEK	Feststoffanteil unbekannte Zuschlagsstoffe	%

4 Erfasste Daten

4.1 Abfalldaten

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes (Oktober 2001) waren in der Datenbank AMANDA Mobilitätsdaten für 425 verschiedene Abfälle gespeichert. Im Sinne der Zielsetzung des Vorhabens handelt es sich um sorgfältig validierte Daten, die im wesentlichen bei den am Vorhaben beteiligten Institutionen ermittelt wurden /neben bereits zitierten Publikationen siehe auch BRA 95, HER 99, JAE 90, JAE 91, MUE 97a, MUE 97b, PAA 97 und VEE 98/. Auf der Basis dieser Daten kann exemplarisch aufgezeigt werden, in welcher Weise mit Hilfe der Mobilitätsdatenbank wissenschaftliche Fragestellungen untersucht werden können. Es war nicht das primäre Ziel der vorliegenden Arbeit, ein vollständiges Kataster aller in Deutschland veröffentlichten Mobilitätsdaten zu erstellen. Die Autoren sind sich bewusst, dass in Deutschland noch eine große Anzahl wichtiger Untersuchungen mit interessanten Mobilitätsdaten veröffentlicht bzw. durch entsprechende Recherchen verfügbar sind. Die Aufnahme dieser Daten hätte aber den Projektrahmen gesprengt. Allerdings sind mit der Mobilitätsdatenbank AMANDA nunmehr die Voraussetzungen für ein solches Kataster geschaffen worden.

Tabelle 4.1 zeigt eine Zuordnung der Abfälle zu den Abfallgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog. Circa zwei Drittel aller Abfälle, für die Mobilitätsdaten in der Datenbank erfasst worden sind, gehören zur Hauptgruppe der Abfälle und Reststoffe mineralischen Ursprungs. Eine größere Anzahl von Daten liegt auch für die Abfallgruppen »Sonstige Abfälle mineralischen Ursprungs« und für die Abfallgruppe »Salze« vor. Bei all diesen Abfallgruppen handelt es sich nicht nur um mengenmäßig relevante Abfallarten sondern auch um Abfälle, die im großen Maßstab untertage entsorgt werden, sei es in Untertagedeponien oder im Rahmen von Untertageverwertungsmaßnahmen. Bei den Proben, für die keine Zuordnung zu einer LAGA-Abfallgruppe möglich ist, handelt es sich in der Regel um Gemische verschiedener Abfallarten.

Die letzten Zeilen in der Tabelle 4.1 zeigen den Datenbestand zusammengefasst nach der Anzahl von untersuchten Abfallarten im Vergleich zur jeweiligen Gesamtzahl der registrierten Abfallarten in der Abfalloberguppe.

Tab. 4.1 Zuordnung der Abfälle mit Mobilitätsdaten zu Hauptgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog

LAGA-Abfallgruppe	Bezeichnung	Anzahl
0	Keine Zuordnung zu einem Abfallschlüssel möglich	10
311	Ofenausbrüche, Hütten- und Gießereischutt	1
312	Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube	32
313	Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung	226
314	Sonstige feste mineralische Abfälle	41
316	Mineralische Schlämme	24
351	Eisen- und Stahlabfälle	2
353	NE-Metallhaltige Abfälle	2
399	Sonstige Abfälle mineralischen Ursprungs sowie von Veredelungsprodukten	31
511	Galvanikschlämme, Metallhydroxidschlämme	17
513	Sonstige Oxide und Hydroxide	1
515	Salze	25
531	Abfälle von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln	4
941	Schlämme aus Wasseraufbereitung	3
948	Schlämme aus industrieller Abwasserreinigung	6
Obergruppen nach LAGA-Abfallartenkatalog		Anzahl der Abfallarten
1 - Abfälle pflanzlichen, tierischen Ursprungs		0 von 109
3 - mineralische Abfälle		34 von 148
5 - Abfälle aus Umwandlungs- und Syntheseprozessen		14 von 288
9 - Siedlungsabfälle		4 von 39
LAGA - Gesamt		52 von 590
		Anteil
1 - Abfälle pflanzlichen, tierischen Ursprungs		0 %
3 - mineralische Abfälle		23 %
5 - Abfälle aus Umwandlungs- und Syntheseprozessen		5 %
9 - Siedlungsabfälle		10 %
LAGA - Gesamt		9 %

Somit ergibt sich zur Zeit eine recht starke Konzentrierung von Mobilitätsdaten auf wenige Abfallgruppen. Während in der Abfallanalysendatenbank ABANDA für 56 % der im LAGA-Abfallartenkatalog aufgeführten Abfallarten Daten vorliegen (für 331 von 590 Abfallarten, siehe Tabelle 1.1), liegt diese Zahl bei der Mobilitätsdatenbank AMANDA bei nur 9 %.

4.2 Mobilitätsdaten

In Abb. 4.1 sind, aufgeschlüsselt nach Obergruppen des LAGA-Abfallartenkatalogs, die jeweilige Anzahl der in den beiden Datenbanken erfassten Berichte, Proben und Analysenwerte vergleichend gegenübergestellt. Die Anzahl der in AMANDA erfassten Berichte liegt eine bis zwei Größenordnungen niedriger als bei ABANDA. Dagegen beträgt die Anzahl der Proben und Analysenwerte in AMANDA 40 % bzw. 36 % der in ABANDA erfassten Werte. Für jeden untersuchten Abfall sind erheblich mehr Proben- und Analysenwerte gespeichert als bei Abfällen, die im Rahmen des abfallwirtschaftlichen Vollzugs nur mit einfachen Standardversuchen (z.B. nach DEV-S4 oder DEV-S7) untersucht werden.

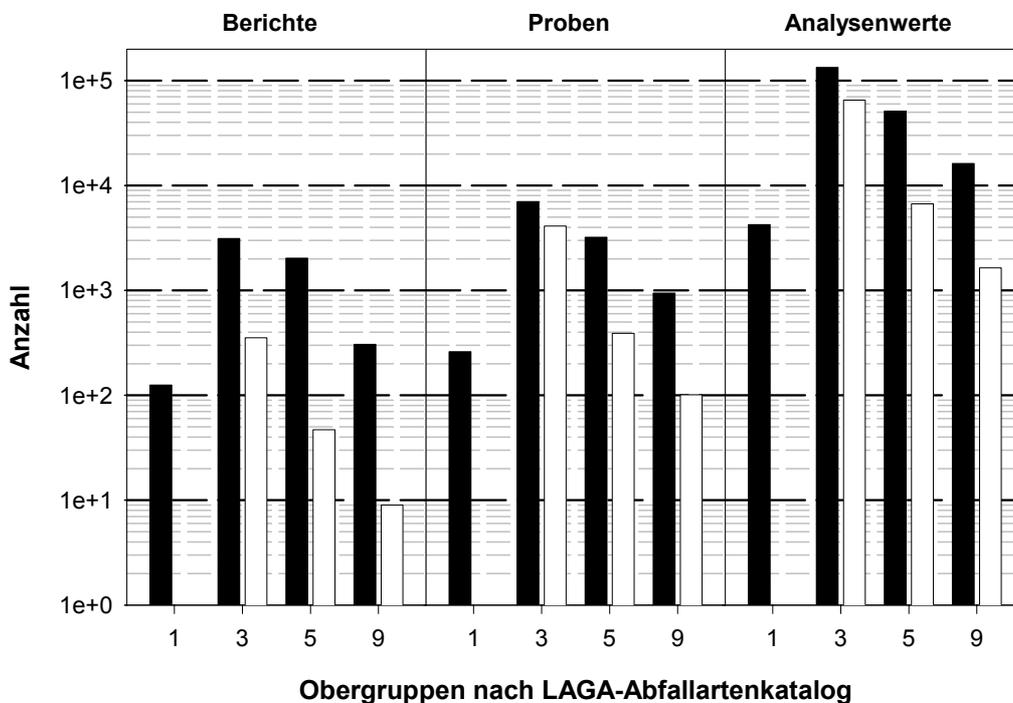


Abb. 4.1 Vergleich der Datenmengen in ABANDA (schwarze Balken) und AMANDA (offene Balken)

Tabelle 4.2 zeigt, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Versuchsarten, die Anzahl der verschiedenen Abfälle (= Berichte), für die entsprechende Eluatproben erfasst worden sind. Darüber hinaus ist die Gesamtzahl aller Eluatproben in Tabelle 4.2 in der zweiten Spalte in Klammern angegeben. Für manche Abfälle gibt es mehrere Versuche einer Versuchsart, z.B. weil in Säulenversuchen unterschiedliche Elutionsmittel verwendet wurden.

Bei den einstufigen Batchversuchen handelt es sich vielfach um Varianten des Standard-DEV-S4-Versuches, bei denen auf Grund der untersuchten Fragestellungen gezielt Abweichungen zum Standardprotokoll vorgenommen wurden (z.B. Verwendung bestimmter Auslauglösungen). Für diesen Versuchstyp liegen die meisten Ergebnisse vor. Solche Ergebnisse von einstufigen Batchversuchen liegen auch bisher schon in großer Zahl in der Datenbank ABANDA vor.

Tab. 4.2 Anzahl von Berichten mit Mobilitätsdaten

	Anz. Berichte (Versuche)	Berichte mit Mobilitätsdaten aus zwei Versuchsarten						
		BVES ¹	BVMS ¹	BVPV ¹	SV ¹	LV ¹	KV ¹	TV ¹
BVES ¹	329 (640)	-	13	12	55	8	16	23
BVMS ¹	86 (193)	13	-	8	10	6	4	1
BVPV ¹	17 (77)	12	8	-	13	1	2	4
SV ¹	58 (144)	55	10	13	-	4	2	4
LV ¹	22 (36)	8	6	1	4	-	0	4
KV ¹	19 (44)	16	4	2	2	0	-	1
TV ¹	29 (88)	23	1	4	4	4	1	-

¹ BVES = Batchversuch einstufig, BVMS = Batchversuch mehrstufig, BVPV = Batchversuch mit Parametervariation, SV = Säulenversuch, LV = Lysimeterversuch, KV = Kaskadenversuch, TV = Trogversuch

Von besonderem Interesse sind Untersuchungen, bei denen für einen Abfall Mobilitätsdaten, die mit unterschiedlichen Versuchsarten gewonnen wurden, vorliegen. Tabelle 4.2 zeigt in den sieben rechten Spalten eine Übersicht über die Anzahl von Berichten, d.h. Abfällen, für die jeweilige Kombination aus zwei Versuchsarten. So ist in der Tabelle abzulesen, dass es von den 58 Abfällen, für die Daten aus Säulenversuchen vorliegen, für insgesamt 55 Abfälle gleichzeitig Mobilitätsdaten aus einstufigen Batchversuchen gibt. Dagegen gibt es nur sehr wenige Abfälle mit Mobilitätsdaten sowohl aus Kaskadenversuchen als auch aus Säulen-, Lysimeter- bzw. Trogversuchen. Für manche Abfälle liegen Daten sogar aus drei oder mehr verschiedenen Versuchstypen vor.

4.3 Elutionsmittel

Art und Zusammensetzung des Elutionsmittels können einen großen Einfluss auf die Mobilisierung von Schadstoffen aus Abfällen haben. Daher werden in AMANDA Angaben zum Elutionsmittel zusammen mit den Mobilitätsdaten gespeichert. Zum einen geschieht dies, indem bei einem Probensatz eine entsprechende »Probe EM« (Elutionsmittel) angelegt wird. Da in vielen Auslaugversuchen aber standardisierte Elutionsmittel verwendet werden, besteht in AMANDA zusätzlich die Möglichkeit, die Zusammensetzung solcher Lösungen zentral als Katalogeintrag abzulegen (siehe Kap. 3.2.2 und 3.3.1). Zur Zeit sind in dem Katalog 57 Elutionsmittel abgelegt, die sich wie folgt auf die einzelnen Elutionsmittelarten aufteilen:

- 6 Solen
- 10 Grubenwässer
- 40 Grundwässer
- 1 sonstige Elutionsmittel

In Tabelle 4.3 ist die Anzahl von Versuchen wiedergegeben, die für die verschiedenen Elutionsmitteltypen pro Versuchsart zur Zeit in AMANDA abgelegt sind.

Tab. 4.3 Anzahl von Versuchen pro Versuchsart und Elutionsmitteltyp

Elutionsmittel	BVES ¹	BVMS ¹	BVPV ¹	SV ¹	LV ¹	KV ¹	TV ¹
Deionat	368	88	25	33	6	7	69
Sole	44	51	25	13	3	29	19
Grundwasser	148	30	11	45	-	8	-
Grubenwasser	57	-	10	52	1	-	-
Sonstige	14	19	-	1	19	-	-
Probe EM	9	5	6	-	7	-	-

¹ BVES = Batchversuch einstufig, BVMS = Batchversuch mehrstufig, BVPV = Batchversuch mit Parametervariation, SV = Säulenversuch, LV = Lysimeterversuch, KV = Kaskadenversuch, TV = Trogversuch

4.4 Batch-Versuche

4.4.1 Einstufige Batchversuche

Für ca. 75% der in der Mobilitätsdatenbank erfassten Abfälle existieren Daten aus einstufigen Batchversuchen. Meist handelt es sich dabei um Versuche, die in Anlehnung an den DEV-S4-Standardversuch durchgeführt wurden, wobei in einigen Fällen Modifikationen vorgenommen wurden. Dies betrifft vor allem das eingesetzte Elutionsmittel, aber auch das Flüssig/Fest-Verhältnis (l/s-Verhältnis) und die Versuchstemperatur wichen gelegentlich von den Vorgaben des Standardversuches ab (Tabelle 4.4).

Tab. 4.4 Mobilitätsdaten aus einstufigen Batch-Schüttelversuchen

	Anzahl der Berichte	Anzahl der Einzelversuche
mit Deionat	305	368
mit Sole	20	44
mit Grubenwasser	52	57
mit Grundwasser	18	148
mit anderen Elutionsmitteln	20	23
Mit l/s-Verhältnis = 10		609
Mit l/s-Verhältnis > 10		6
Mit l/s-Verhältnis < 10		25
bei Raumtemperatur		608
Bei T >= 30 °C		32

Für 83 Abfälle gibt es Daten von einstufigen Batchversuchen mit mindestens zwei unterschiedlichen Elutionsmitteln. Einige wenige Abfälle wurden sogar mit mehr als 10 Grundwässern ausgelaugt. Daraus ergeben sich Möglichkeiten zum direkten Vergleich des Einflusses des Elutionsmittels auf die mobilisierten Schadstoffanteile. In Tabelle 4.5 sind die verfügbaren Datenpaare aufgeschlüsselt nach der Art der Elutionsmittel.

Tab. 4.5 Datenpaare mit Mobilitätsdaten zum Vergleich des Einflusses des Elutionsmittels bei einstufigen Batchversuchen

Kombination von Elutionsmitteln	Anzahl von Datenpaare
Deionat – Sole	34
Deionat – Grundwasser	152
Deionat – Grubenwasser	42
Deionat – übrige Elutionsmittel	17
Sole – Sole	14
Sole – Grundwasser	24

Für 17 Abfälle wurden 77 Serien von Batchversuchen mit insgesamt 244 Proben durchgeführt, bei denen bestimmte experimentelle Randbedingungen in gezielter Weise variiert wurden. Die Häufigkeitsverteilung der verschiedenen variierten Parameter ist in Abb. 4.2 dargestellt. Trotzdem kann die Datenlage nicht als repräsentativ eingestuft werden, da knapp zwei Drittel dieser Werte aus einer systematischen Untersuchung stammen /MOE 00/, bei der lediglich sechs Abfälle eingesetzt wurden.

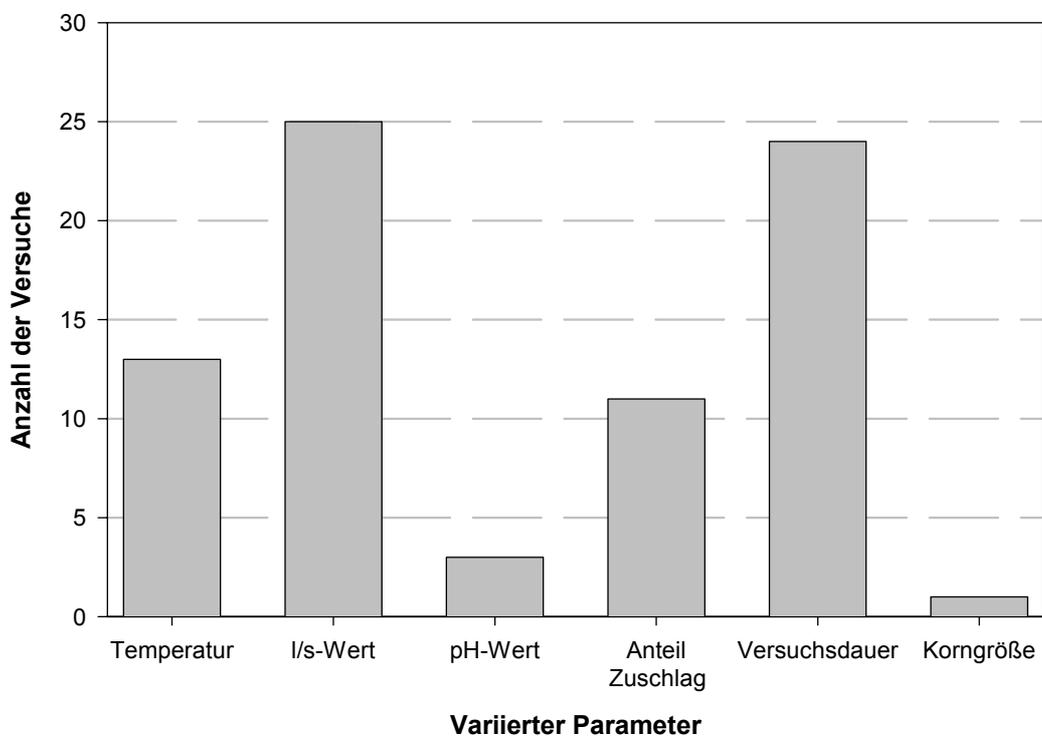


Abb. 4.2 Häufigkeitsverteilung der variierten Parameter bei einstufigen Batchversuchen

4.4.2 Mehrstufige Batchversuche

Die Datenbank enthält in 85 Berichten, d.h. für 85 Abfälle, Analysen von 192 mehrstufigen Batchversuchen (Tabelle 4.6). Bei den meisten Feststoffen (52) handelt es sich um Abfälle mineralischen Ursprungs (LAGA-Abfallartenkatalog Obergruppe 3). Ansonsten liegen vor allem noch umfangreiche Untersuchungsergebnisse von diversen Salzen vor (22 Abfälle der LAGA-Gruppe 515).

Die Anzahl der Versuche je Abfall variiert dabei von nur einem bis zu 11. Im wesentlichen unterscheiden sich die für einen Abfall durchgeführten Versuche in der Wahl des Elutionsmittels. In den meisten Fällen wurden neben Deionat konzentrierte Salzlösungen (Solen) oder Grundwässer eingesetzt (vgl. Kap. 4.3). Die Temperaturabhängigkeit des Elutionsverhaltens wurde lediglich mit 2 Abfällen untersucht.

Tab. 4.6 Zuordnung der mehrstufigen Batchversuche mit Mobilitätsdaten zu Hauptgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog.

192 mehrstufige Batchversuche in 85 Berichten		
LAGA-Abfallgruppe	Bezeichnung	Anzahl
0	Keine Einstufung	5
312	Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube	2
313	Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung	31
314	Sonstige feste mineralische Abfälle	4
316	Mineralische Schlämme	7
399	Sonstige Abfälle mineralischen Ursprungs sowie von Veredelungsprodukten	8
511	Galvanikschlämme, Metallhydroxidschlämme	1
515	Salze	22
531	Abfälle von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln	4
948	Schlämme aus industrieller Abwasserreinigung	1

In 95 % der Versuche wurden die Einzelschritte in Anlehnung an das Standardelutionsverfahren des einstufigen Batchversuches mit einem Flüssig/Fest-Verhältnis von 10 L/kg durchgeführt. Ähnlich wie bei den einstufigen Batch-Versuchen wurden nur

wenige Versuche (< 1%) bei einem sehr geringen Flüssig/Fest-Verhältnis < 3 L/kg durchgeführt, maximal betrug das Flüssig/Fest-Verhältnis des Einzelschrittes 50 L/kg.

Nur wenige Versuche wurden über mehr als fünf Einzelelutionsschritte hinaus durchgeführt (Abb. 4.3). Entsprechend den überwiegend verwendeten Flüssig/Fest-Verhältnissen der Einzelelutionsschritte betragen die zum Versuchsende erreichten kumulierten Flüssig/Fest-Verhältnisse meistens Werte von 20 bis 60 L/kg. Maximal wurde bei den erfassten Versuchen ein Flüssig/Fest-Verhältnis von 200 L/kg erreicht (Abb. 4.4)

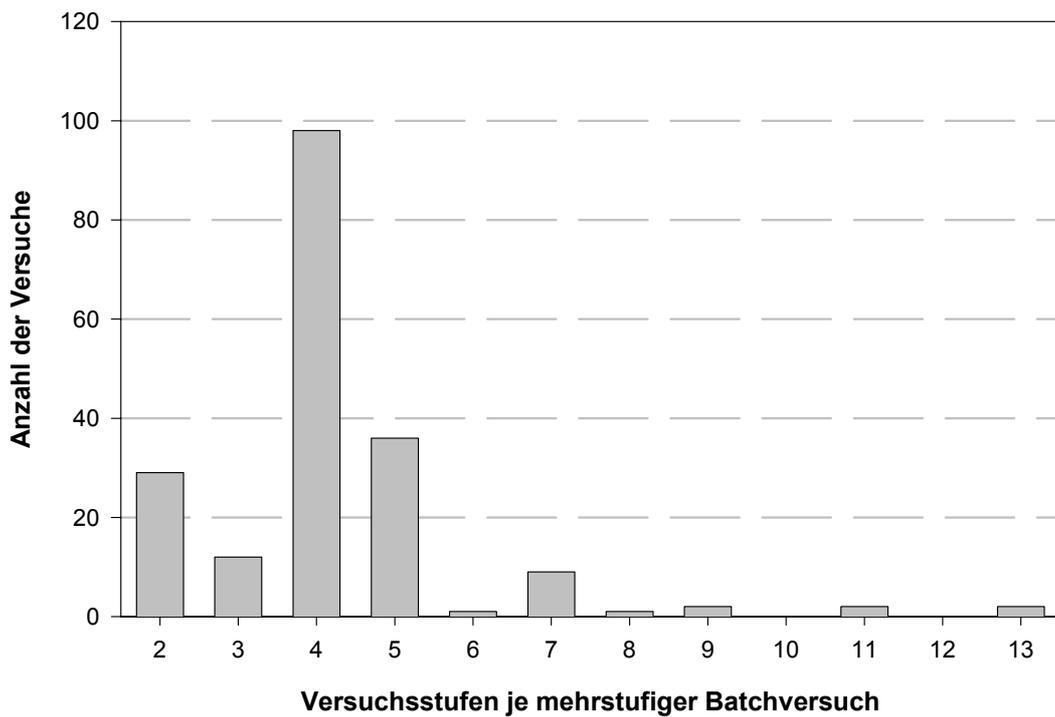


Abb. 4.3 Häufigkeitsverteilung der in den mehrstufigen Batchversuchen jeweils enthaltenen Einzelelutionsschritte

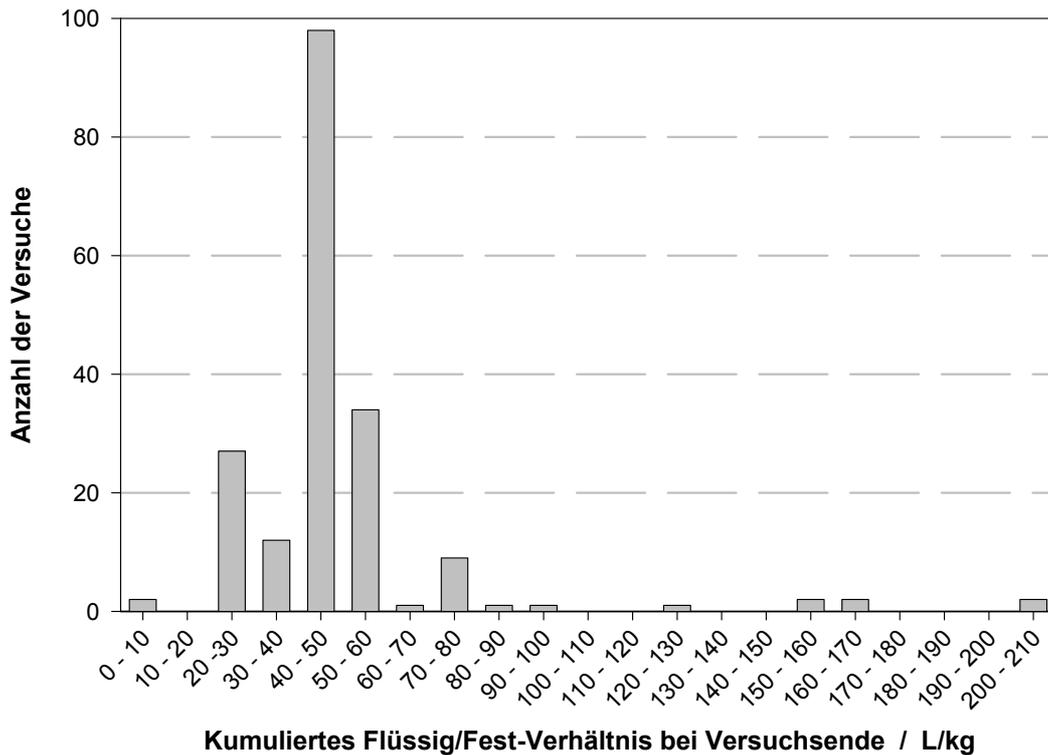


Abb. 4.4 Häufigkeitsverteilung der kumulierten Flüssig/Fest-Verhältnisse zum Versuchsende bei mehrstufigen Batchversuchen

4.4.3 Trogversuche

In der Datenbank sind in 29 Berichten insgesamt 89 Trogversuche erfasst (Tabelle 4.7). Mit diesem Verfahren wurden fast ausschließlich Stoffe aus der LAGA-Gruppe 313 (Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung) untersucht. Abgesehen von einem Bildröhrenschrott (LAGA-Gruppe 353: NE-Metallhaltige Abfälle) wurden noch vier abgebundene Mischungen, deren Einsatzkomponenten verschiedenen LAGA-Gruppen zuzuordnen sind (399, 312, 313), unter der LAGA-Nummer 399 09 aufgenommen.

In den meisten Fällen wurde ein Zuschlagstoff zur Erzielung eines Abbindeeffektes zugefügt. Der Bildröhrenschrott wurde ohne Zuschlagstoff als Schüttgut eluiert. Tabelle 4.8 gibt einen Überblick über Art und Menge der in den erfassten Untersuchungen verwendeten Zuschlagstoffe. Die Anteile der Zuschlagstoffe variieren zwischen 5 % und 30 %. Insbesondere für die Konditionierung von Stoffen aus Abfall-

verbrennungsanlagen (LAGA-Gruppe 313 09, 313 12) wurden hohe Anteile an Zuschlagstoffen eingesetzt.

Tab. 4.7 Zuordnung der Trogversuche mit Mobilitätsdaten zu Hauptgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog

89 Trogversuche in 29 Berichten		
LAGA-Abfallgruppe	Bezeichnung	Anzahl
313	Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung	79
353	NE-Metallhaltige Abfälle	2
399	Sonstige Abfälle mineralischen Ursprungs sowie von Veredelungsprodukten	8

Die Untersuchungen wurden immer im Hinblick auf die untertägige Verbringung als Versatzmaterial durchgeführt. Die erfassten Daten entstammen zwei Untersuchungsvorhaben. Der größte Teil der Untersuchungen wurde im Rahmen einer Untersuchung zur Eignung von Grubenbauen für die Einlagerung von Reststoffen /DMT 99/ durchgeführt, für die als Zuschlagstoff überwiegend Hochofenzement verwendet wurde (67 Versuche). Im Rahmen dieser Studie wurden auch zahlreiche pH-stat-Versuche (pH 4, pH 7, pH 11) mit bei der Elution stark basisch reagierenden Abfall-Zementgemischen durchgeführt. Der Zementgehalt wurde in einigen Versuchen zwischen 5 % und 30 % variiert.

Tab. 4.8 Übersicht über Art und Menge der Zuschlagstoffe in den mit Trogversuchen eluierten Probenkörpern

Art des Zuschlagstoffes	Anteil im Feststoff	Anzahl der Versuche
keine Angabe	-	7
kein Zuschlagstoff	-	2
REA-Gips	20 - 30 %	3
Zement unspezifiziert	25 - 30 %	6
Portlandzement (CEM I)	20 %	1
Hochofenzement (CEM III)	5 - 30 %	68
CEM III + sonstige Zuschlagstoffe	23 %	2

Die in der Datenbank erfassten Trogversuche wurden fast immer als Langzeitversuche durchgeführt, 56 weisen eine Versuchsdauer von 300 bis 400 Stunden, d.h. ca. 14 Tage, auf (Abb. 4.5). Die maximalen Versuchszeiten betragen ca. 4 Wochen. Trogversuche mit der Standardversuchsdauer der einstufigen Batchversuche von 24 Stunden sind in den erfassten Daten nicht enthalten.

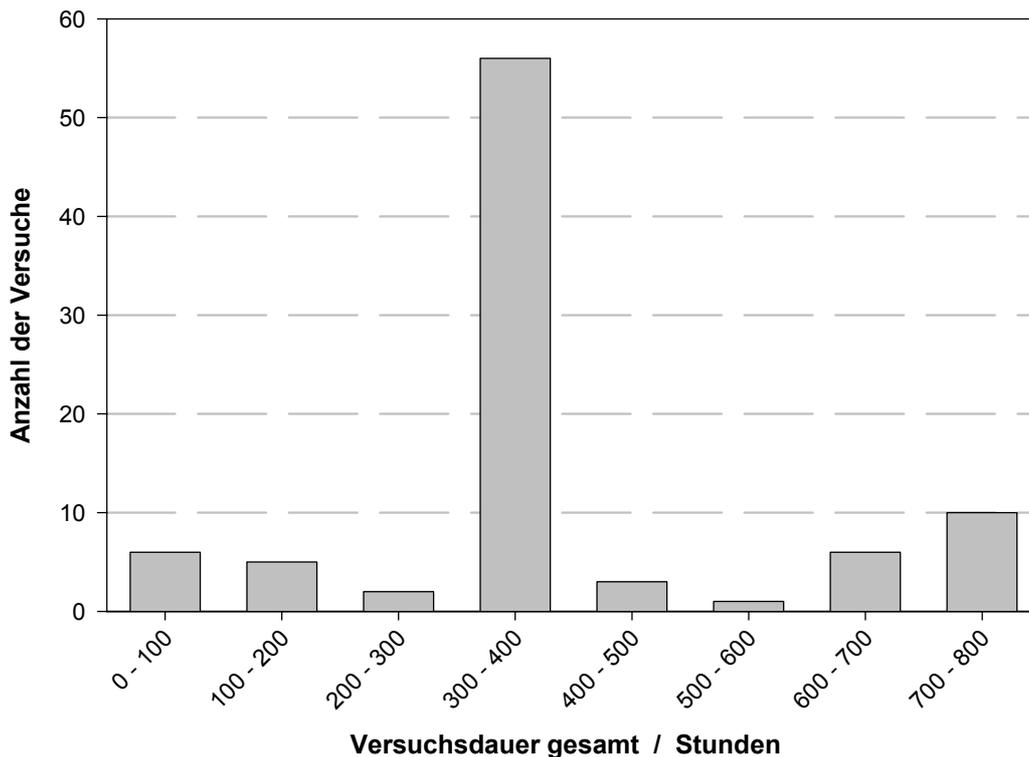


Abb. 4.5 Häufigkeitsverteilung der Versuchsdauer der Trogversuche

Das Flüssig/Fest-Verhältnis entspricht mit 10 L/kg jedoch in den meisten Versuchen dem einstufigen Standardbatchversuch. Abgesehen von diesem Standardwert wurden die Versuche noch bei geringen, d.h. vergleichsweise realitätsnahen, Werten für das Flüssig/Fest-Verhältnis durchgeführt (Abb. 4.6). Sechs Versuche wurden mehrstufig durchgeführt, indem über die Versuchsdauer verteilt mehrere Proben entnommen wurden. Hierbei blieb das Flüssig/Fest-Verhältnis konstant.

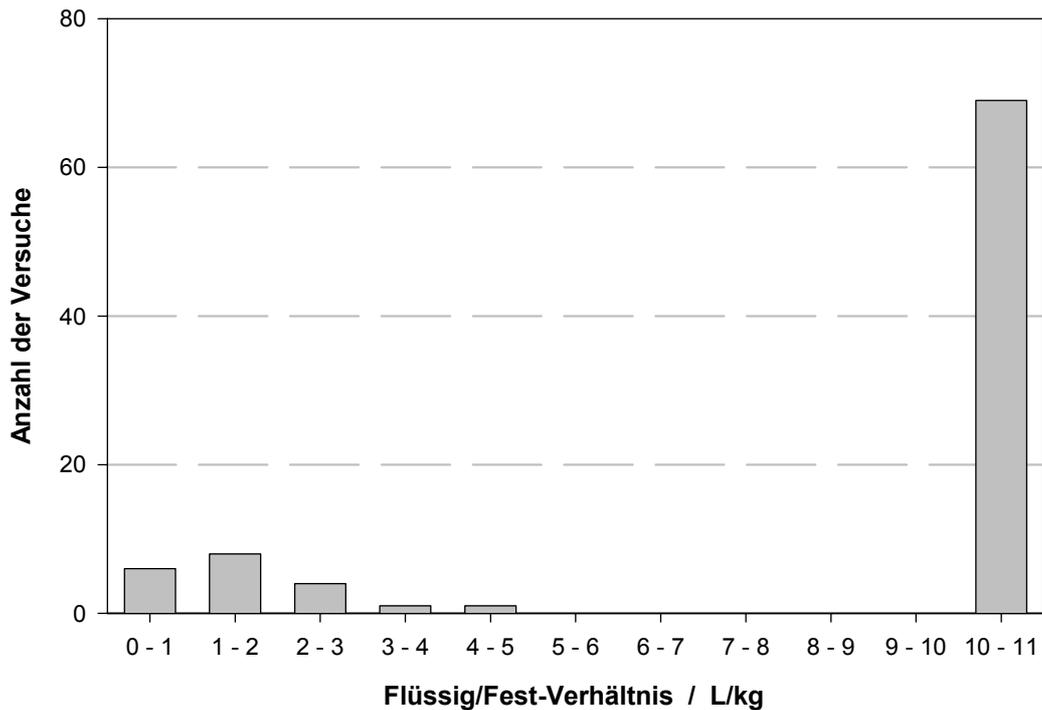


Abb. 4.6 Häufigkeitsverteilung der Flüssig/Fest-Verhältnisse der Trogversuche.

4.5 Kaskadenversuche

Da Kaskadenversuche in der Durchführung aufwendig sind, werden solche Versuche nicht routinemäßig, sondern meist nur im Rahmen von wissenschaftlichen Untersuchungen zur Aufklärung von Reaktionsabläufen zur Schadstofffreisetzung durchgeführt. Entsprechend gering ist bisher die Anzahl von 19 Abfällen aus drei Abfallgruppen (Tabelle 4.9), für die Mobilitätsdaten aus 44 Kaskadenversuchen erfasst sind. Alle Versuche wurden bei Raumtemperatur durchgeführt.

Tab. 4.9 Zuordnung der Kaskadenversuche mit Mobilitätsdaten zu Hauptgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog

LAGA-Abfallgruppe	Bezeichnung	Anzahl
313	Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung	15
399	Sonstige Abfälle mineralischen Ursprungs sowie von Veredelungsprodukten	2
515	Salze	2

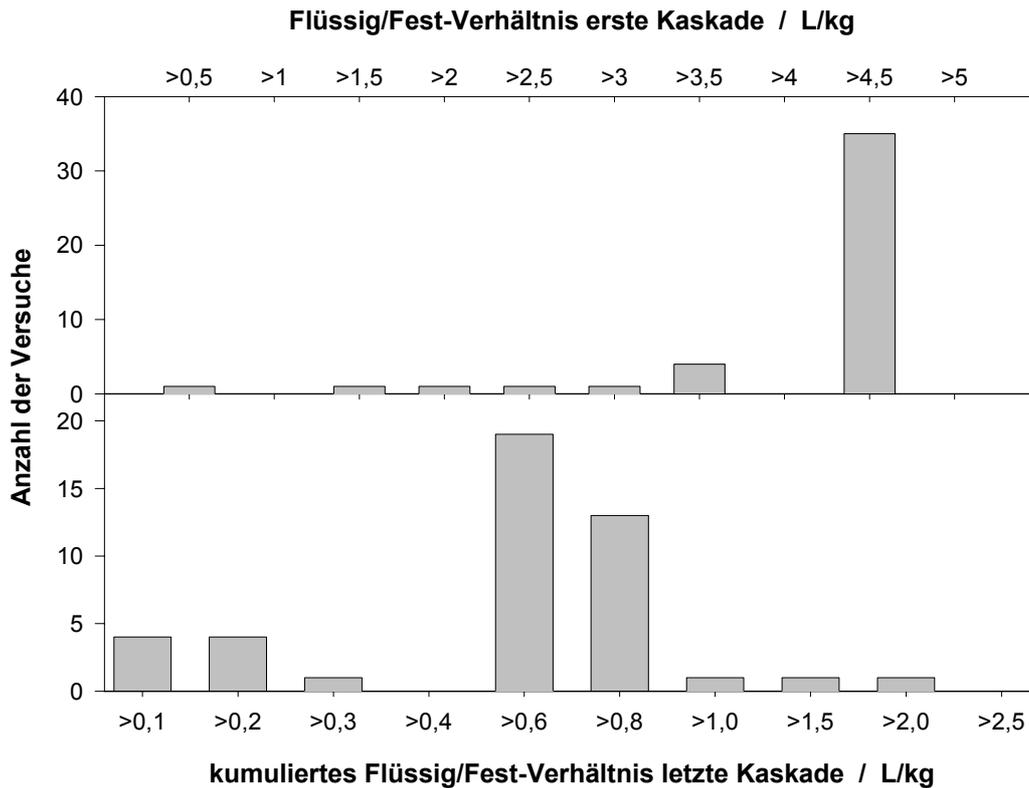


Abb. 4.7 Häufigkeitsverteilung der Flüssig/Fest-Verhältnisse in der ersten und der kumulierten Flüssig/Fest-Verhältnisse in der letzten Kaskade

Bei Kaskadenversuchen nimmt während des Versuches das kumulierte Flüssig/Fest-Verhältnis (Parameter LSK) von Stufe zu Stufe ab. Zum Versuchsende werden LSK-Werte erreicht, die - außer bei groß dimensionierten Säulenversuchen - bei den übrigen Versuchsarten nicht zugänglich sind. Beim Großteil der in der Datenbank erfassten Versuche liegt das Flüssig/Fest-Verhältnis der einzelnen Kaskaden im Bereich zwischen 3 L/kg und 5 L/kg und wird in den einzelnen Versuchsstufen konstant gehalten. Der Endwert für das kumulierte Flüssig/Fest-Verhältnis hängt dann von der Anzahl der im Versuch erreichten Kaskaden ab. Abb. 4.7 zeigt auf der oberen Skala die Verteilung der Flüssig/Fest-Verhältnisse der ersten Kaskade. Im unteren Teil von Abb. 4.7 ist die Verteilung der Endwerte für den Parameter LSK dargestellt.

4.6 Säulen- und Lysimeterversuche

In der Datenbank sind 144 Säulenversuche in 58 Berichten erfasst (siehe Tabelle 4.10). Der Datenbestand verteilt sich hierbei auf 7 Abfallgruppen mit einem

deutlichen Schwerpunkt bei den LAGA-Gruppen 313 (Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung) und 314 (sonstige feste mineralische Abfälle). Die Daten stammen überwiegend aus Berichten und Gutachten zu Eignungsuntersuchungen von Abfällen für die untertägige Verbringung bzw. Deponierung. Darüber hinaus wurden auch Daten aus Säulenversuchen mit organisch kontaminierten Böden aufgenommen.

Tab. 4.10 Zuordnung der Säulenversuche mit Mobilitätsdaten zu Versuchsapparaturen sowie zu Hauptgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog

144 Säulenversuche in 58 Berichten		74 Glassäulen 53 Triaxial- u. Druckzellen 14 Kunststoffsäulen 3 k.A.
LAGA-Abfallgruppe	Bezeichnung	Anzahl
312	Metallurgische Schlacken, Krätzen und Stäube	3
313	Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung	31
314	Sonstige feste mineralische Abfälle	20
316	Mineralische Schlämme	1
399	Sonstige Abfälle mineralischen Ursprungs sowie von Veredelungsprodukten	1
511	Galvanikschlämme, Metallhydroxidschlämme	1
948	Schlämme aus industrieller Abwasserreinigung	1

Nach Versuchsapparaturen aufgeschlüsselt entfällt der überwiegende Anteil der 144 Untersuchungen auf Elutionsversuche in Glassäulen (74 Versuche) sowie in Triaxial- und Druckzellen (53 Versuche). Als Elutionsmittel wurde vornehmlich Grubenwasser (59 Versuche) und Grundwasser (45 Versuche) verwendet. Bei ca. einem Drittel der Säulenversuche (57 Versuche) handelt es sich um Umlaufversuche, 87 Versuche sind als Durchlaufsäulenversuche mit bis zu 20 Versuchsstufen erfasst. Hierbei weisen 43 Versuche mehr als 5 Versuchsstufen auf.

Lysimeterversuche werden auf Grund des im Vergleich zu anderen Elutionsverfahren deutlich höheren zeitlichen, apparativen und monetären Aufwands seltener eingesetzt. Demzufolge umfasst der Datenbestand nur 36 Lysimeterversuche in 21 Berichten (Tabelle 4.11). Untersuchungen zu Abfällen mineralischen Ursprungs sowie

Veredelungsprodukten (LAGA-Gruppe 399) stellen den Schwerpunkt der erfassten Daten dar. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um Untersuchungen zur Mobilisation von Schadstoffen aus Waschbergen sowie vereinzelt von Gemischen aus Waschbergen mit Abfällen unter Labor- und Freilandbedingungen. Ferner liegen ähnlich wie bei den Säulenversuchen Analysendaten der Abfallgruppen 313 und 314 vor. Darüber hinaus wurden Ergebnisse aus Lysimeterversuchen verschiedener Bodensubstrate und Lockersedimente in die Datenbank aufgenommen. Der in Kapitel 2.2.2.5 vorgenommenen Einteilung folgend entfallen von den 36 Lysimeterversuchen 5 Versuche auf Großlysimeter und 31 auf Standardlysimeter. Letztere können wiederum in 18 Versuche im geschlossenen System und 13 Versuche im offenen System unterschieden werden.

Tab. 4.11 Zuordnung der Lysimeterversuche mit Mobilitätsdaten zu Hauptgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog sowie zu Versuchstypen

36 Lysimeterversuche in 22 Berichten		5 Großlysimeterlassäulen 31 Standardlysimeter
LAGA-Abfallgruppe	Bezeichnung	Anzahl
313	Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung	5
314	Sonstige feste mineralische Abfälle	3
399	Sonstige Abfälle mineralischen Ursprungs sowie von Veredelungsprodukten	11
	Böden, Lockersedimente	3

5 Datenauswertung

5.1 Auswertemöglichkeiten mit AMANDA bzw. anderen Tools

Die Auswertung von Mobilitätsdaten setzt voraus, dass erforderliche Daten zielgerichtet aus dem Gesamtbestand der Datenbank gefiltert und selektiert werden. Diese werden in AMANDA aufbereitet, z.T. umgerechnet und über eine Schnittstelle für den Export nach MS Excel zusammengestellt. Die weitergehende statistische Auswertung wird in MS Excel oder gegebenenfalls mit anderen dezidierten Statistikprogrammen ausgeführt.

5.1.1 Datenselektion

Die Datenselektion wird in AMANDA mit Hilfe der Maske »Analyseauswahl – Expertenmodus« durchgeführt, die einen Editor zur Erstellung einer Datenbankabfrage darstellt (Abb. 5.1). In der Ansicht »Gesamtauswahl« wird die Datenbankabfrage durch Auswahl der beteiligten Datenbanktabellen, der logischen Verknüpfung dieser Tabellen sowie durch die Eingabe von Auswahlbedingungen erstellt. Die Nutzung dieses Auswahltools setzt gute Kenntnisse der Datenbankstruktur voraus.

Im Bereich »Katalogauswahl« wird der Benutzer unterstützt, indem Kataloge zur Festlegung der Auswahlbedingungen angeboten werden. Das Registerblatt »SQL-Ansicht« stellt die Formulierung der Datenbankabfrage dar und der Bereich »Ergebnis« präsentiert das Ergebnis der Datenbankabfrage. Das Abfrageergebnis stellt immer eine Liste mit Proben dar, deren Eigenschaften den eingestellten Auswahlbedingungen entsprechen.

Das Beispiel in Abb. 5.1 durchsucht die Datenbank nach Eluatproben (Auswahlbedingung »Versuchsstufe«), die durch einen Kaskadenversuch (Auswahlbedingung »Kaskade«) gewonnen wurden. Erläuterungen zur Handhabung des Expertenmodus sowie Beispiele für Suchabfragen mit den notwendigen Eingaben zur Selektion von bestimmten Datensätzen sind in Anlage A.4 zu finden.

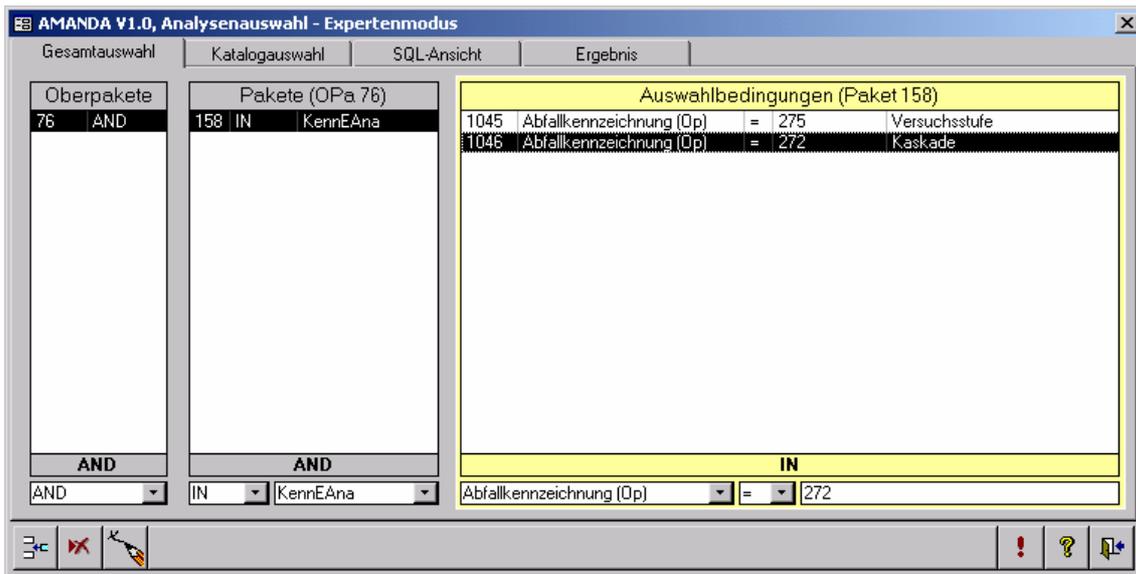


Abb. 5.1 Maske zur Datenselektion, Eingabe der Auswahlbedingungen

In Abb. 5.2 wird das Ergebnis dieser Datenbankabfrage gezeigt. Dabei enthält die linke Listbox sämtliche Eluatproben zu Kaskadenversuchen. Neben der Probennummer (EAnaNr) wird die Berichtsnummer und der Abfallschlüssel nach LAGA-Abfallartenkatalog angezeigt. Aus dieser Probensammlung können alle oder gezielt einzelne Proben zur Datenauswertung durch Übernahme in die rechte Liste ausgewählt werden. Sämtliche Eluatproben der rechten Listbox »selektierte Analysen« bilden die Grundlage für weitere Datenauswertungen.

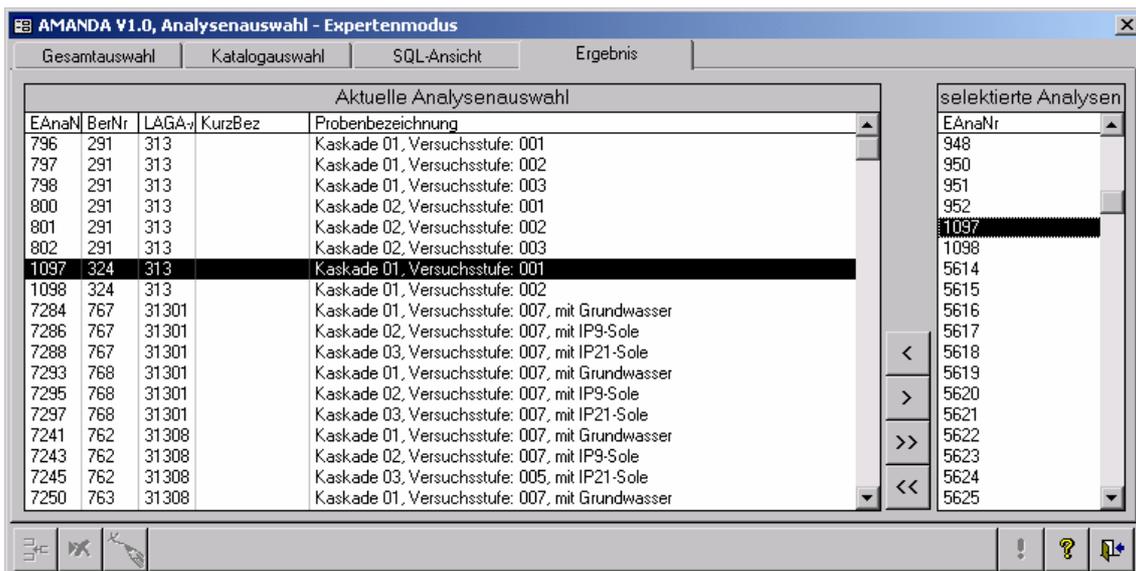


Abb. 5.2 Maske zur Datenselektion, Auswahlergebnis

5.1.2 Datenaufbereitung zum Export

In AMANDA werden mittels der in Abb. 5.3 dargestellten Maske die selektierten Daten für den Export in das externe MS Excel-Auswertungstool vorbereitet. Das Ausgabeformat und die Gruppierung der Daten ist auf die erforderlichen graphischen Darstellungen abgestimmt. Die zu exportierenden Daten werden dabei in die Kategorien X-Werte und Y-Werte (= Parameter) eingeteilt, wenngleich diese Einteilung für die spätere graphische Darstellung natürlich nicht bindend ist.

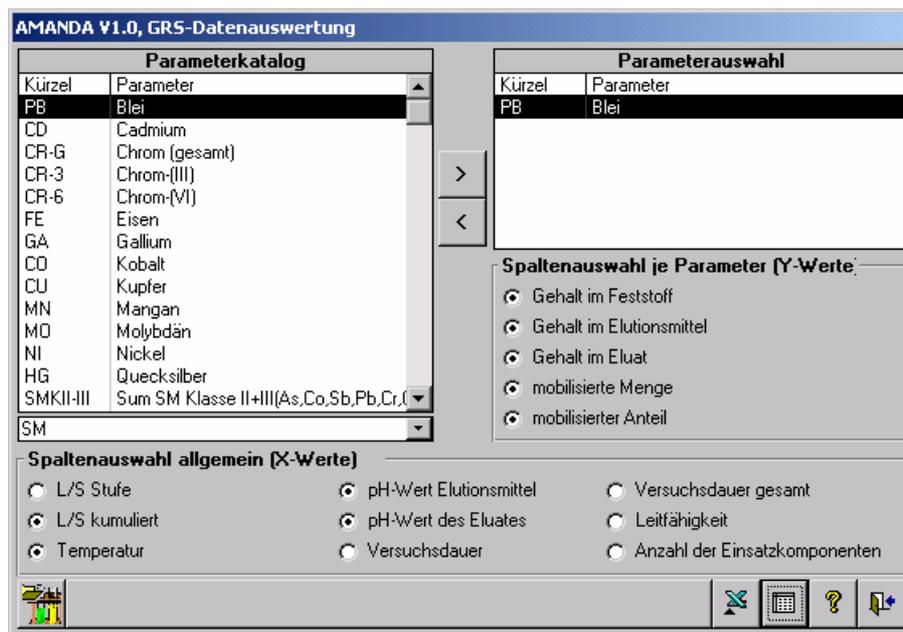


Abb. 5.3 Maske zur Vorbereitung des Datenexports nach MS Excel

Experimentelle Messgrößen oder Randbedingungen wie (kumuliertes) I/s-Verhältnis, Temperatur, pH-Wert oder andere werden häufig – aber nicht notwendigerweise – in Diagrammen als X-Achsenwerte aufgetragen. Die gewünschten X-Achsenwerte werden einfach in der Liste im unteren Bereich der Maske in Abb. 5.3 durch Aktivierung des entsprechenden Optionsfeldes gewählt.

In der Regel als Y-Achsenwert werden dagegen Konzentrations- bzw. Mengenangaben von chemischen Spezies dargestellt. Die Auswahl der gewünschten Spezies erfolgt über den Parameterkatalog in Abb. 5.3, wobei beliebig viele Auswerteparameter gewählt werden können. Der Anwender kann für jede Spezies wahlweise festlegen, welche Informationen in die Ergebnistabelle übertragen werden sollen, wobei nicht nur

die primären Messwerte (Gehalte im Feststoff, im Elutionsmittel oder im Eluat), sondern auch berechnete Größen (mobilisierte Menge und mobilisierter Anteil) an das externe Auswertungsprogramm übergeben werden können. Die Auswahl der X- und Y-Werte gilt für sämtliche selektierten Proben in der zu exportierenden Liste.

Nach Einstellung der gewünschten Auswerteoptionen kann die Ausgabetabelle direkt in MS Excel gespeichert werden. Eine Tabellenansicht (Abb. 5.4) in AMANDA ist ebenfalls möglich. Exemplarisch wird die Vorgehensweise bei der Datenselektion und Datenaufbereitung für eine Auswertungsfragestellung detailliert in Anlage A.4 erläutert.

Entsprechend den Einstellungen in der Maske »GRS-Auswertungen« (vergleiche Abb. 5.3) wurde eine Ausgabetabelle erstellt, die Abb. 5.4 als Ausschnitt zeigt. Die berechneten Werte mobilisierter Anteil (-MA) und mobilisierte Menge (-MM) werden dabei auf »-1« gesetzt, falls eine Berechnungsgröße in den zugrunde liegenden Daten fehlt. Auf der Grundlage der AMANDA-Ausgabetabelle können dann in MS Excel bzw. mit Statistikprogrammen weiterführende Auswertungen durchgeführt und graphische Darstellungen erstellt werden.

EAnaNr	AS-LAGA	AS-EAK	Bericht	VArt	VStuf	LSK	TEMP	pH-EM	pH-EL	PB-FS	PB-EM	PB-EL	PB-MM	PB-MA
948	31312	190107	312	Kaskade 001	3	1	20,1	7	9,44	4100	0	46,6	-1	-1
950	31312	190107	312	Kaskade 002	1	5	21	6,2	9,86	4100	0	15	-1	-1
951	31312	190107	312	Kaskade 002	2	1,67	20,7	6,2	9,83	4100	0	17,1	-1	-1
952	31312	190107	312	Kaskade 002	3	1	19,5	6,2	8,3	4100	0	565	-1	-1
1097	313	190107	324	Kaskade 001	1	0,7	20	6,2	10,8	-1	0	2,9	2,03	-1
1098	313	190107	324	Kaskade 001	2	1,4	20	6,2	9,1	-1	0	0,1	0,07	-1
5614	31311	190199	691	Kaskade 001	1	2,7368003	0	7	6,11	10989	0	0	-1	-1
5615	31311	190199	691	Kaskade 001	2	1,3174713	0	7	5,92	10989	0	10,17	25,8183	0,2349
5616	31311	190199	691	Kaskade 001	3	0,8581115	0	7	5,72	10989	0	4,92	12,1087	0,1102
5617	31311	190199	691	Kaskade 001	4	0,6322379	0	7	5,6	10989	0	11,31	27,1657	0,2472
5618	31311	190199	691	Kaskade 001	5	0,4986650	0	7	5,49	10989	0	14,41	34,0106	0,3095
5619	31311	190199	691	Kaskade 001	6	0,4100516	0	7	5,44	10989	0	37,01	85,4057	0,7772
5620	31311	190199	691	Kaskade 001	7	0,348131	0	7	5,36	10989	0	55,03	126,866	1,1545
5621	31311	190199	691	Kaskade 001	8	0,3024606	0	7	5,51	10989	0	74,28	171,257	1,5584
5622	31311	190199	691	Kaskade 001	9	0,2675039	0	7	5,14	10989	0	31,8	73,6029	0,6698
5623	31311	190199	691	Kaskade 001	10	0,2398599	0	7	5,56	10989	0	104,95	243,596	2,2167
5624	31311	190199	691	Kaskade 001	11	0,2174827	0	7	5,66	10989	0	128,77	300,186	2,7317
5625	31311	190199	691	Kaskade 001	12	0,1989249	0	7	5,46	10989	0	176,1	410,531	3,7358
5626	31311	190199	691	Kaskade 001	13	0,1832298	0	7	5,44	10989	0	215,83	501,224	4,5611
5627	31311	190199	691	Kaskade 001	14	0,1698655	0	7	5,53	10989	0	326,97	761,488	6,9296
5628	31311	190199	691	Kaskade 001	15	0,1583724	0	7	5,56	10989	0	439,5	1028,75	9,3616
5630	31311	190199	691	Kaskade 002	1	4	0	4,801	0	10989	0	1492,8	5971	54,336
5631	31311	190199	691	Kaskade 002	2	2	0	4,801	0	10989	0	3011,8	12047	109,63
5632	31311	190199	691	Kaskade 002	3	1,3333	0	4,801	0	10989	0	3335,3	13341	121,40
5633	31311	190199	691	Kaskade 002	4	1	0	4,801	0	10989	0	3211,5	12846	116,9
5634	31311	190199	691	Kaskade 002	5	0,8	0	4,801	0	10989	0	3347	13388	121,83
5635	31311	190199	691	Kaskade 002	6	0,66666	0	4,801	0	10989	0	2196	8784	79,934
5636	31311	190199	691	Kaskade 002	7	0,5714	0	4,801	0	10989	0	2763	11052	100,57
5637	31311	190199	691	Kaskade 002	8	0,5	0	4,801	0	10989	0	3605,5	14022	127,60

Abb. 5.4 AMANDA-Ausgabetabelle zur weiteren Auswertung in MS Excel

5.2 Ergebnisse und Beispiele

In den folgenden Abschnitten werden beispielhaft Möglichkeiten für die Auswertung des AMANDA-Datenpools zur Schadstoffmobilisierung aufgezeigt.

5.2.1 Schadstoffgehalte der Abfälle

In den Abfallproben liegen die für die Auslaugung vor allem interessierenden Schadstoffe in teilweise recht hohen Konzentrationen aber auch in einer breiten Verteilung vor. Dabei zeigen sich große individuelle Unterschiede zwischen einzelnen Elementen (Abb. 5.5).

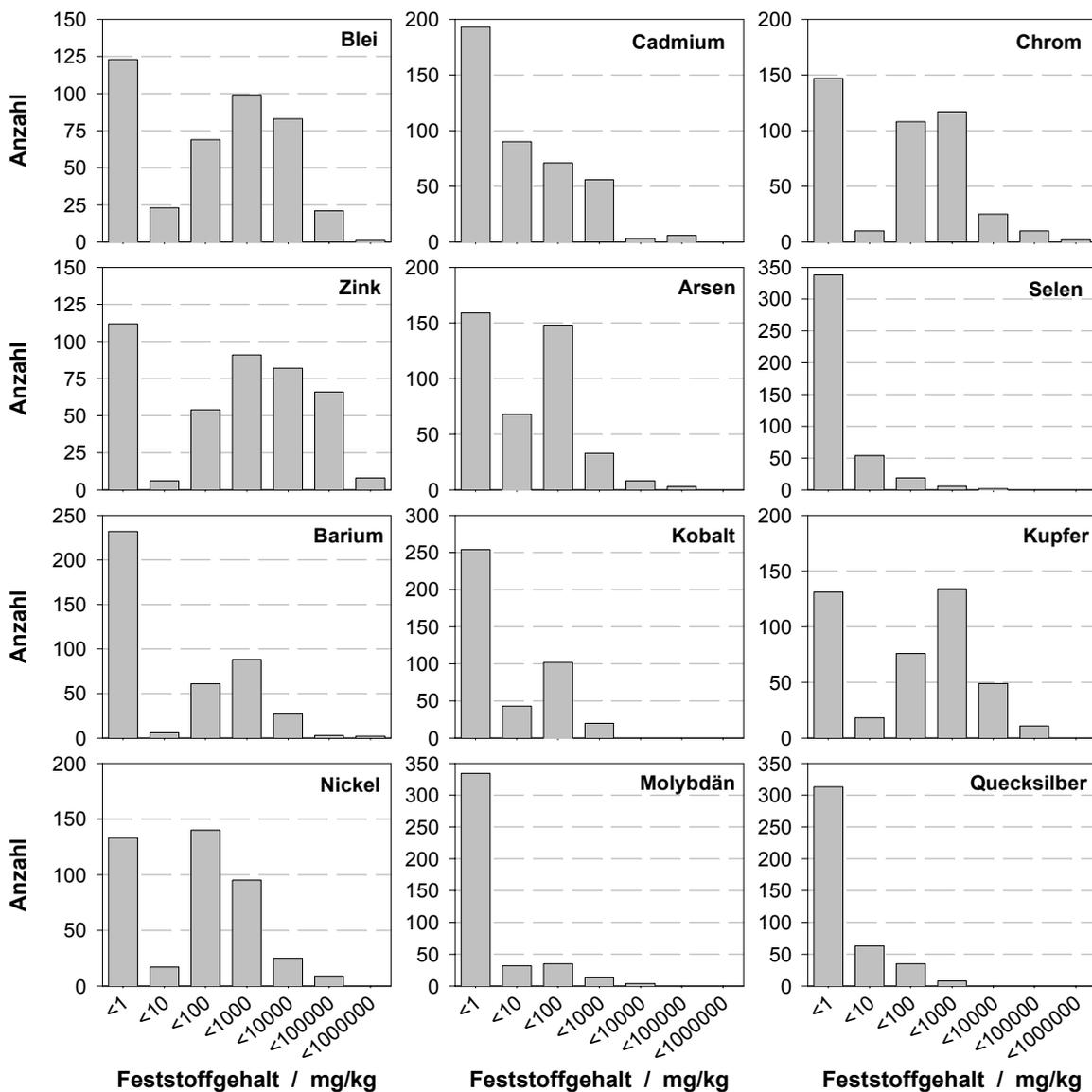


Abb. 5.5 Verteilung der Gehalte einiger relevanter Elemente für alle Abfallproben

Eine Übersicht über die Gehalte einiger wichtiger Schadstoffe in den Abfällen, für die Mobilitätsdaten in AMANDA gespeichert sind, zeigt Abb. 5.6. Die Balken geben jeweils die Bandbreite der Gehalte für die einzelnen Elemente wieder, die Symbole zeigen die zugehörigen Medianwerte an (= 50%-Quantil, d.h. 50% der nach Größe sortierten Werte liegen unterhalb dieses Wertes), während die Querstriche die 90%-Quantile (90% der nach Größe sortierten Werte liegen unterhalb dieses Wertes) repräsentieren.

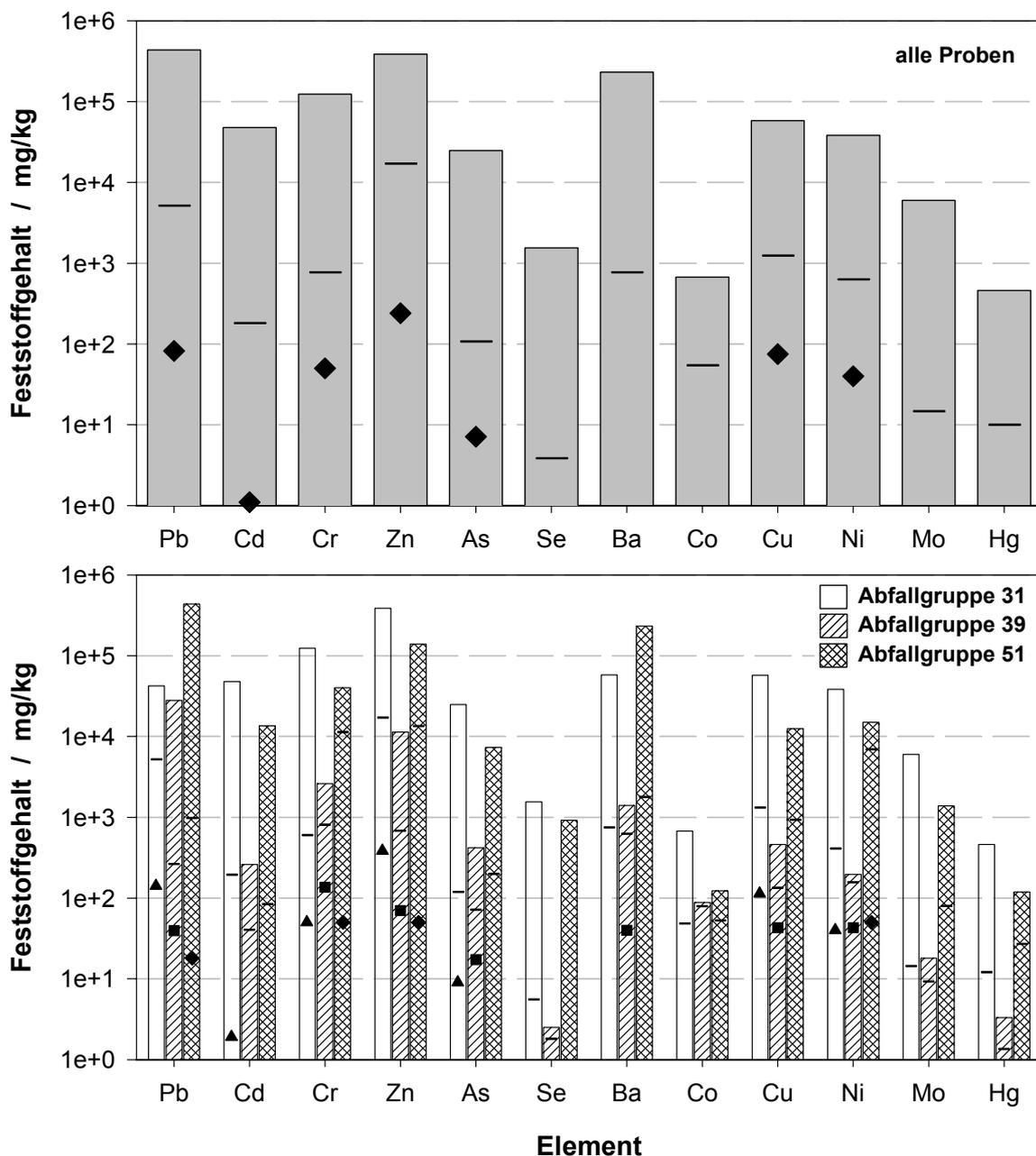


Abb. 5.6 Elementgehalte für alle Proben und ausgewählte Abfallhauptgruppen (Balken = Konzentrationsbereiche, Symbole = Medianwerte, — = 90%-Quantil)

Im oberen Teil von Abb. 5.6 sind die Daten für alle in AMANDA gespeicherten Feststoffproben dargestellt, im unteren Bildteil unterteilt nach den drei Abfallhauptgruppen, zu denen der Großteil der in AMANDA erfassten Abfälle gehört. Danach ähneln sich die Feststoffgehalte bei den Abfallhauptgruppen 31 (Abfälle und Reststoffe mineralischen Ursprungs) und 51 (Oxide, Hydroxide, Salze) im Hinblick auf die Maximalgehalte, während die Abfälle aus der Hauptgruppe 39 (Andere Abfälle und Reststoffe mineralischen Ursprungs sowie von Veredlungsprodukten) oft deutlich geringere Maximalwerte aufweisen. Die Medianwerte und die 90%-Quantilwerte dagegen liegen bei allen drei Abfallhauptgruppen überwiegend in ähnlichen Größenordnungen und zeigen keine systematischen Unterschiede. Fehlende Symbole bedeuten, dass die entsprechenden Medianwerte unterhalb von 1 mg/kg liegen.

5.2.2 pH-Werte der Eluate

Wegen der meist recht geringen Pufferwirkung der verwendeten Elutionsmittel wird der End-pH-Wert der Eluate häufig von Art und Zusammensetzung der Abfälle bestimmt, was zum Teil zu erheblichen Verschiebungen vom Anfangswert führt. Das Auslaugverhalten wird dann nicht mehr vom pH-Wert des Elutionsmittels gesteuert, der in der überwiegenden Anzahl der Fälle im neutralen bzw. schwach-sauren Bereich liegt, sondern - abgesehen von den wenigen pH-stat-Versuchen - durch den Abfall selbst. Der Einfluss des Eluat-pH-Wertes auf die Schadstoffmobilisierung wird im nächsten Kapitel beschrieben.

In Abb. 5.7 ist die Häufigkeitsverteilung der Eluat-pH-Werte für alle Versuche und unterteilt nach verschiedenen Abfallgruppen dargestellt. Bei Versuchen mit mehreren Stufen wurde jeweils der pH-Wert der letzten Stufe verwendet, pH-Werte größer 13 traten nicht auf. Es zeigt sich das bekannte Bild, dass insbesondere die Aschen und Schlacken (Abfallgruppen 312 und 313) häufig alkalisch reagieren (REI 95, SLO 97, IAWG 97, MOE 00/). Wegen ihres großen Anteils am Datenbestand in AMANDA bestimmen sie auch die Form der Gesamtverteilung. Sonstige mineralische Abfälle bzw. Schlämme (Obergruppen 314, 316, 399) sowie Salze (Obergruppe 515) reagieren dagegen überwiegend neutral. Eine entsprechende Auswertung für die übrigen Abfallgruppen führt wegen der geringen Anzahl von Proben nicht zu aussagefähigen Ergebnissen.

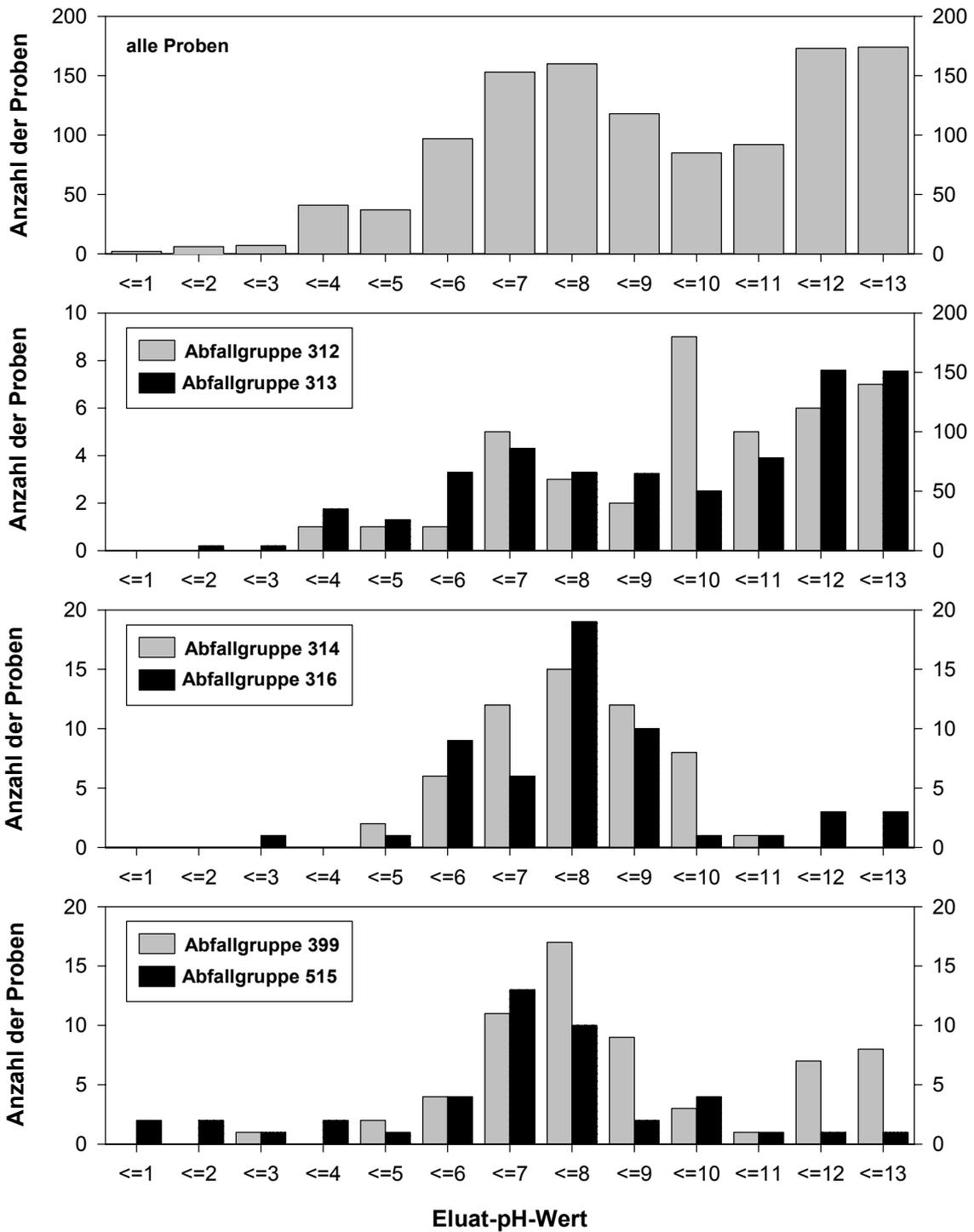


Abb. 5.7 Häufigkeitsverteilung der resultierenden Eluat-pH-Werte für alle Proben und einige Abfallgruppen (graue Balken = rechte Skala, schwarze Balken = linke Skala)

5.2.3 pH-abhängige Schadstoffmobilisierung

Die Mobilisierung von Schadstoffen aus kontaminierten Feststoffen wird im wesentlichen durch folgende Faktoren bestimmt:

- mineralogisch-petrographische Zusammensetzung
- Gesamtgehalt und Bindungsformen
- Redox-Milieu
- Temperatur, Druck, Reaktionszeit
- Zusammensetzung der Elutionslösung (Ionenstärke u.a.)
- pH-Wert

Letzterer wird von zahlreichen Autoren als eine ganz wichtige Einflussgröße zur Kennzeichnung des unterschiedlichen Lösungsverhaltens von Schadstoffen angesehen. Für das Element Blei ist z.B. bekannt, dass es im pH-Bereich zwischen pH 7 und pH 11 eine relativ geringe Mobilität besitzt /IAWG 97/. Bei einer pauschalen Auswertung des Datenpools von AMANDA können allerdings derartige Trends leicht durch die große Bandbreite der Ergebnisse, die auf die Unterschiedlichkeit der untersuchten Abfälle zurückzuführen ist, maskiert werden.

In Abb. 5.8 sind die in ein- bis mehrstufigen Batchversuchen gemessenen Blei-Eluatkonzentrationen in Abhängigkeit des pH-Wertes der Eluate dargestellt. Über den gesamten pH-Bereich zeigt sich eine breite Streuung in den Konzentrationen, wobei bei hohen und niedrigen pH-Werten eine gewisse Häufung von mittleren bis höheren Werten festzustellen ist. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei einer Darstellung der mobilisierten Menge an Blei, bei der die unterschiedlichen Flüssig/Fest-Verhältnisse in den Versuchen berücksichtigt werden, in Abhängigkeit des pH-Wertes des Eluats.

Eluatkonzentrationen werden u.a. durch den Gehalt eines Elementes im Feststoff sowie durch die Löslichkeit von Festphasen bei den geochemischen Bedingungen in den Lösungen begrenzt. Große Streuungen in den Eluatkonzentrationen wie in Abb. 5.8 können daher darauf zurückzuführen sein, dass die Abfälle unterschiedliche Feststoffgehalte aufweisen.

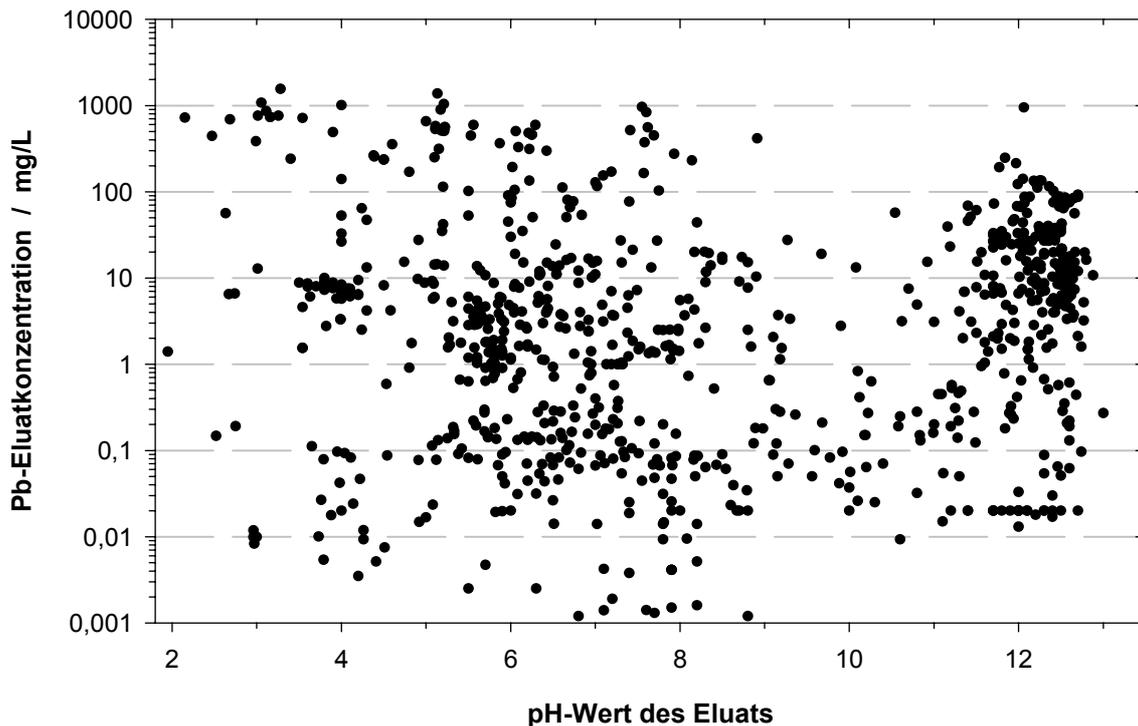


Abb. 5.8 Blei-Eluatkonzentrationen bei ein- und mehrstufigen Batchversuchen in Abhängigkeit vom pH-Wert der Elutionslösung

Einen besseren Einblick über die pH-abhängige Mobilisierbarkeit liefert in diesem Fall eine Auftragung des mobilisierten Blei-Anteils über den pH-Wert des Eluats (siehe Abb. 5.9). Es zeigt sich die für dieses Element charakteristische geringe Mobilität im pH-Bereich zwischen pH 7 und pH 11. Unterhalb pH 7 steigen die mobilisierten Anteile mit sinkendem pH-Wert deutlich an. Bei pH 3 werden bei der Mehrzahl der erfassten Abfälle 70-90% des Blei-Gesamtgehaltes mobilisiert. Im stark basischen Bereich ist Blei oberhalb pH 11 ebenfalls sehr mobil. Die hohe Mobilität von Blei im sauren Milieu ist – wie auch bei den meisten anderen Schwermetallen – auf die mit sinkenden pH-Werten ansteigenden Löslichkeiten der die Konzentration limitierenden Bleiphasen wie z.B. Hydroxide, Karbonate und Sulfate zurückzuführen. Im stark basischen Milieu bilden sich stabile Hydroxokomplexe (amphoterer Verhalten).

Insbesondere im neutralen bis schwach sauren Milieu, wo kaum konkurrierende OH-Anionen in den Lösungen vorliegen (in den Abb. 5.9 und 5.10 erkennbar vor allem in den Sole-Eluaten bei pH-Werten < 8) werden die Metalllöslichkeiten durch die Bildung stabiler Anionenkomplexe (z.B. Chloro- oder Sulfatkomplexe) verstärkt. Bereits mit salzfreien Elutionsmitteln (Deionat) reichen die gelösten anionischen Inhaltsstoffe aus

salzhaltigen Abfällen z.T. zur Bildung derartiger Komplexe aus und verhindern bzw. vermindern so die Fällung schwer löslicher Bleiverbindungen.

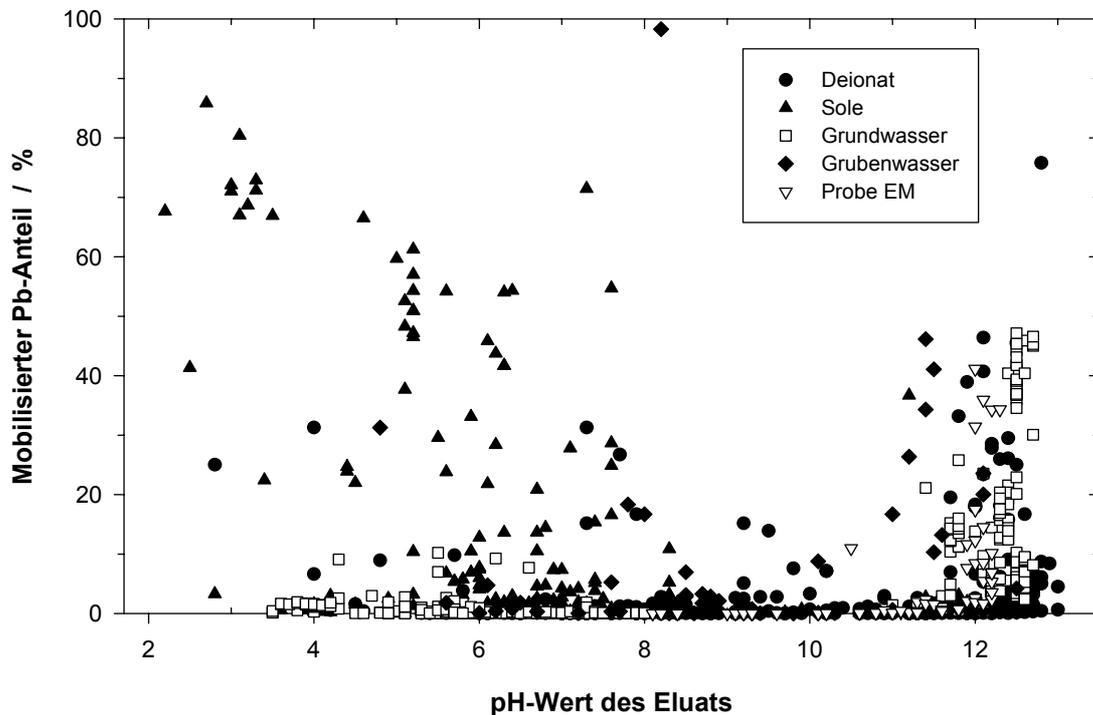


Abb. 5.9 Aus ein- und mehrstufigen Batchversuchen mobilisierte Blei-Anteile in Abhängigkeit vom pH-Wert der Elutionslösung

Der Einfluss verschiedener Elutionslösungen auf die Mobilisation von Blei ist in Abb. 5.10 dargestellt. Die Ausgangs-pH-Werte der Lösungen variieren zwischen pH 3 und 7,2. Die mobilisierten Blei-Anteile zeigen je nach verwendeter Elutionslösung eine unterschiedlich starke Abhängigkeit vom pH-Wert. Während die Blei-Mobilität in den Elutionsmitteln EM Probe, Grundwasser und auch Deionat eine enge Beziehung zum pH aufweist, schwanken – insbesondere im sauren Milieu – die mobilisierten Anteile mit den überwiegend stark chloridhaltigen Elutionsmitteln Sole und Grubenwasser in einem weiten pH-Bereich. Eine differenzierte Betrachtung zum pH-abhängigen Mobilisationsverhalten unter Berücksichtigung weiterer Einflussgrößen (z.B. Redox-Milieu, Temperatur, Druck, Reaktionszeit, Abfallgruppe (vgl. Abb. 5.7) u.a.) wurde nicht vorgenommen, ist jedoch aufgrund der in der Datenbank häufig im Detail erfassten Versuchsrandbedingungen durch gezielte Datenbank-Abfragen möglich.

Ein ähnliches pH-abhängiges Mobilisationsverhalten konnte auch für die Schwermetalle Cobalt, Nickel und Zink beobachtet werden.

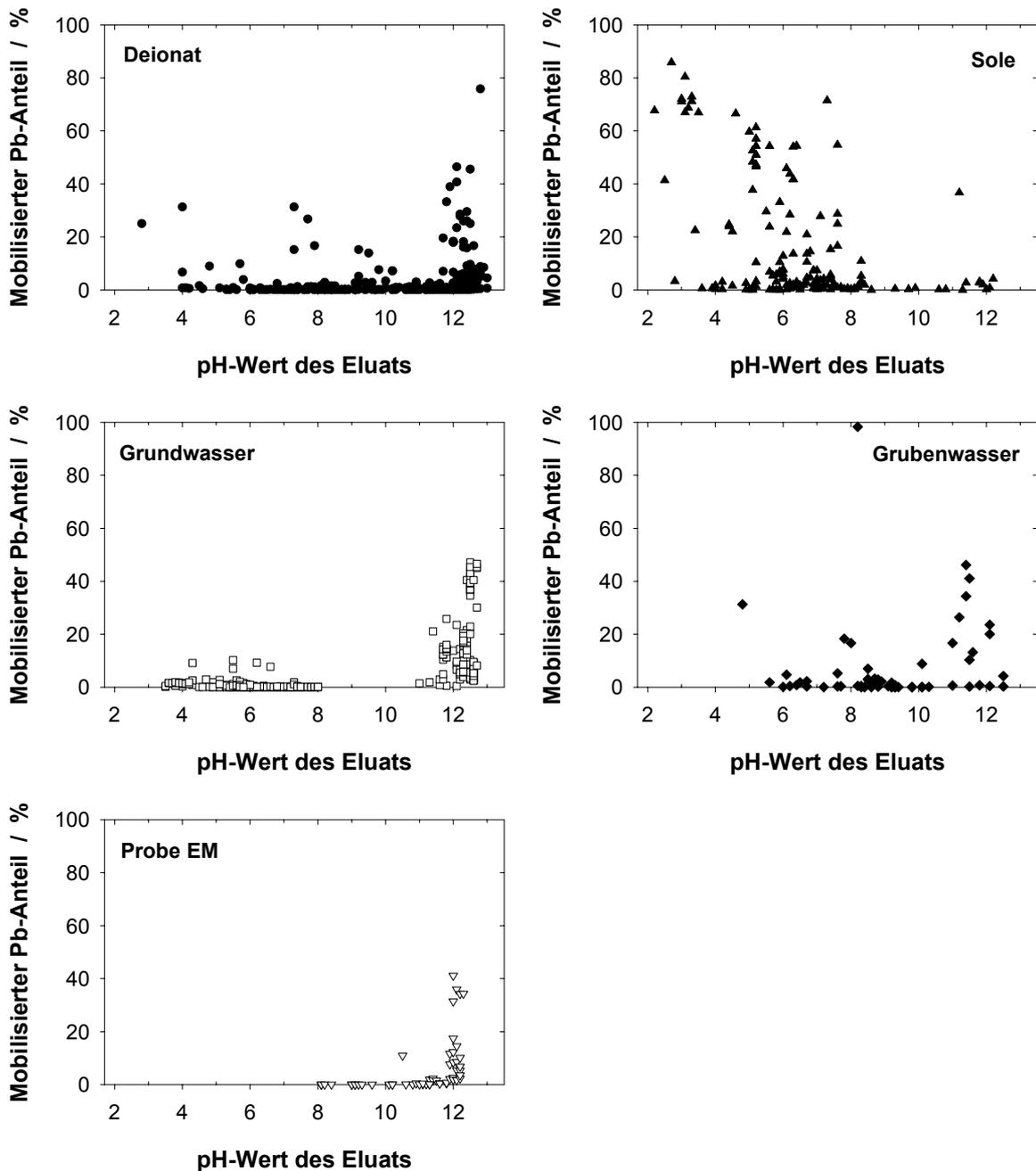


Abb. 5.10 Aus Abfällen mobilisierte Blei-Anteile in Abhängigkeit vom pH des Eluats für verschiedene Elutionsmittel

Die Löslichkeit von Kupfer nimmt - ähnlich wie für Blei gezeigt - unterhalb pH 6 mit sinkendem pH-Wert exponentiell zu (Abb. 5.11). Die mobilisierten Cadmium-Anteile erreichen dagegen schon bei pH-Werten ≤ 9 nahezu 100 %. Während die mobilisierten Blei- und Kupfer-Anteile somit eine relativ enge Beziehung zum pH der Elutionslösung aufweisen, schwanken die mobilisierbaren Cadmium-Anteile im neutralen bis sauren Milieu in einem weiten pH-Bereich (Abb. 5.12).

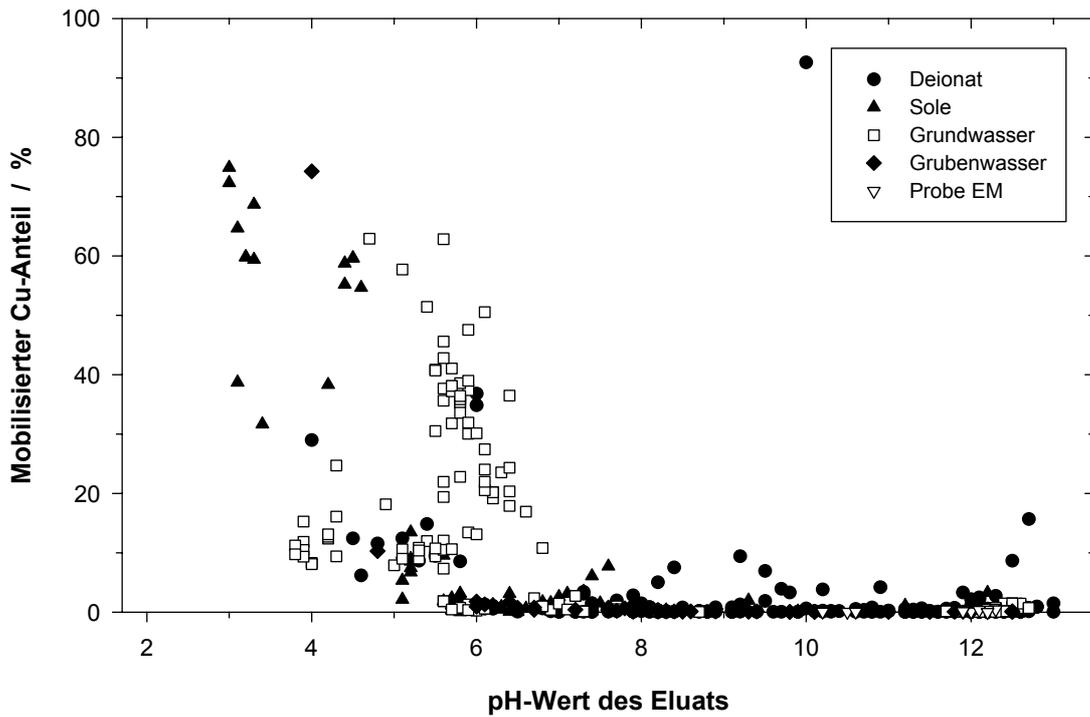


Abb. 5.11 Aus Abfällen in Abhängigkeit vom pH-Wert des Eluats mobilisierte Anteile an Kupfer

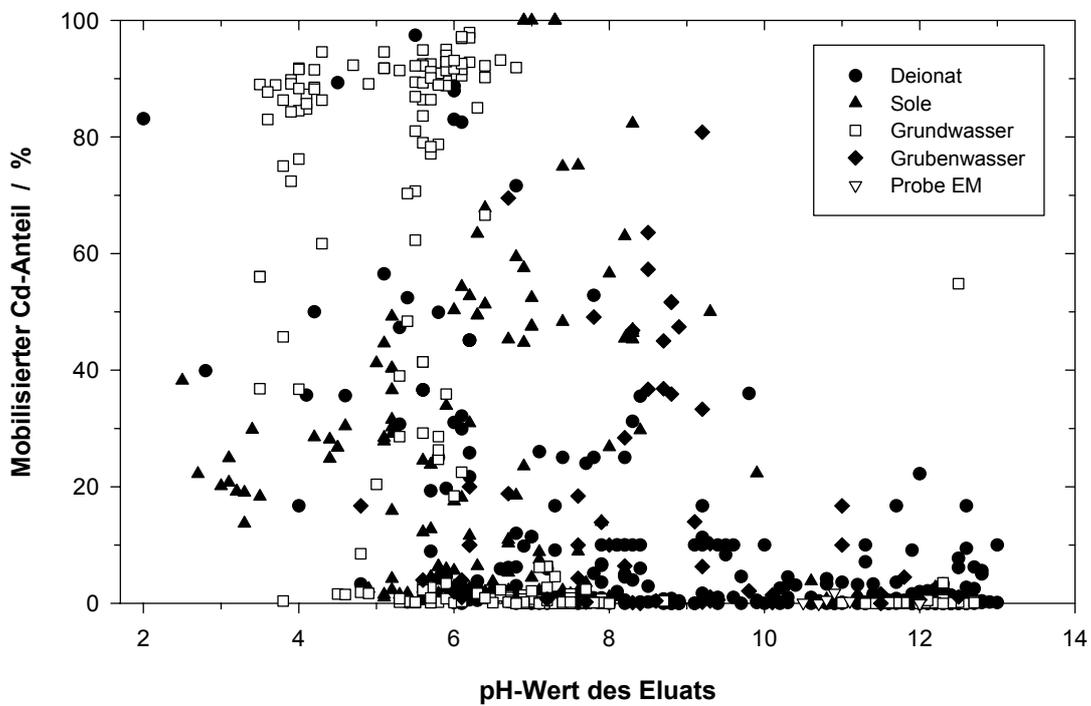


Abb. 5.12 Aus Abfällen in Abhängigkeit vom pH-Wert des Eluats mobilisierte Anteile an Cadmium

Die Bildung stabiler Schwermetall-Chloro-Komplexe sowie die zunehmend positive Ladung der Feststoffoberflächen bei abnehmendem pH wirkt sich insbesondere bei Cadmium lösungsverstärkend aus. Bei Kupfer wird die hohe Mobilität zwischen pH 3 und 7 vor allem durch den hohen Anteil an unkomplexierten Cu^{2+} -Ionen beeinflusst. Die bekanntermaßen geringe amphotere Neigung von Cadmium und Kupfer, d.h. die geringe Löslichkeit und Bildung von Hydroxokomplexen bei stark basischen pH-Werten, zeigt sich in den in AMANDA erfassten Eluatanalysen für beide Elemente durch sämtlich nur geringe mobilisierte Anteile bei pH-Werten von 10 bis 13.

Für Chrom hingegen (hier: als Chrom-gesamt) ist eine deutliche Abhängigkeit der mobilisierten Anteile zu basischen pH-Werten hin festzustellen (Abb. 5.13). Chrom tritt in verschiedenen Oxidationsstufen auf, von denen Chrom(III) und Chrom(VI) die stabilsten und häufigsten sind. Bei pH-Werten < 8 und insbesondere $< 4,5$ liegt Chrom auch im oxidierenden Milieu überwiegend als Chrom(III)-Spezies vor, die auf Grund einer hohen Affinität zu Eisenverbindungen sowie durch Fällungsreaktionen im sauren bis neutralen Milieu nahezu vollständig immobilisiert werden.

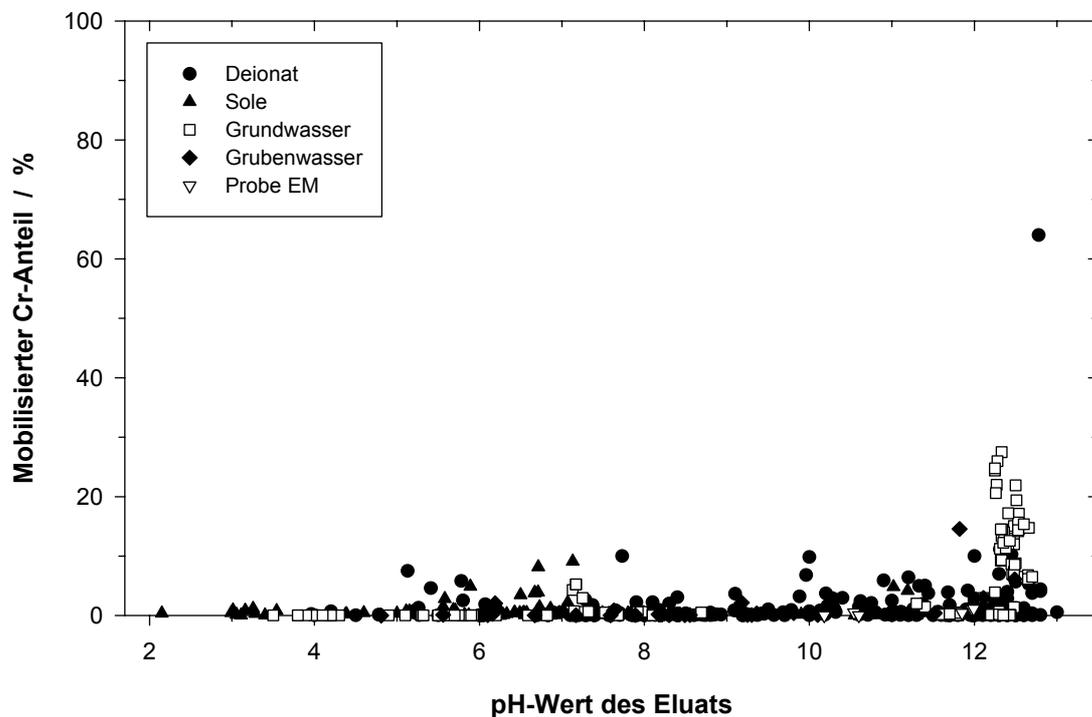


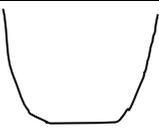
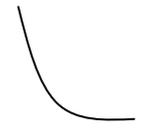
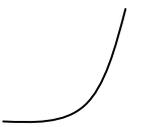
Abb. 5.13 Aus Abfällen mobilisierte Cr-Gesamt-Anteile in Abhängigkeit vom pH-Wert des Eluats

Unter basischen, intermediären bis oxidierenden Bedingungen liegt Chrom überwiegend in der sechswertigen Oxidationsstufe vor, wobei Chromat (CrO_4^{2-}) die vorherrschende Spezies darstellt. Die gute Löslichkeit von Cr(VI)-Verbindungen und die damit hohe Mobilität von Chromat-Ionen im basischen Milieu dokumentiert sich in einem deutlichen Anstieg der mobilisierten Chrom-gesamt-Anteile oberhalb pH 10.

Eine ähnliche pH-Abhängigkeit des Mobilisationsverhaltens kann auch für Antimon, Molybdän und Selen angenommen werden, die unter sauren Bedingungen u.a. als Folge von Sorptions-Reaktionen weitgehend fixiert werden und im alkalischen Milieu durch Austauschreaktionen von Antimonat-, Molybdat- und Selenat- (auch Selenit-) Ionen mit OH-Ionen zunehmend mobilisiert werden. In salzreichen Lösungen werden ferner spezifisch gebundene Antimonat-, Molybdat- und Selenat- (auch Selenit-) Ionen durch Chlorid, Sulfat und Phosphat in beträchtlichem Maße von ihren Bindungspositionen verdrängt.

In Tabelle 5.1 sind schematisch die in dem AMANDA-Datenpool dokumentierten Abhängigkeiten zwischen mobilisiertem Schadstoffanteil und pH-Wert des Eluats zusammenfassend dargestellt. Diese entsprechen weitgehend den Ergebnissen anderer Autoren /IAWG 97, SLO 97/. Bei den in AMANDA erfassten Eluaten liegen die mobilisierbaren Arsen-, Quecksilber- und Vanadium-Anteile überwiegend unter 5% und lassen keine eindeutige Beziehung zum pH-Wert des Eluats erkennen.

Tab. 5.1 Schematische Darstellung der Beziehungen zwischen mobilisierten Schadstoffanteilen und pH-Wert

pH-Abhängigkeit	Elemente
	Ni, Pb, Zn
	Cu, Cd
	Cr-G, Mo, Sb, Se
keine erkennbare pH-Abhängigkeit	As, Hg, V

5.2.4 Elementspezifische Dynamik der Schadstoffmobilisierung

Sowohl das dynamische Verhalten von Metallen in der Umwelt als auch deren ökotoxikologische Wirkungen sind eng verknüpft mit den Bindungsformen, in denen die einzelnen Metalle auftreten. Die Kinetik der Schadstoffmobilisierung aus verschiedenen, zumeist leichtlöslichen Bindungsformen, kann mit Säulenversuchen ermittelt werden. Im Folgenden sind Auswertungsbeispiele von Säulenversuchen aufgeführt, die aufgrund ihrer Versuchskonzeption und Beprobungen bei sehr geringen Flüssig/Fest-Verhältnissen sowohl Rückschlüsse auf die element-spezifische Kinetik als auch auf die abfall-spezifische Mobilisierung erlauben. Bis zu zehn Säulenelutionsversuche konnten unter diesen Vorgaben (je nach Analysenumfang der Proben) ausgewertet werden. Aus den kumulativ mobilisierten Anteilen eines Inhaltsstoffes kann ferner dessen Freisetzungspotential aus dem jeweiligen Abfall abgeschätzt werden.

An Hand der element-spezifischen Auswertung kann – für diese allerdings geringe Anzahl von Abfällen (vgl. Kap. 5.2.6) – zwischen mobilen Inhaltsstoffen und gering mobilisierbaren Inhaltsstoffen unterschieden werden. Zu den mobilen Elementen sind neben den Hauptkomponenten Natrium, Kalium, Calcium, Chlorid und Sulfat auch Selen, Blei und Molybdän zu zählen.

Kalium und Natrium werden in den untersuchten Abfällen relativ rasch und meist in hohen Anfangskonzentrationen ausgetragen (Abb. 5.14 und 5.15). Im Gegensatz zum Feinerz, bei dem über 90% des Na-Gesamtgehaltes von 3820 mg/kg bzw. nahezu 80% des K-Gesamtgehaltes bereits im Initialstadium des Laugungsversuches mobilisiert wird, sind in der Flugasche Natrium und Kalium silikatisch gebunden und daher nur in geringen Anteilen mobil. Die Sulfatfreisetzung ist hingegen in fast allen Abfällen noch nicht abgeschlossen (Abb. 5.16). Es ist anzunehmen, dass Sulfat sowohl mit den Alkalien in Form von leicht löslichen Verbindungen als auch mit dem langsam freisetzenden Calcium (Abb. 5.17) assoziiert vorliegt.

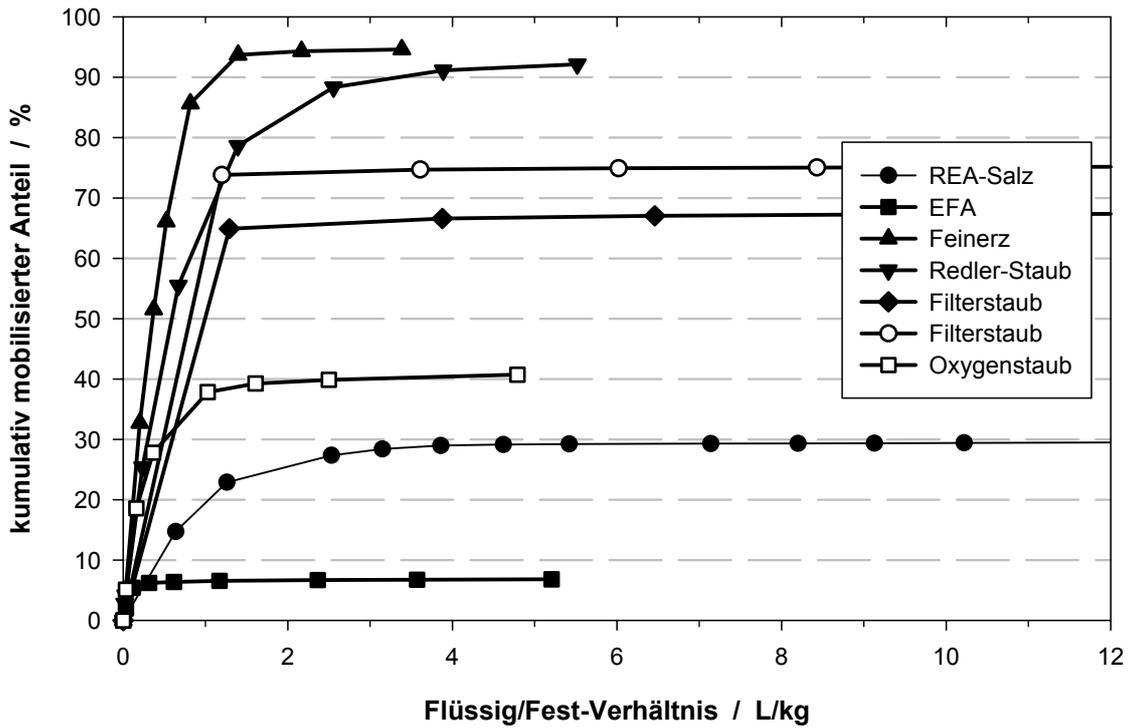


Abb. 5.14 Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Natrium bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen

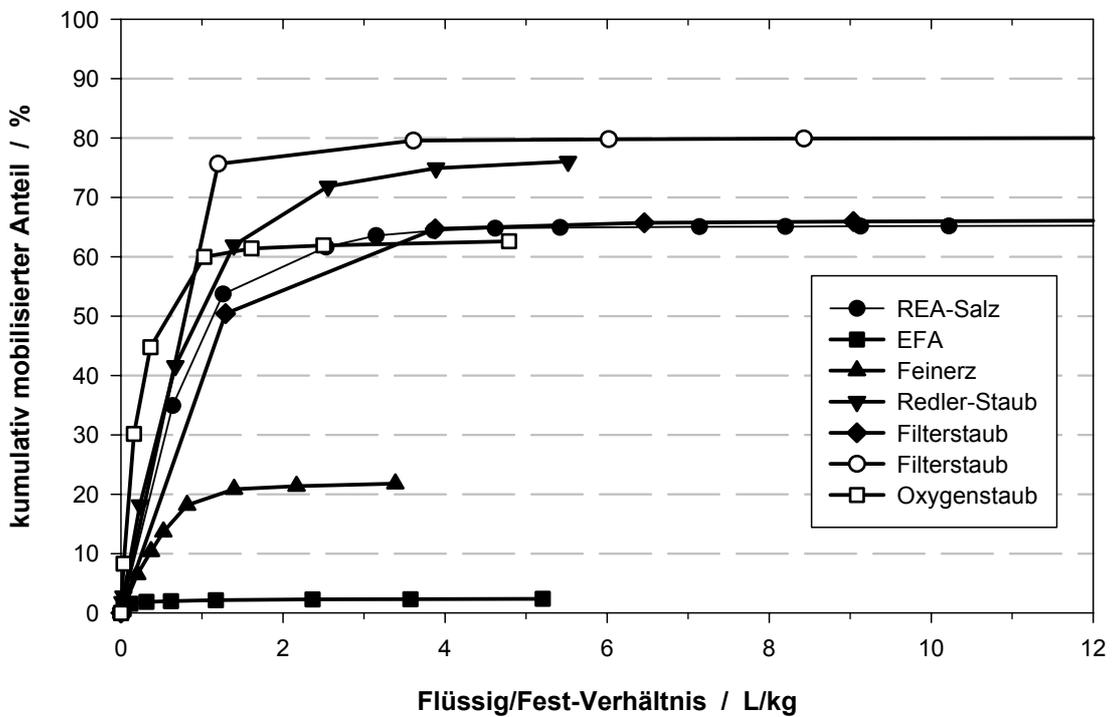


Abb. 5.15 Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Kalium bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen

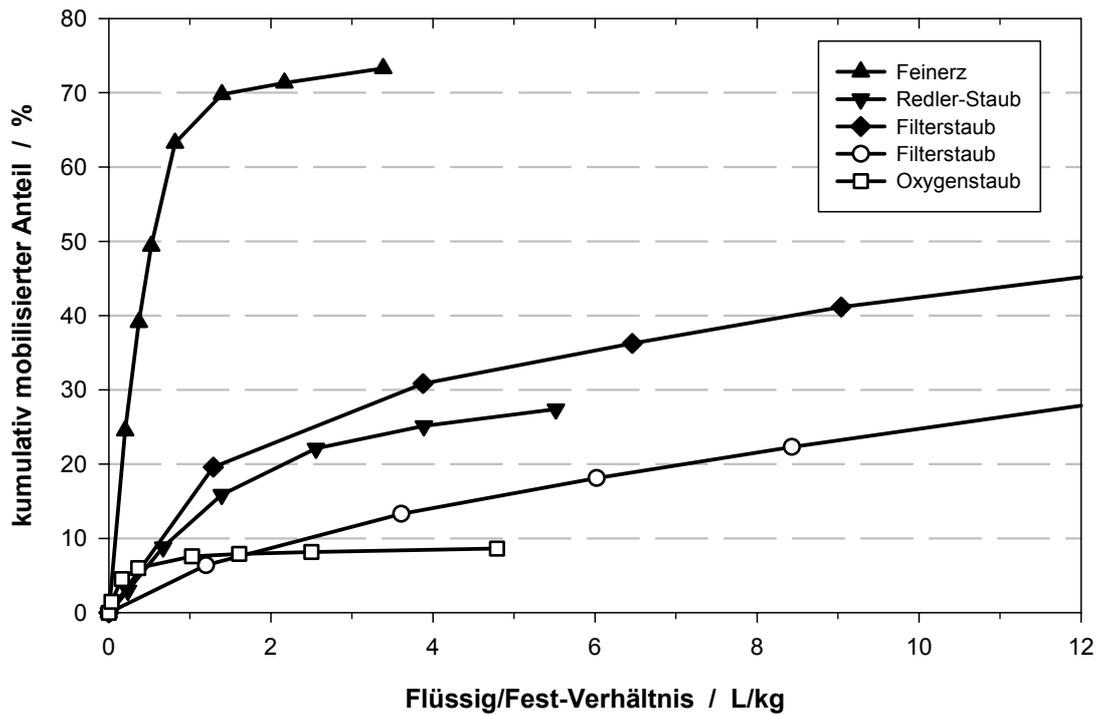


Abb. 5.16 Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Sulfat bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen

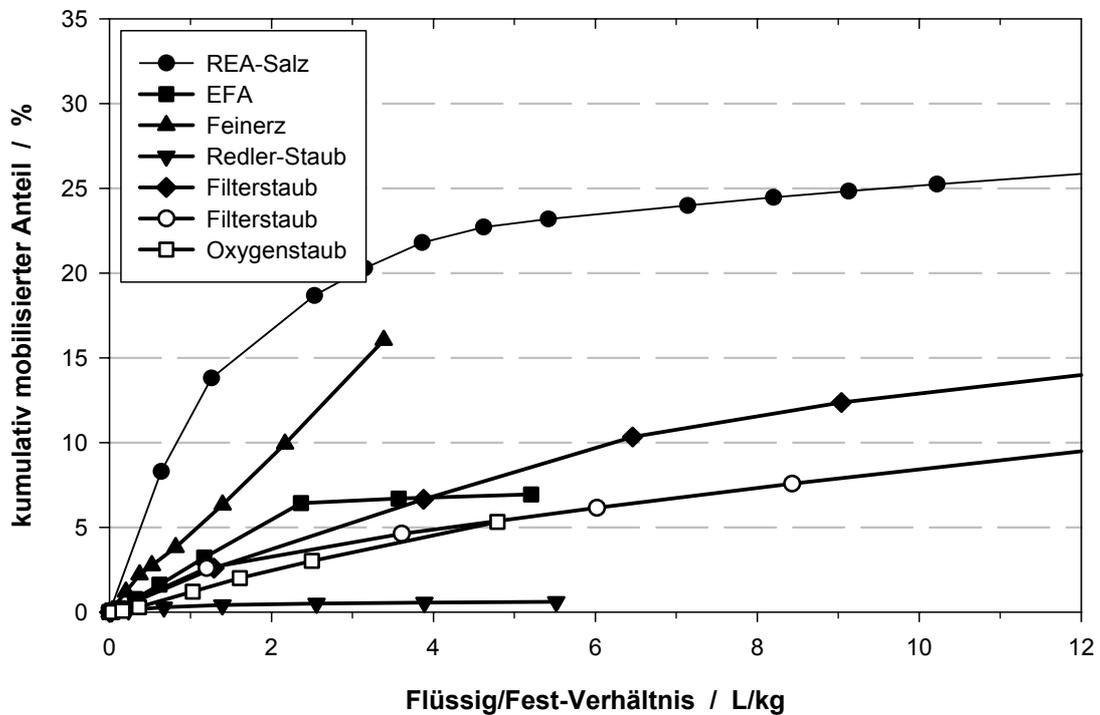


Abb. 5.17 Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Calcium bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen

Auch die untersuchten Schadstoffe besitzen im wesentlichen einheitliches Mobilisationsverhalten, trotz der in Herkunft und Matrix sehr unterschiedlichen Abfälle. Entsprechend der hohen Mobilität (bis 40 %) löst sich Molybdän (Abb. 5.18) auch in Analogie zu den Alkalielementen (Na, K) und Chlorid. Dieses Verhalten spricht für die Bildung ähnlich gut löslicher Molybdänverbindungen oder die Einbindung des Molybdäns in die o.g. Salze.

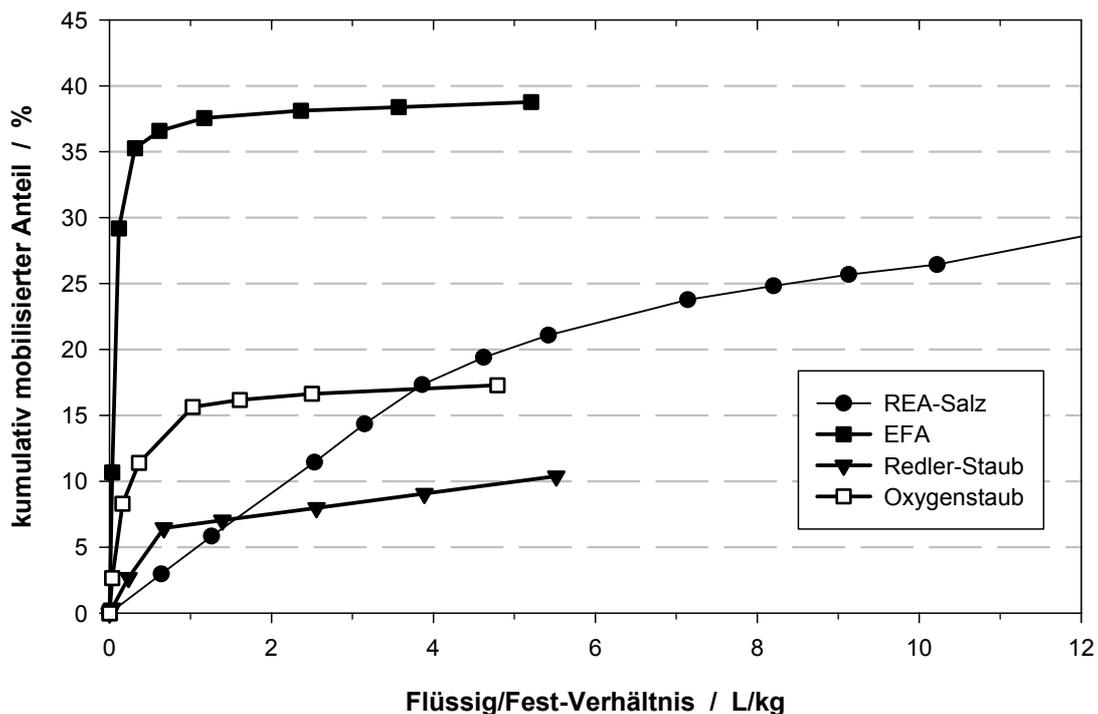


Abb. 5.18 Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Molybdän bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen

Auch Blei besitzt eine ausgeprägte Korrelation zur Mobilisationsdynamik von Kalium und Natrium bzw. Chlorid (Abb. 5.19). Dies gilt sowohl für Abfälle mit geringeren (<500 mg/kg) als auch mit hohen Pb-Gesamtgehalten (>3000 mg/kg). Für den Großteil der betrachteten Abfälle ist daher bereits bei einem Flüssig/Fest-Verhältnis von 5 L/kg das mobilisierbare Schadstoffpotential erreicht (Flugasche, Filterstaub, REA-Salz). Es ist anzunehmen, dass Pb in diesen Abfallgruppen (LAGA 31308, 31309, 31312) als leichtlösliche Salze mobilisiert wird. Abweichend hiervon deutet der nahezu lineare Verlauf der kumulativ mobilisierten Blei-Anteile aus dem Oxygenstaub, Feinerz sowie der Elektrofilterasche auf andere, möglicherweise sulfatische, silikatische und/oder oxidische Bindungsformen hin.

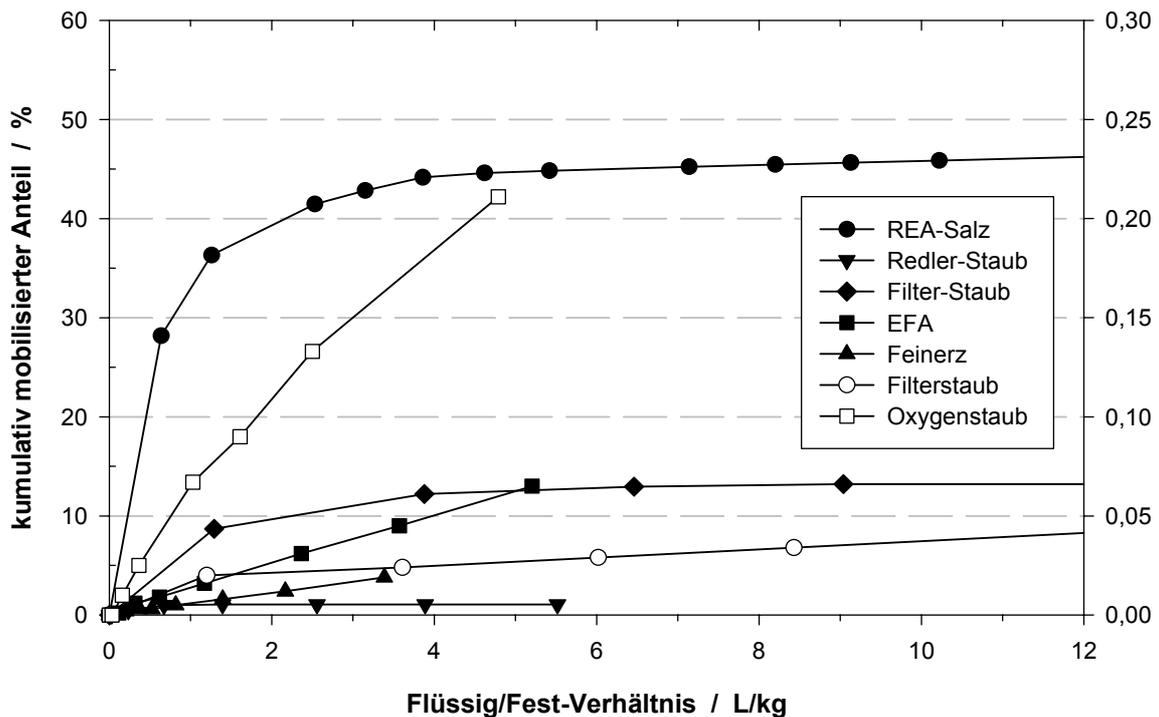


Abb. 5.19 Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Blei bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen (die rechte Skala gilt für EFA, Feinerz, Filterstaub und Oxygenstaub)

Selen (Abb. 5.20), Arsen (Abb. 5.21) und Vanadium (Abb. 5.22) werden nur langsam aus den Feststoffen ausgetragen. Diese Elemente bilden unter oxidierenden Bedingungen oxidische, lösliche Spezies (Arsenate, Vanadate) und zeigen nur eine geringe Bildung von Komplexen mit den Anionen Chlorid oder Sulfat. Entsprechend ist die Mobilisation auch nicht an die Lösung dieser Komponenten gekoppelt.

Die Auswertung von Säulenversuchen zeigt, dass in manchen Abfällen die Mobilisierung verschiedener Schadelemente bei einem Flüssig/Fest-Verhältnis von 10 L/kg beendet ist, in manchen hingegen noch nicht. Für eine gesicherte Prognose des mobilen Schadstoffpotentials sind daher prinzipiell Säulenversuche mit einem weiten Flüssig/Fest-Verhältnis (> 10 L/kg) oder die Bestimmung von Elementbindungsformen mittels sequentieller Extraktionen erforderlich. Die Laugung mit dem DEV-S4-Verfahren ist in diesem Zusammenhang für die Bestimmung des mobilen Potentials dieser Elemente nicht weiter hilfreich, da auch in diesen Lösungen Sättigungsgleichgewichte wirksam sind und - ebenso wie in den Säuleneluat - nur Gleichgewichtskonzentrationen unter bestimmten geochemischen Rahmenbedingungen ermittelt werden.

Eine Bewertung hinsichtlich einer möglichen Fortsetzung des Schadstoffaustrages ist zudem aufgrund der Ein-Punkt-Daten nicht möglich.

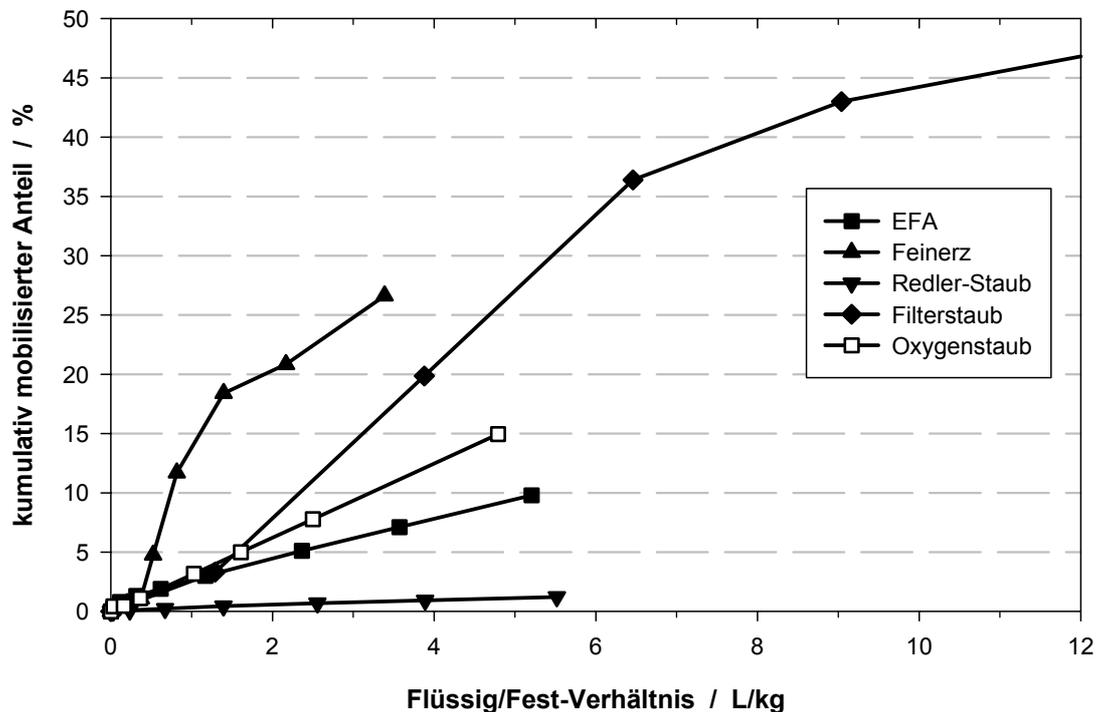


Abb. 5.20 Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Selen bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen

Der Vergleich verschiedener Elutionsverfahren (siehe Kap. 5.2.7) zeigt, dass eine Prognose der mobilen Stoffmengen und insbesondere der potentiell erreichbaren Eluat- bzw. Sickerwasser-Konzentrationen allein auf Basis des DEV-S4-Versuches aufgrund der stoffspezifischen Mobilisationseigenschaften problematisch ist.

Dennoch lassen sich verschiedene milieuhängige Beziehungen (z.B. pH-abhängiges Mobilisationsverhalten u.a.) sowie schadstoffspezifische Mobilisations-Charakteristika in Abfällen an Hand gezielter Datenbank-Abfragen feststellen. Ferner ergeben sich Möglichkeiten, bei der Auswertung hinreichend großer Datenmengen Stoffgruppen zu identifizieren, für die dann jeweils elementspezifische Mobilitäten (bzw. Bandbreiten) und auch die dazugehörige Mobilisationsdynamik definiert werden können. Mit solchen Aussagen könnten zeit- und kostenintensive Einzeluntersuchungen eingeschränkt und eine höhere Datensicherheit auch für die Prognose eines Quellterms geschaffen werden.

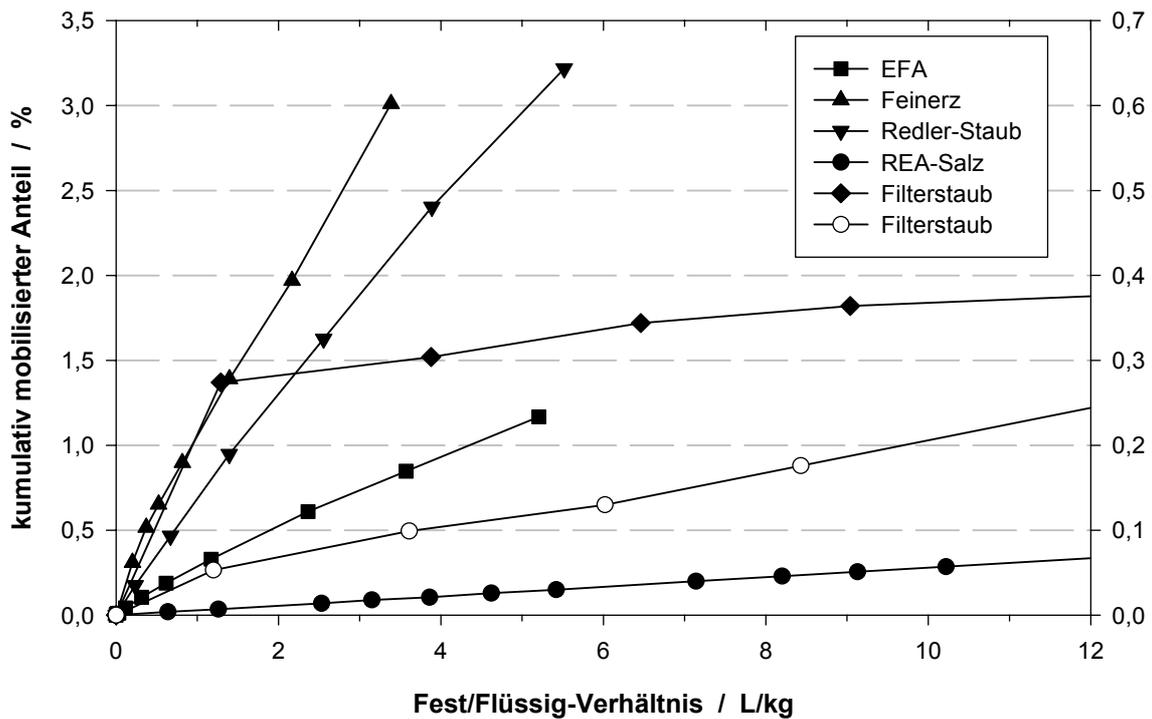


Abb. 5.21 Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Arsen bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen (die rechte Skala gilt für REA-Salz und beide Filterstäube)

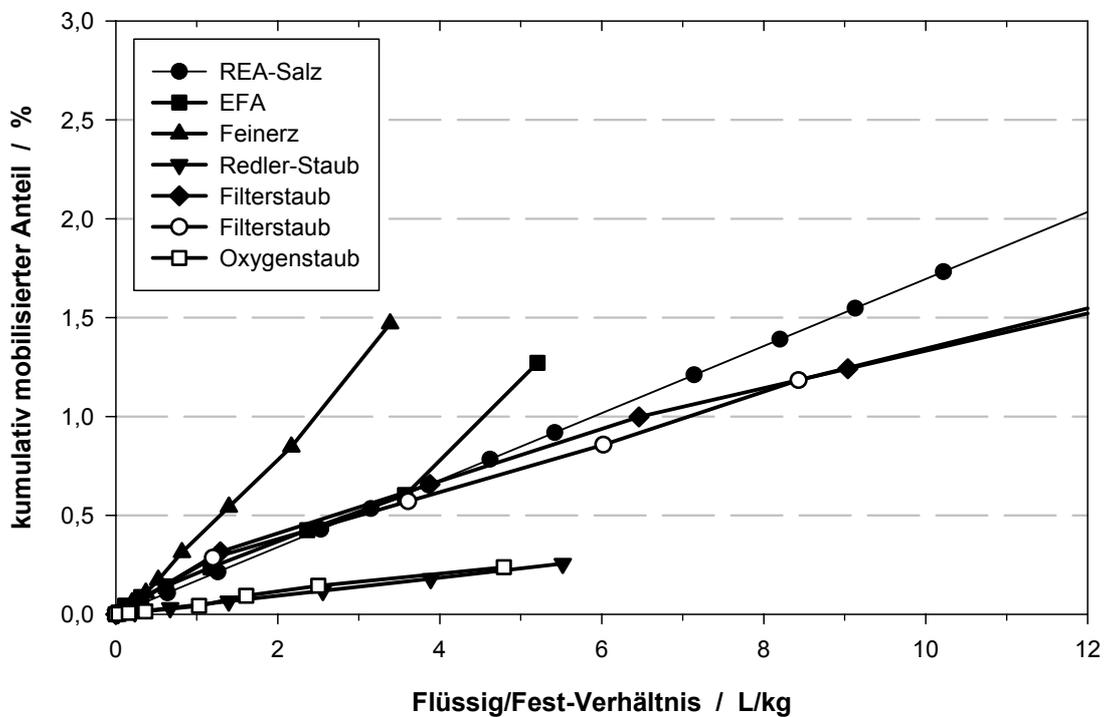


Abb. 5.22 Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Vanadium bei Säulenversuchen mit den untersuchten Abfällen

5.2.5 Stoffspezifische Dynamik der Schadstoffmobilisierung

Eine Vielzahl der in der Datenbank enthaltenen physikalischen, chemischen und mineralogischen Kenngrößen beziehen sich auf Stoffe, die in Verbrennungsanlagen (Hausmüll-, Sonderabfallverbrennung) sowie in Feuerungsanlagen mit nachgeschalteter Rauchgasreinigung entstehen. Hierbei handelt es sich neben den Verbrennungsrückständen wie Schlacken und Filterstäuben auch um feste Reaktionsprodukte aus verschiedenen, mehrstufigen Reinigungsverfahren (Rauchgasreinigung). Art und Menge der Verbrennungsrückstände hängen zum einen von der Zusammensetzung des Abfalls, dem Verbrennungssystem, der Rauchgasrückführung sowie zum anderen vom Verfahren der Abgasreinigung (Nassverfahren, Quasitrockenverfahren, Trockenverfahren) ab. Nach /BRA 91b/ enthalten die zum größten Teil der Verwertung zugeführten und/oder oberirdisch abgelagerten Verbrennungsschlacken als Hauptbestandteile Al-, Fe- und Si-Oxide sowie Oxide und Karbonate der Alkali- und Erdalkalimetalle. Die bei der Entstaubung von Rauchgasen (Elektro-, Nasselektro-, Gewebefilter) anfallenden Filterstäube und die Reaktionsprodukte aus der Rauchgasreinigung enthalten in Abhängigkeit vom Absorptionsmittel (Ca(OH)_2 , NaOH) neben verschiedenen Oxiden auch in erheblichen Mengen lösliche Chloride, Sulfate, Sulfite, Fluoride sowie organische Schadstoffe.

Die Bestimmung der Elementgesamtgehalte in Reststoffen bildet die Grundlage für alle weiterführenden Untersuchungen. Da sich auch die in besonderem Maße umweltrelevanten Schwermetalle auf verschiedene Kornoberflächen bzw. Verbindungen unterschiedlicher Löslichkeit verteilen, bleibt die Aussagekraft der Gesamtanalyse auf die Umweltverträglichkeit der Proben gering. Sie erlauben jedoch eine erste Abschätzung der Gefährdungspotentiale und der Stoffeigenschaften.

Aus den an Hand von Säulenversuchen ermittelten mobilisierbaren Schadstoffanteilen sowie deren Austragsverhalten lassen sich auch erste Aussagen zu vorhandenen Bindungsformen sowie dem mobilisierbaren Schadstoffpotential des Abfalls machen.

Bei dem exemplarischen Vergleich zwischen einem REA-Salz und einem Filterstaub fällt zunächst der Verlauf der kumulierten Schadstoff-Austräge auf (Abb. 5.23 und 5.24). Bei der Säulenelution des REA-Salzes wird bereits bei kleinem Flüssig/Fest-Verhältnis für nahezu alle Inhaltsstoffe das mobilisierbare Potential erreicht. Die linearen Austragskurven im Filterstaub lassen hingegen auch bei einem Flüssig/Fest-Verhältnis

von 12 L/kg noch keine Erschöpfung des mobilisierbaren Schadstoffpotentials erkennen (Abb. 5.24). Ferner liegen die mobilisierten Schadstoff-Anteile im REA-Salz teilweise um mehrere Größenordnungen über denen des Filterstaubes. So betragen die im REA-Salz gelösten Blei- und Zinkmengen in etwa das 1000fache des Lösungspotentials des Filterstaubes.

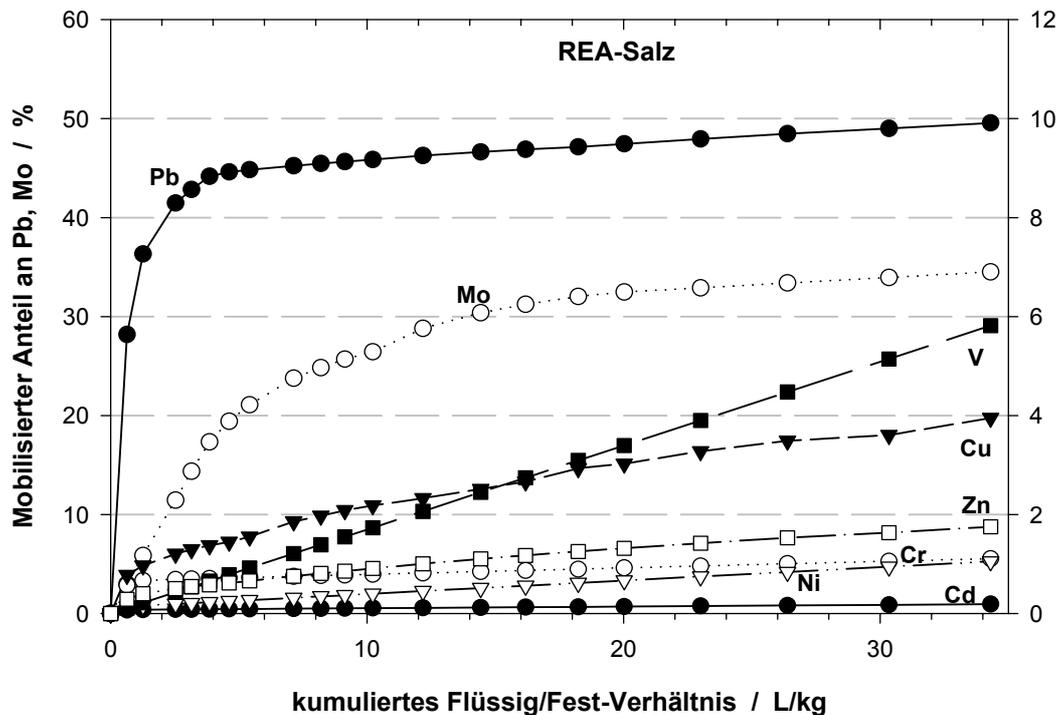


Abb. 5.23 Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes verschiedener Inhaltsstoffe beim Säulenversuch mit einem REA-Salz (linke Skala: Pb, Mo; rechte Skala: übrige Elemente)

Das erheblich voneinander abweichende Mobilisationsverhalten ist auf die unterschiedlichen Bindungsformen und -stabilitäten in den beiden Abfällen zurückzuführen. Im REA-Salz bilden leichtlösliche Calcium-Chlorid-Hydroxide bzw. Calciumhydroxide sowie Calcit und Halit die Hauptphasen.

Der Mineralbestand der untersuchten Filterstäube zeichnet sich im Wesentlichen durch schwerlösliche silikatische und oxidische Mineralphasen aus. Karbonate, Sulfate und Hydroxide liegen als Nebenbestandteile und Spuren vor.

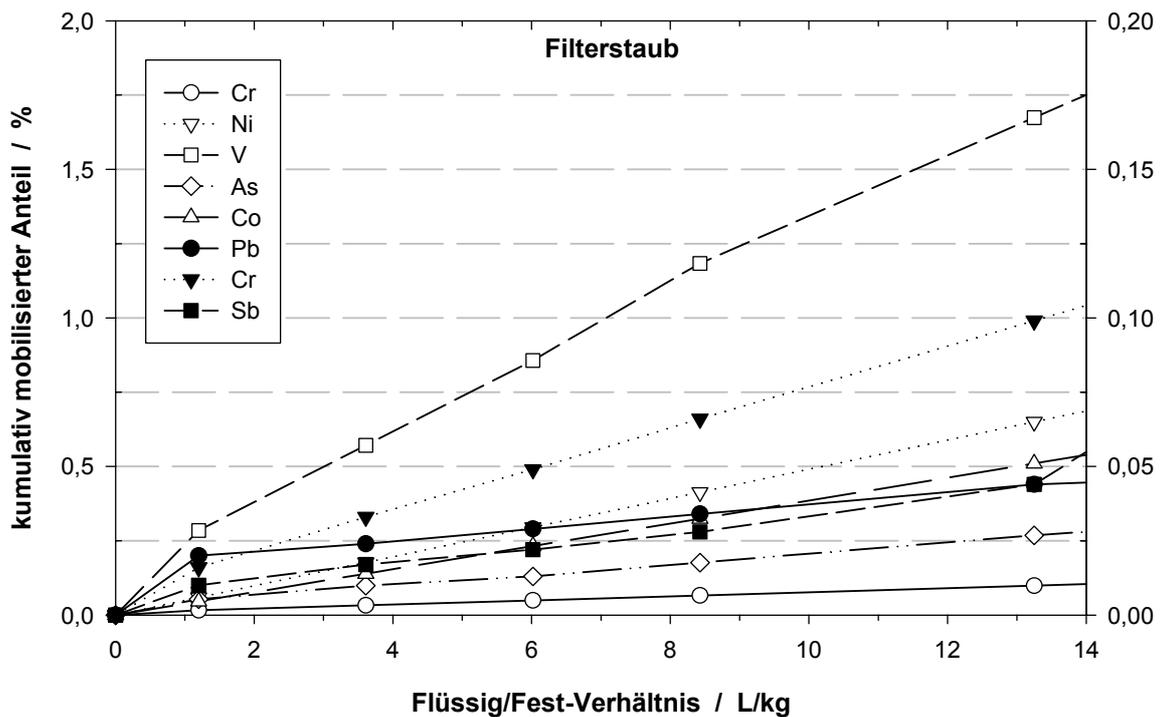


Abb. 5.24 Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes verschiedener Inhaltsstoffe beim Säulenversuch mit einem Filterstaub (linke Skala: offene Symbole, rechte Skala: volle Symbole)

Die Beispiele zeigen somit, dass elementspezifische Mobilisation auch abfallspezifisch erfolgt und dass sich diese beiden Einflussfaktoren überlagern. Man muss demnach einen Abfall schon sehr genau in seiner Zusammensetzung kennen (chemische Zusammensetzung, mineralogische Zusammensetzung, Elementbindungsformen), um eine genaue Prognose zur Schadstofffreisetzung (immer bestehend aus mobilisierter Menge, Höhe der Konzentrationen, Freisetzungsdynamik) treffen zu können. Trends hingegen lassen sich aus der AMANDA-Datenbank sehr wohl ableiten. Die aus den vorhandenen Daten anzuleitenden statistischen Sicherheiten sind derzeit jedoch noch zu gering, als dass sie einen Elutionsversuch ersetzen könnten.

Säulenversuche erfassen im wesentlichen die Kinetik der leicht mobilisierbaren Schadstoffpotentiale. Sequentielle Extraktionen, in denen durch Einsatz verschiedener, aufeinanderfolgender Elutionsmittel zunehmend stabilere Bindungsformen erfasst werden, stellen eine sinnvolle Ergänzung zur Kennzeichnung der milieuhängigen Schadstoff-Freisetzung dar. Eine Aufnahme des sehr umfangreichen Datenpools zu sequentiellen Extraktionen ist daher für zukünftige Arbeiten mit der Datenbank AMANDA dringend angeraten.

5.2.6 Elementspezifische Mobilisierbarkeit

Die verschiedenen in der Datenbank erfassten Abfälle enthalten die jeweiligen Schadstoffe in z.T. sehr unterschiedlichen Gehalten (vgl. Kap. 5.2.1). Dies führt auch bei ähnlichen – und natürlich erst recht bei verschiedenen – Bindungsformen, zu einer sehr großen Variabilität der ermittelten Schadstoffkonzentrationen in den Eluaten. Darüber hinaus wurden die in der Datenbank erfassten Eluate unter z.T. sehr unterschiedlichen Bedingungen (Flüssig/Fest-Verhältnis, Temperatur, Salinität der Elutionslösung, Versuchsdauer) erstellt. Insbesondere die verschiedenen Teillösungen dynamischer Laugungsversuche sind weder untereinander noch mit anderen Versuchen oder Elementen zu vergleichen. Sinnvoll ist es daher, den Endzustand der verschiedenen Versuche zu betrachten, z.B. die insgesamt ausgelaugte Stoffmenge (= kumulative Stoffmenge X-mk). In Abb. 5.25 ist die enorme Bandbreite der mobilisierten Schwermetallmengen bei einstufigen Batchversuchen dargestellt. Zusätzlich sind statistische Informationen wie Mittelwerte, Medianwerte und 90%-Quantilwerte dargestellt.

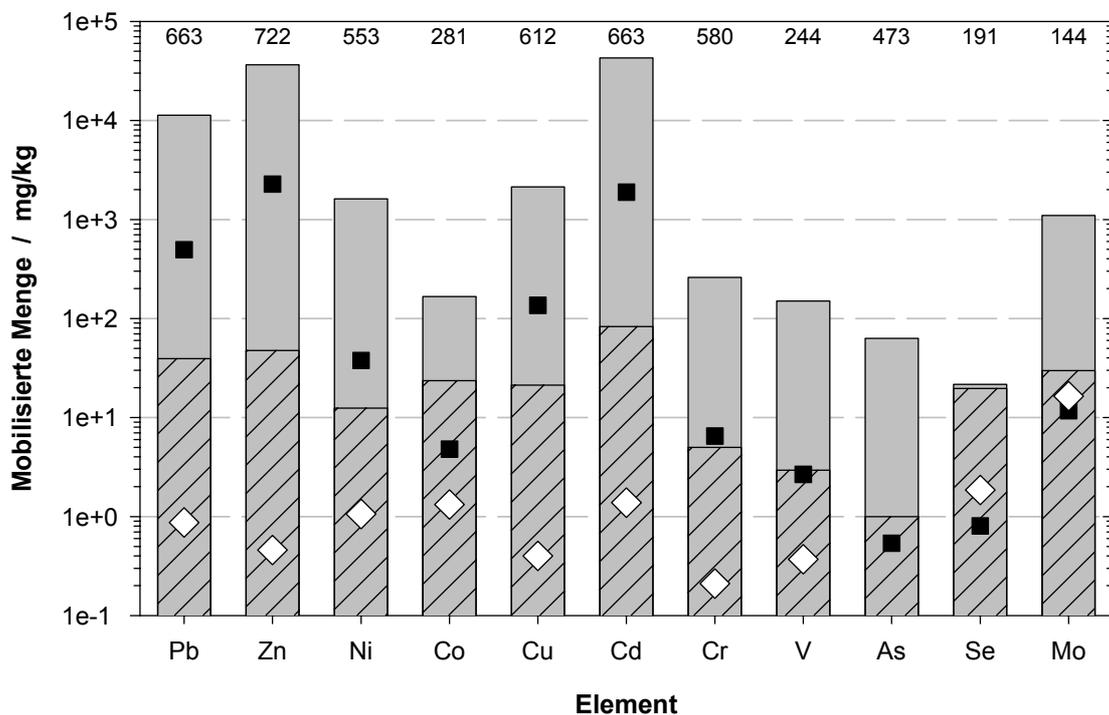


Abb. 5.25 In einstufigen Batchversuchen (BatchES und BatchPV) mobilisierte Metallmengen. (schraffierter Bereich = 90%-Quantil, ■ = Mittelwert, ◇ = Medianwert). Die Zahlen geben die Anzahl der ausgewerteten Elutionsversuche an

Während entsprechend der meist nur geringen Feststoffgehalte auch die Freisetzungen von Cobalt, Chrom, Vanadium, Arsen und Selen die 100 mg/kg kaum überschreiten (Mittelwerte < 10 mg/kg), erreichen die mobilisierten Cadmium- und Zinkmengen mehrere % (> 10.000 mg/kg). Die Anzahl der ausgewerteten Versuche beträgt auch bei den seltener analysierten Elementen > 150, womit eine ausreichende Aussagekraft gewährleistet ist. Zu berücksichtigen ist bei allen derartigen pauschalen Auswertungen, dass in den untersuchten Abfälle meist unterschiedliche Elementspektren analysiert worden sind und auch die Schwerpunkte bei der Untersuchungsmethodik (Salinität, pH, Temperatur) sehr unterschiedlich ausfallen können. Zudem wurde keine Versuchsauswahl insofern vorgenommen, dass nur ein Versuch je Abfall ausgewählt wurde. Dies führt dazu, dass keine stoffspezifisch repräsentative Verteilung vorliegt und manche Abfallproben mit bis zu 20 Versuchen überrepräsentiert sind.

Während die Bandbreiten und Mittelwerte deutlich elementspezifisch variieren, ergeben die Median- und 90%-Quantil-Werte ein vergleichsweise homogenes Bild. Bei den meisten Elementen differieren die Mittelwerte und die Medianwerte deutlich voneinander. Insbesondere für die Elemente Pb, Zn, Ni, Cu und Cd, für die der Mittelwert sogar höher ist als der 90%-Quantil-Wert (vgl. Abb. 5.25), gilt somit, dass relativ wenige Proben mit sehr hohen Eluatkonzentrationen im Datenpool vorhanden sind. Am homogensten und mit dem höchsten Medianwert aller betrachteten Elemente stellt sich die Datenmatrix für Molybdän dar (Median-, 90%-Quantil- und Mittelwert stimmen nahezu überein). Kaum Ausreißerproben existieren auch für Cobalt und Selen. Bis auf sehr wenige Proben wird Arsen nur in Mengen < 1 mg/kg mobilisiert (Median < 0,1 mg/kg).

Will man jedoch die Mobilität der Schadstoffe vergleichend betrachten, ist es erforderlich, eine einheitliche Bezugsgröße zu wählen. Am ehesten eignet sich dazu der mobilisierte Anteil (MA), der bei der Auswertung automatisch aus der Eluatkonzentration, dem Feststoffgehalt und dem Flüssig/Fest-Verhältnis berechnet wird (vgl. Kap. 2.2.2.1). Der mobilisierte Anteil eignet sich immer dann als Bezugsgröße, wenn die Eluatkonzentrationen nicht durch Löslichkeitsgrenzen von Festphasen begrenzt werden. Abb. 5.26 zeigt für die gleiche Versuchsmatrix wie Abb. 5.25 die Bandbreite der mobilisierten Metallanteile sowie die zugehörigen statistischen Daten. Die Anzahl der ausgewerteten Versuche ist geringer, da für manche Proben keine Analysen zum Feststoffgehalt vorliegen.

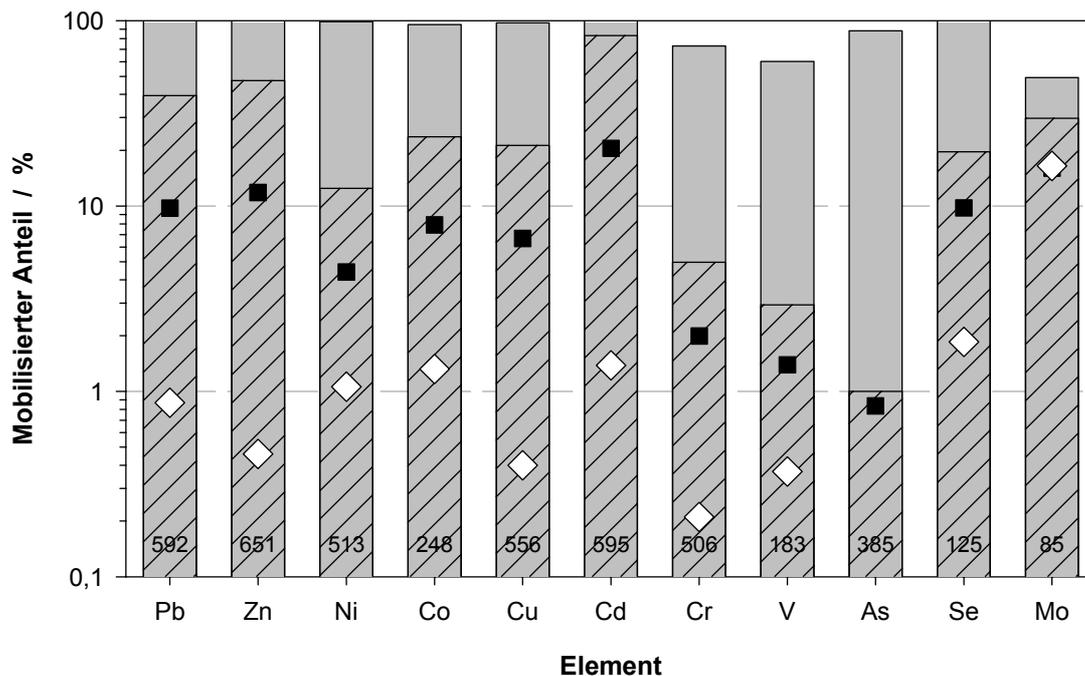


Abb. 5.26 In einstufigen Batchversuchen (BatchES und BatchPV) mobilisierte Anteile vom Feststoffgehalt (schraffierter Bereich = 90%-Quantil, ■ = Mittelwert, ◇ = Medianwert). Die Zahlen geben die Anzahl der ausgewerteten Elutionsversuche an

Für fast alle betrachteten Metalle gibt es Abfälle, aus denen eine nahezu vollständige Freisetzung (100 %) erfolgt. Dass in einigen Proben mobilisierte Anteile > 100 % errechnet werden, kann sowohl mit Inhomogenitäten der jeweils als Feststoff und im Eluat untersuchten Teilproben oder aber - insbesondere auffällig für Selen - mit geringen Feststoffgehalten und (z.T. durch die hochsalinare Eluatmatrix bedingt) relativ hohen analytischen Fehlern bei geringen Eluatkonzentrationen erklärt werden.

Auch hinsichtlich der mobilisierten Anteile fällt die homogen hohe Mobilität von Molybdän auf (Ø 16,0 %, Median 16,5 %, 90%-Quantil 29,7 %). Dies ist jedoch nicht auf die überwiegend geringen Feststoffgehalte der zur Zeit in der Datenbank AMANDA gespeicherten Abfallproben zurückzuführen (vgl. Abb. 5.5), da die ausgewerteten Eluatuntersuchungen fast ausschließlich an 36 Abfällen mit höheren Feststoffgehalten (Ø 212 mg/kg, 90%-Quantil 61 mg/kg, Median 13 mg/kg) vorgenommen wurden.

Vergleicht man die Häufigkeitsverteilung eines mobilen Elementes wie Cadmium (Ø 20,5 %, Median 1,4 %) mit dem sehr immobilen Arsen (Ø 0,8 %, Median 0,04 %),

so ist zu erkennen (Abb. 5.27), dass in beiden Fällen die Versuche, in denen bis zu 5 % des Feststoffgehaltes freigesetzt wurden, deutlich überwiegen (61 % bzw. 97 %). Im Gegensatz zu Arsen gibt es jedoch auch zahlreiche Eluate, in denen deutlich höhere Cadmium-Anteile herausgelöst wurden. Hierbei ist der gesamte Bereich von 5 bis 100 % relativ homogen vertreten. Während man für Arsen mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Freisetzung < 20 % des Feststoffgehaltes prognostizieren kann, ist eine solche einschränkende Aussage für Cadmium pauschal nicht möglich. Die geringe Mobilität von Arsen wird zudem dadurch dokumentiert, dass in 90 % der Versuche weniger als 1 % des Feststoffanteils gelöst werden (Abb. 5.28, vgl. auch 90%-Quantilwerte in Abb. 5.26).

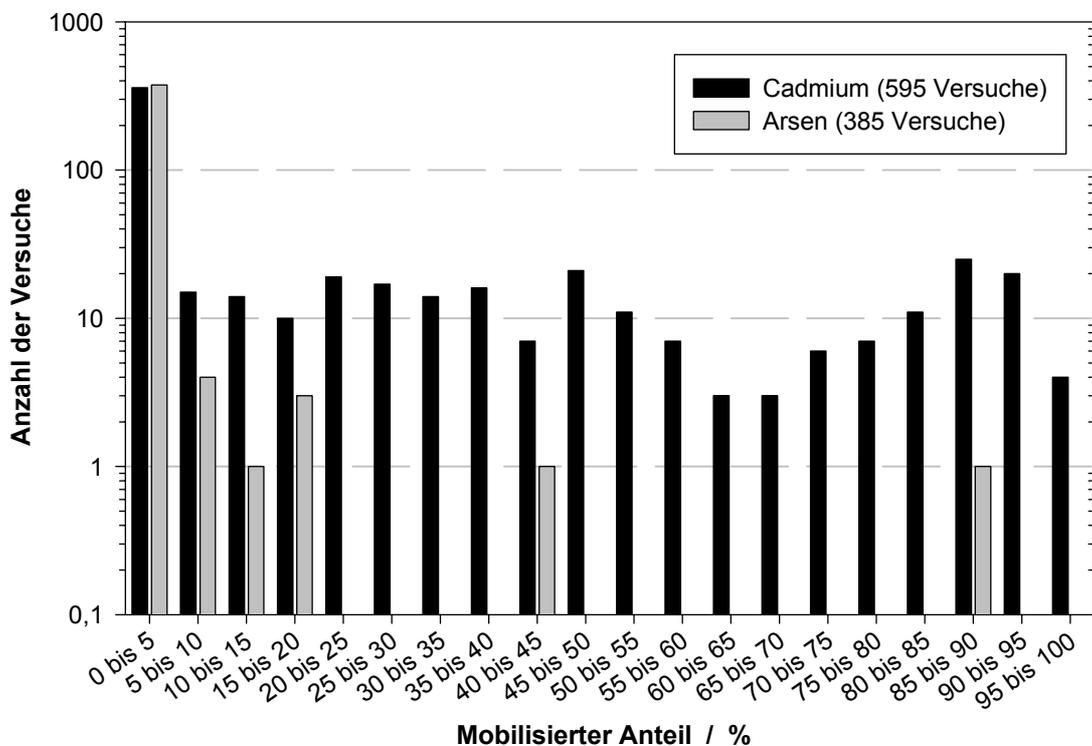


Abb. 5.27 Häufigkeitsverteilung der in einstufigen Batchversuchen (BatchES und BatchPV) mobilisierten Cadmium- und Arsenanteile vom Feststoffgehalt

Eine Einteilung der Elemente in Mobilitätsklassen kann nun auf der Basis der in den einstufigen Batchversuchen mobilisierten Anteile vorgenommen werden. Dazu können die Mittelwerte in Verbindung mit den 90%-Quantilwerten und Medianwerten herangezogen werden (vgl. Abb. 5.26), wobei die Abgrenzungskriterien in Tabelle 5.2 willkürlich sind und nur zur Verdeutlichung der prinzipiellen Aussagemöglichkeiten verwendet werden.

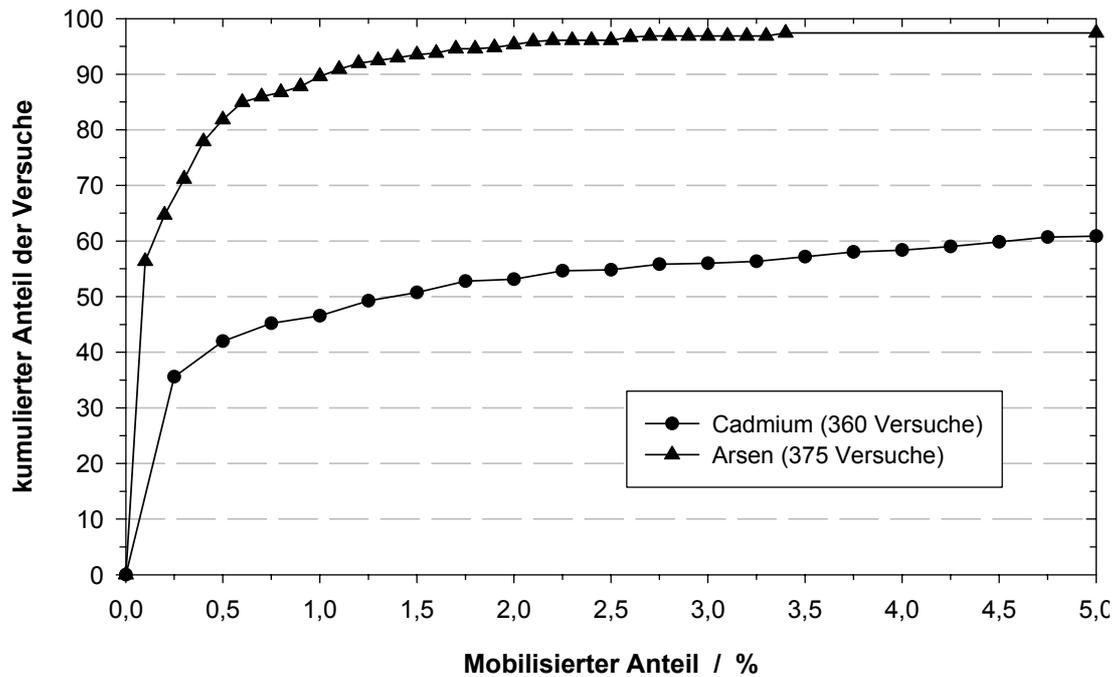


Abb. 5.28 Kumulierte Häufigkeitsanteile der in einstufigen Batchversuchen (BatchES und BatchPV) mobilisierten Cadmium- und Arsenanteile vom Feststoffgehalt (0 bis 5 %)

Tab. 5.2 Elementmobilitäten nach Ergebnissen von einstufigen Batch-Elutionsversuchen

Einstufung	Kriterien	Elemente
hoch mobil	Mittlerer mobilisierter Anteil > 15 % 90%-Quantilwert > 50 % oder Medianwert > 10 %	Cadmium, Molybdän
intermediär mobil	Mittlerer mobilisierter Anteil 5 - 15 % 90%-Quantilwert > 5 % und < 50 % Medianwert > 0,5 %	Zink, Blei, Selen, Cobalt, Kupfer, Nickel
gering mobil	Mittlerer mobilisierter Anteil < 5 % 90%-Quantilwert < 5 % Medianwert < 0,5 %	Chrom (gesamt), Vanadium, Arsen

Bevor nun auf mögliche Ursachen dieser Mobilitätsunterschiede eingegangen wird, sollte geprüft werden, inwieweit diese Daten, die anhand von einstufigen Batchversuchen in den meisten Fällen bei einem statischen Flüssig/Fest-Verhältnis von

10 L/kg gewonnen worden sind, das Mobilitätsverhalten korrekt und repräsentativ beschreiben.

5.2.7 Vergleich der Elutionsverfahren

Für die komplexen Daten, die aus dynamischen Laugungsversuchen (mehrstufige Batchversuche, Säulenversuche) gewonnen werden, kann eigentlich vorausgesetzt werden, dass sie (mit Ausnahme von Umlaufsäulenversuchen) eine vollständigere Auslaugung und Stoffmobilisation bewirken, als bei den statischen einstufigen Batchversuchen und den häufig im Sättigungsbereich befindlichen Kaskadenelutaten. Für diese weiteren drei Versuchstypen wurden entsprechende Berechnungen der mobilisierten Anteile vorgenommen, wie sie den Abb. 5.25 und 5.26 zugrunde liegen. Die mittleren kumulativ mobilisierten Mengen und Anteile zeigen die Abb. 5.29 und 5.30 in Abhängigkeit von den Versuchsarten und den Elementen.

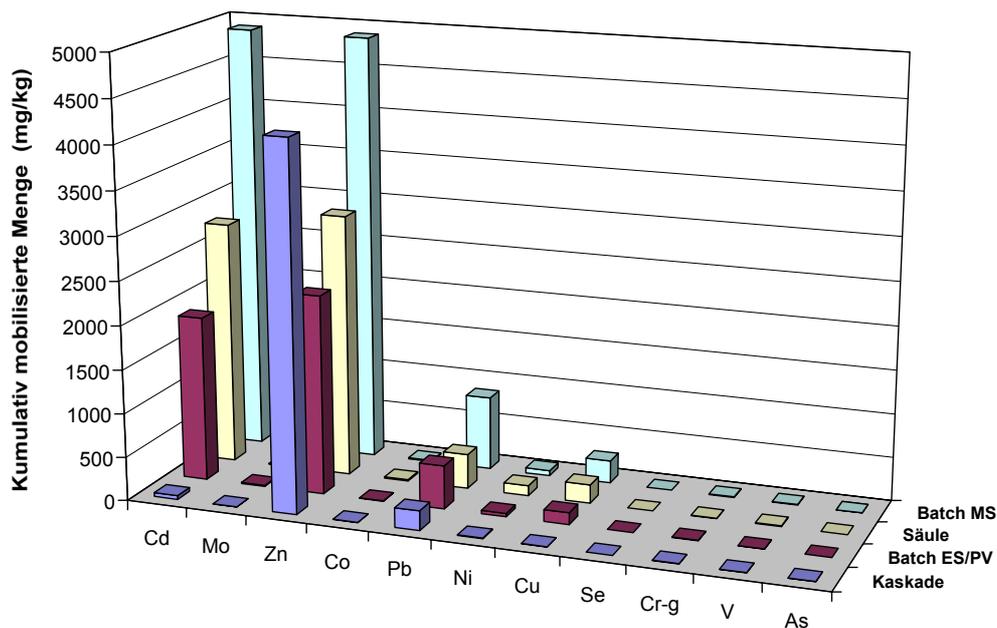


Abb. 5.29 Mittelwerte der in den verschiedenen Elutionsverfahren mobilisierten Schadmetall-Mengen

Auch bei diesem Vergleich ist zu berücksichtigen, dass nicht immer die gleichen Proben mit den jeweiligen Verfahren untersucht worden sind und dass sich die Flüssig/Fest-Verhältnisse bei den einzelnen Verfahren zum Teil um eine bis zwei Größenordnungen unterscheiden. Die Element-Verteilungsmuster der in mehrstufigen

Batch- oder Säulenversuchen mobilisierten Mengen entsprechen dennoch im wesentlichen den einstufigen Elutionen. Insbesondere die freigesetzten Cadmium- und Zinkmengen sind sehr hoch, gefolgt von Blei und Kupfer (vgl. Abb. 5.25).

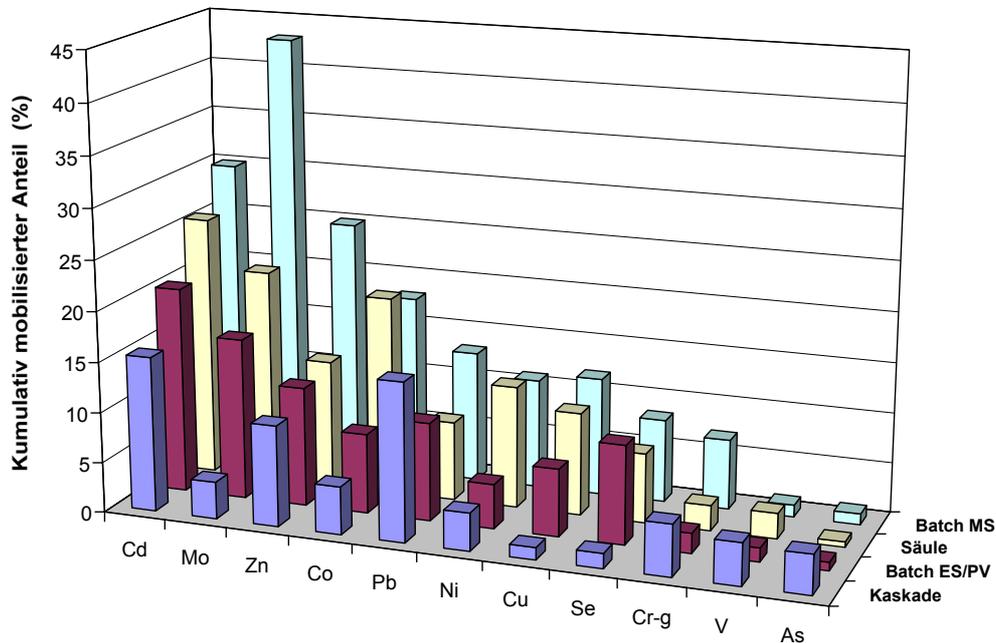


Abb. 5.30 Mittelwerte der in den verschiedenen Elutionsverfahren mobilisierten Schadmetall-Anteile

Die Erwartung, dass die mit den mehrstufigen Elutionsverfahren (Säule, Batch-MS) mobilisierten Mengen größer sind, wird tendenziell bestätigt. Diesen Effekt zeigen auch die mobilisierten Anteile (Abb. 5.30), wobei sich zeigt, dass ein Vergleich der Element-eigenschaften über die mobilisierten Mengen allein nicht möglich ist. Molybdän z.B. gehört bei fast allen Verfahren zu den hochmobilen Elementen ist jedoch wegen der geringen Feststoffgehalte bei der absoluten Freisetzung von sehr geringer Relevanz. So ergeben die beiden Abb. 5.29 und 5.30 hinsichtlich der verschiedenen Verfahren die folgenden pauschalen Aussagen:

- Mit den mehrstufigen Elutionsverfahren Säule und Batch MS, die in den meisten Fällen auch bis zu höheren Flüssig/Fest-Verhältnissen als die einstufigen Batchelutionen durchgeführt wurden, werden im Allgemeinen die höheren Stoffmobilisationen erreicht.
- In der Größenordnung der Schadstofffreisetzung ergeben diese drei Verfahren jedoch durchaus vergleichbare Werte.

- Bei der Kaskadenelution ergeben sich tendenziell für ansonsten mobile Elemente etwas geringere, für ansonsten schlecht mobile Elemente höhere Mobilitäten, so dass die Differenzierung über die betrachteten Elemente geringer ist als bei den anderen Verfahren.

Als Indikator für die Laugungseffektivität der einzelnen Verfahren können die Mittelwerte der für die betrachteten Elemente ermittelten mobilen Anteile verwendet werden. Aus den Daten in Abb. 5.30 ergibt sich die folgende Laugungsreihenfolge der Verfahren:

Batch MS	>	Säule	>	Batch ES/PV	>	Kaskade
15,4 %		11,1 %		8,3 %		6,3 %

Für die mobilen Elemente Cadmium und Molybdän und etwas eingeschränkt Zink und Cobalt ist dieser Trend noch viel deutlicher, bei den schlecht mobilen Elementen Selen bis Arsen auf der rechten Seite (Abb. 5.30) wird er kaum mehr deutlich. Dies kann generell darauf zurückgeführt werden, dass die Mobilisierung der hochmobilen Schadstoffe rascher durch die Löslichkeit eigener Mineralphasen oder durch die Löslichkeit von Wirtsmineralen (z.B. Gips o.ä.) begrenzt wird. Die Zufuhr frischer Auslauglösung bewirkt dann eine weitere Lösung. Stoffe, die hingegen nur in geringen Mengen und mobilen Anteilen im Feststoff und damit in geringen Eluatkonzentrationen vorliegen, können bei geringen Flüssig/Fest-Verhältnissen vergleichsweise hoch angereichert werden.

Die Anordnung der Elemente in Tabelle 5.3 nach abnehmender Mobilisierbarkeit von links nach rechts orientiert sich an den über alle Verfahren erhaltenen Mittelwerten. Auch unter Berücksichtigung anderer Elutionsverfahren kann somit die anhand der einstufigen Batchversuche in Tabelle 5.2 abgeleitete Differenzierung der Elementmobilitäten bestätigt werden. Dieser Standardelutionsversuch ergibt somit (in dieser pauschalen Auswertung) insgesamt aussagekräftige Angaben zu den Schadstoffmobilitäten. Hinsichtlich der bei einer Durchsickerung oder Durchströmung resultierenden Konzentrationen sind aus diesem Eluatwert jedoch nur sehr eingeschränkt Aussagen ableitbar. Säuleneluat ergeben – hier wieder insbesondere für die mobilen Elemente – zu Beginn der Laugung z.T. 10- bis 100-fach höhere Konzentrationswerte (vgl. Kap 5.2.4).

Tab. 5.3 Mittelwerte der mobilen Elementanteile (in % der Feststoffgehalte) über alle vier betrachteten Elutionsverfahren bzw. ohne die Kaskadenelution.

	Cd	Mo	Zn	Co	Pb	Ni	Cu	Se	Cr-g	V	As
Batch MS / Säule / Batch ES/PV / Kaskade	22,9	21,0	14,8	12,6	11,6	7,8	7,4	6,6	4,1	2,3	1,6
Batch MS / Säule / Batch ES/PV	25,4	26,7	16,5	15,2	10,2	9,1	9,5	8,3	3,8	1,7	0,8

5.2.8 Differenzierung nach Stoffgruppen

Die LAGA-Abfallgruppen sind in dem AMANDA-Datenbestand sehr ungleichmäßig enthalten. Die Gruppe der Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung (Obergruppe 313) ist mit ca. 75 % der durchgeführten einstufigen Batchversuche (Batch ES/PV) gegenüber allen übrigen Abfällen überproportional vertreten. Vergleicht man für diesen Versuchstyp die durchschnittlichen Mobilisierbarkeiten einiger Elemente bei Abfällen, die zur LAGA-Obergruppe 313 gehören, mit den jeweiligen durchschnittlichen Werten bei allen übrigen Abfällen (Abb. 5.31), so zeigen sich übereinstimmende Werte für einige Elemente (As, V, Cr, Ni, Se), die im Wesentlichen zu den gering mobilisierbaren Komponenten gehören.

Die hohen Mobilitäten von Cadmium, aber auch von Molybdän, Zink, Blei und Kupfer, zeigen sich vor allem in der LAGA-Obergruppe 313. Die entsprechenden Punkte in Abb. 5.31 weichen zum Teil erheblich von der Geraden ab, die gleiche Mobilisierbarkeit in den beiden Vergleichsgruppen repräsentiert. Die LAGA-Obergruppe 313 ist jedoch für eine untertägige Lagerung besonders relevant, weshalb diesbezügliche Auswertungen über den gesamten Abfallbestand zu einer zu geringen durchschnittlichen Mobilisierbarkeit und somit zu einer für diese Fragestellung tendenziell falschen Aussage führen.

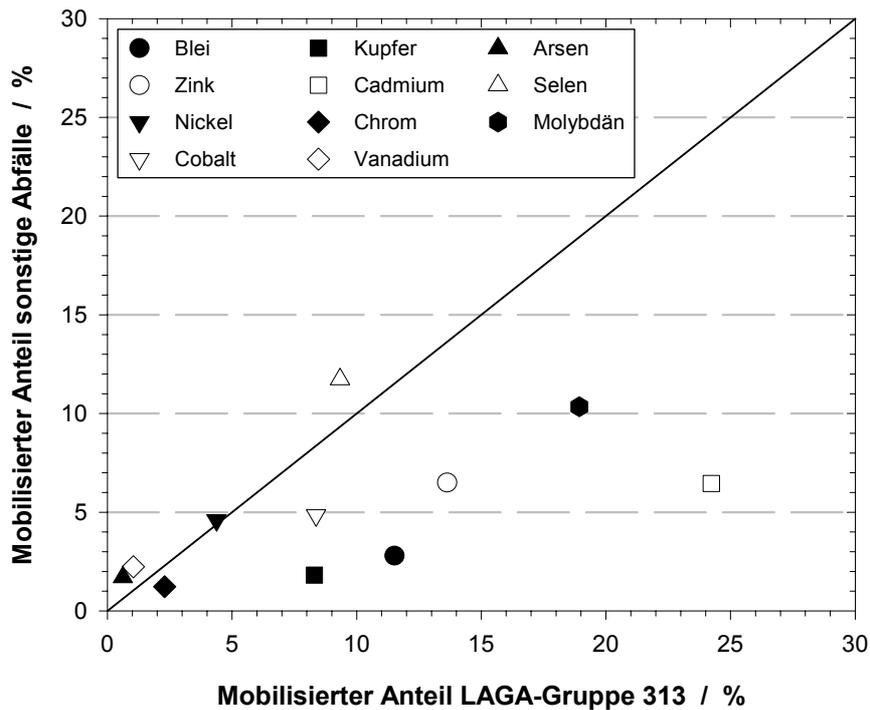


Abb. 5.31 In einstufigen Batchversuchen (Batch MS/PV) mobilisierte Anteile (Mittelwerte) für verschiedene Abfallgruppen des AMANDA-Datenbestandes

5.2.9 Einfluss von Zementanteil und Elutionsverfahren

Die Datenbank enthält 143 Versuche, in denen den jeweiligen Abfällen Zuschlagstoffe zugesetzt wurden. Von diesen Versuchen sind 60 Batchversuche, 21 Säulenversuche und 62 Trogversuche (auf die Art der in den Trogversuchen eingesetzten Zuschlagstoffe wurde bereits in Kap. 4.4.3, Tabelle 4.8, eingegangen).

In diesen Versuchen wurden insgesamt 32 Abfälle untersucht, wobei fast immer auch der Originalabfall ohne Zuschlagstoff eluiert wurde. Diese Zahlen zeigen, dass mit den Abfällen oft Versuchsreihen durchgeführt wurden, in denen die Versuchsart und/oder Parameter variiert wurden. Als Parameter wurden vor allem der Anteil des Zuschlagstoffes und in einigen Fällen die Temperatur und das Elutionsmittel verändert. Mehrere Versuchsreihen mit Trogversuchen wurden darüber hinaus als pH-stat-Versuche (pH-Wert als variiertes Parameter) durchgeführt. Die Datenbankstruktur kennt jedoch keinen TrogPV-Versuch, so dass sich diese Einflussgrößen nur über die einzelnen Parameter erfassen lassen.

Da sich die Rahmenbedingungen für Tests zur Schadstofffreisetzung aus Abfall-Zementgemischen z.T. stark unterscheiden, wurde als Auswertungsbeispiel keine statistische Auswertung des gesamten Datenbestandes vorgenommen, sondern eine vergleichsweise umfangreiche Trogversuchsreihe zum Elutionsverhalten aus Flugasche-Zementgemischen (Bericht 589 bis 593) ausgewählt.

Aus drei Elektrofilterflugaschen (Trockenfeuerung) wurden unter Zusatz von drei verschiedenen Anteilen an Hochofenzement (5 %, 13 % und 30 %) 28 Tage abgebundene Abfall-Zementmischungen hergestellt und nach 3 Verfahren eluiert:

- ≤ 10 mm gebrochene Probe im einstufigen Standard-Batch-Versuch (24 Stunden)
- Trogversuch über 14 Tage
- Trogversuch über 14 Tage bei konstantem pH-Wert von 7 (pH-stat-Versuch)

In den Eluaten wurden die abfalltypischen Schadstoffe As, Se, Cr, V, Mo und Sulfat analysiert. Die Versuche wurden bei gleichen Flüssig/Fest-Verhältnissen (10 L/kg) durchgeführt, die sich auf die Masse der Gesamtmischung beziehen. Zwar wurde der Abfall durch den Zementzusatz bis 30 % deutlich »verdünnt«, so dass für eine Berechnung der aus dem Abfall mobilisierten Anteile die korrigierten Einwaagen berücksichtigt werden müssten, jedoch sind die Zuschlagschlagstoffe nicht per se stoffneutral und von manchen Zementen ist bekannt, dass sie z.B. durchaus relevante und auch mobile Chromanteile enthalten. Um nicht von vornherein in der Auswertung die mobilisierten Stoffmengen dem Abfall zuzuschlagen und fehlerhaft zu berechnen, ist es für die Fragestellung, ob der Zementzusatz die Schadstoffmobilisation vermindert, durchaus sinnvoll, die primären Eluatanalysenwerte (Konzentrationen) zu betrachten.

Im betrachteten Beispiel führt jedoch der Zementzusatz (Hochofenzement CEM III) zu einer nicht mehr nachweisbaren Chromfreisetzung. Bei zwei Flugaschen reicht dazu bereits der Zusatz von 5 % Zement aus, bei Asche E werden 13 % Zement benötigt.

Die Vanadiummobilisation sinkt mit steigendem Zementgehalt mit allen drei Elutionsverfahren kontinuierlich ab (Abb. 5.32). Vanadium wird im Trogversuch im sich natürlich einstellenden basischen »Zement-Milieu« über 14 Tage am besten gelöst, gefolgt vom basischen Batch-Kurzzeitversuch und dem Langzeitversuch bei neutralen

pH-Bedingungen im Eluat. Entsprechende Konzentrationsverteilungen zeigt auch Molybdän. Durch den Zementanteil verminderte Porositäten und damit gebremste diffusive Stofftransporte in die Elutionslösung spielen hierbei wohl die wesentliche Rolle. Auffällig ist die gute Übereinstimmung der mit den verschiedenen Verfahren und Abfallproben erhaltenen Ergebnisse. Über die Versuchsdauer von 14 Tagen werden aus den Probenkörpern diffusiv entsprechende Mengen gelöst, wie aus der Fraktion < 10 mm über 1 Tag. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass sich mit einer kürzeren Versuchsdauer deutlich geringere Schadstoffkonzentrationen erzeugen lassen.

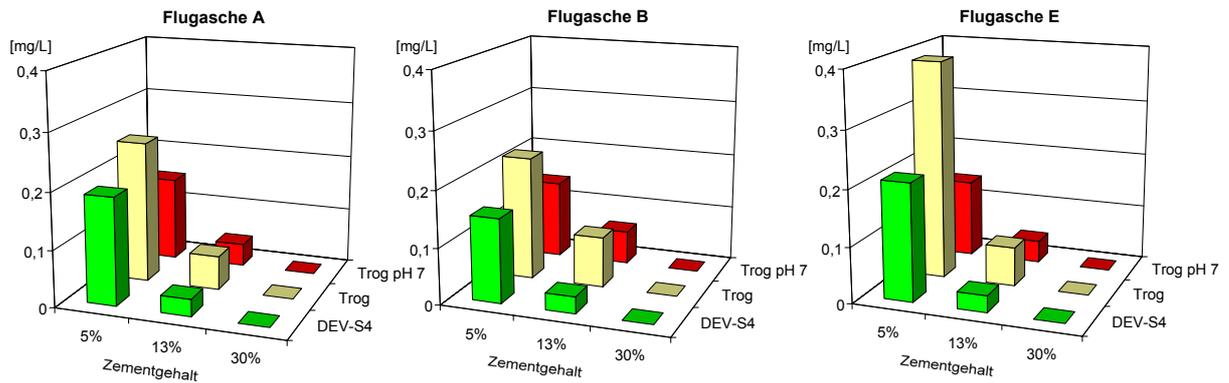


Abb. 5.32 Vanadium; eluierbare Anteile aus drei Elektrofilterflugaschen in Abhängigkeit vom Zementgehalt der Mischung und der Art der Elution (zum Vergleich Werte aus dem Batch-Eluat der unverfestigten Abfälle: 0,36 mg/L; 0,22 mg/L; <0,05 mg/L).

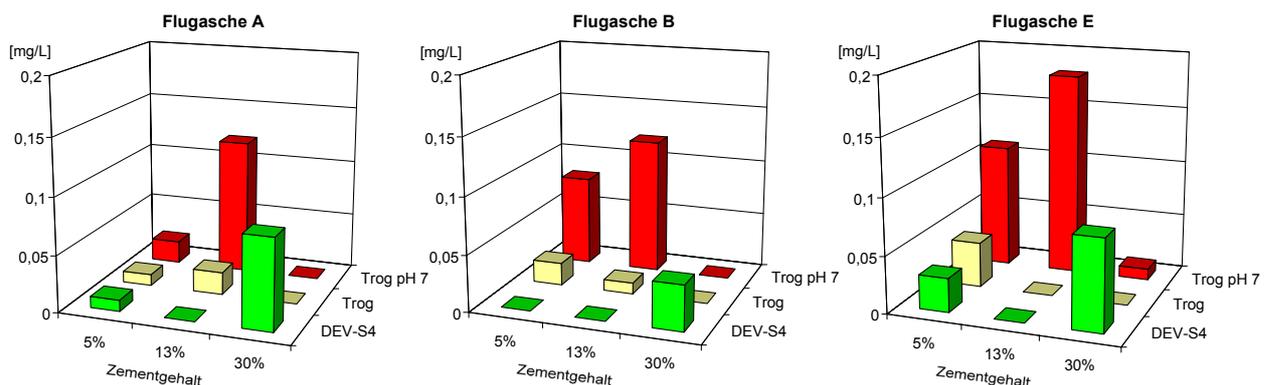


Abb. 5.33 Selen; eluierbare Anteile aus drei Elektrofilterflugaschen in Abhängigkeit vom Zementgehalt der Mischung und der Art der Elution (zum Vergleich Werte aus dem Batch-Eluat der unverfestigten Abfälle: 0,08 mg/L; 0,06 mg/L; 0,07 mg/L)

Im Gegensatz zu Vanadium zeigt Selen ein deutlich heterogeneres Verhalten bezüglich des Zementzusatzes und des Elutionsverfahrens (Abb. 5.33). Ein Absinken des pH-Wertes bewirkt hier überwiegend eine deutliche Erhöhung der Mobilisierung auch über das Niveau des Original-Abfalls. Der Zusatz von 30 % Zement führt überraschenderweise trotz höherer Festigkeit zu keiner Verringerung der Mobilisation gegenüber der unverfestigten Flugasche mehr. Auch die bei neutralen pH-Werten höheren Selen-Konzentrationen mit 13 % Zement lassen den Zement als Selenquelle als möglich erscheinen.

Diese Beispiele zeigen, dass die Auswirkungen eines Zementzusatzes auf die Schadstoffmobilisierung auch unter sehr einheitlichen Versuchsbedingungen kaum prognostizierbar sind. Zwar gibt es mit den verschiedenen Proben eines Abfalltyps reproduzierbare Effekte, eine generelle Nullemission scheint jedoch auch durch einen Zuschlagstoff wie Zement nicht realisierbar. Abfall-Zement-Wechselwirkungen können sogar zu einer erhöhten Freisetzung führen. Zudem zeigt die Versuchsserie, dass bei realitätsnahen Versuchszeiten aus abgebundenen Probenkörpern (hier ca. 5 cm Durchmesser) durchaus die gleichen Freisetzungen wie aus der mechanisch stark beanspruchten Probe des Batch-Eluates erfolgen.

Die Datenbank enthält zahlreiche weitere Vergleichsdaten zum Einfluss von Zement. Wesentlich erscheint, dass die Rahmenbedingungen der jeweiligen Tests wirklich übereinstimmen. So liegen auch Daten zu Säulenelutionsversuchen vor, wobei sowohl abgebundene Probenkörper in der Triaxialzelle als auch unverfestigte Mischungen als loses Schüttgut untersucht wurden. Bei letzterem Verfahren wird somit durch Zementzusatz kein Effekt auf die hydraulischen Probeneigenschaften bewirkt, sondern lediglich eine Veränderung der chemischen Rahmenbedingungen, vor allem des pH-Milieus. Ein solches Beispiel für eine Anhebung des pH-Wertes von pH 6 auf pH > 11, die durch 5 % Hochofenzement als Zuschlagstoff bewirkt wurde (Abfall aus der LAGA-Obergruppe 399), zeigen die Abb. 5.34 und 5.35. Durch die dichte Beprobung bei geringen Flüssig/Fest-Verhältnissen lässt sich die Laugungsdynamik in diesem Fall gut vergleichen. Darüber hinaus zeigt sich, dass die Analyse von Hauptkomponenten zusätzlich zu den Schadstoffen dazu beiträgt, die Prozesse im Abfall bei der Laugung besser zu verstehen. Im basischen Milieu führt die geringere Löslichkeit von Gips zu verzögerter Freisetzung. Die lineare Calciumlösung verändert sich nicht.

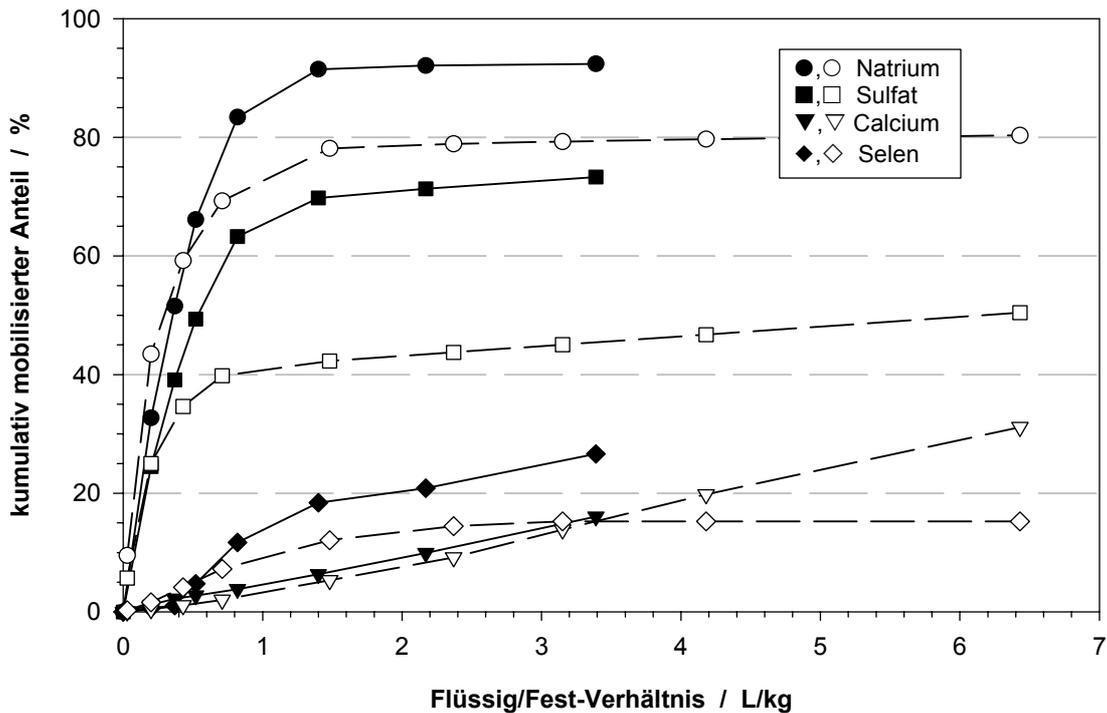


Abb. 5.34 Vergleich der Konzentrationen von Hauptkomponenten (Na, Ca, Sulfat) und von Selen bei der Säulenelution eines eisenhaltigen Aufbereitungsrückstandes aus der Titandioxid-Produktion im Originalzustand (volle Symbole) und mit 5 Gew.% Zementzuschlag (offene Symbole)

Die Freisetzung des relativen mobilen Schadmetalles Selen wird durch Zement etwas verringert (von > 27 % auf ~15 %). Deutlich geringer sind die freigesetzten Anteile von Arsen und Vanadium, was eine Bestätigung der allgemein ermittelten Mobilitäten (vgl. Kap. 5.2.6 und 5.2.7) darstellt. Die ähnlich wie Calcium kontinuierlich (linear) mobilisierten Elemente Vanadium und insbesondere Arsen reagieren sensibel auf die pH-Veränderung. Da Arsenate und Vanadate auch unter basischen pH-Bedingungen gut löslich sind, stellen Inkorporationen an Sekundärminerale oder sorptive Fixierung an Feststoffoberflächen plausible Rückhalte-mechanismen dar. Insbesondere für Vanadium, das aufgrund seiner hohen Feststoffgehalte in hohen Konzentrationen mobilisiert wird (von ~25 mg/L auf ~8 mg/L), ist jedoch die Freisetzung zum Versuchsende noch nicht abgeschlossen. Für das auch unter basischen Bedingungen lösliche Vanadium, aber auch für das mobile Selen, stellt somit der Zuschlagstoff Zement keine ausreichende geochemische Barrierewirkung zur Verfügung.

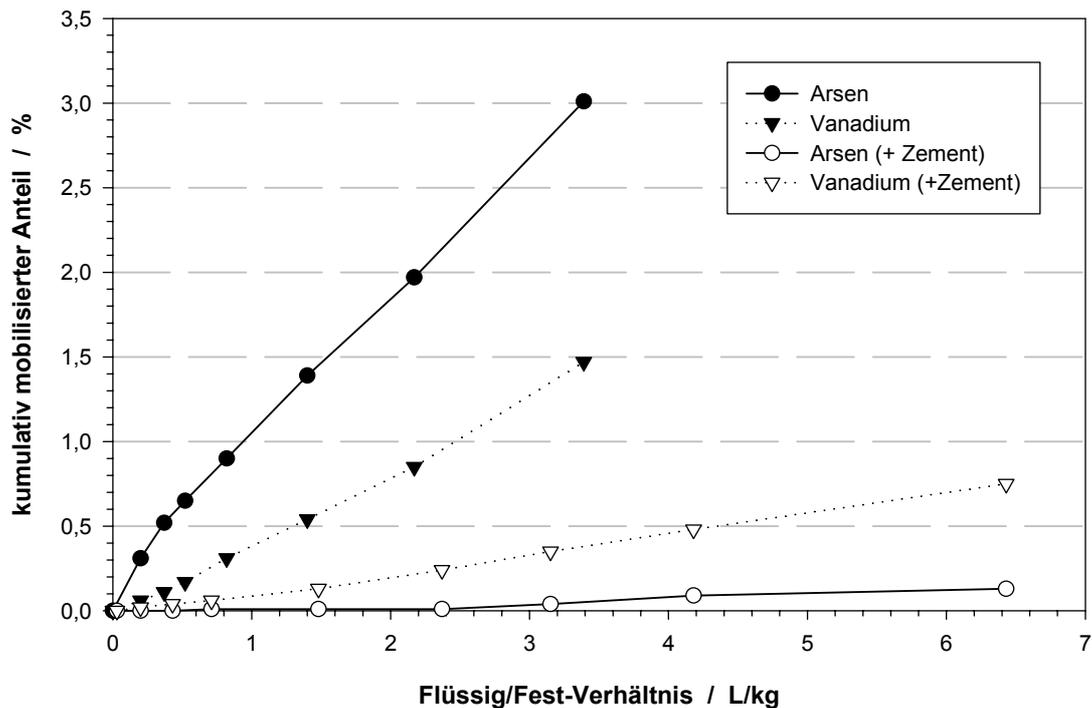


Abb. 5.35 Vergleich der Mobilisierung von Spurenelementen (As, V) bei der Säulene-elution eines eisenhaltigen Aufbereitungsrückstandes aus der Titandioxid-Produktion im Originalzustand und mit 5 Gew.% Zementzuschlag

5.2.10 Altlastenspezifische Schadstoffe

Der AMANDA-Datenbestand umfasst außer den zur Untertageverbringung relevanten mineralischen Abfällen, für die die anorganischen Schadstoffe im Vordergrund der Untersuchungen stehen, z.B. auch Untersuchungen von organisch belastetem Bodenaushub. Solche Daten sind in ABANDA in großer Anzahl enthalten, nur liefern die dort erfassten einstufigen Batchversuche keine Informationen zur Mobilisationsdynamik. Tabelle 5.4 gibt einen Überblick über die in AMANDA gespeicherten Versuche, bei denen in den Eluaten (als altlastentypische Parameter) auch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) analysiert worden sind. Zwar überwiegen die statischen Batch-Versuche, jedoch stellen die 27 dynamischen Laugungsversuche eine Basis dar, um die Eignung eines solchen Datenbestandes zur Beschreibung von Mobilisationsprozessen zu testen.

Tab. 5.4 AMANDA-Datenbestand zu Versuchen mit PAK-Analysen

Versuchsart	Anzahl	LAGA-AS	Abfallart	Anzahl Versuche	Parameter analysiert ¹
Batch ES	57	0	keine Zuordnung	2	3
		313	Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung	24	1
		314	Sonstige feste mineralische Abfälle	24	10
		31621	Kalkschlamm mit schädlichen Verunreinigungen	3	0
		511	Galvanikschlämme, Metallhydroxidschlämme	3	2
		941	Schlämme aus der Wasseraufbreitung	1	16
Säule	24	31401	Gießerei-Altsand	8	5
		31424	Sonstige Böden mit schädlichen Verunreinigungen	13	12
		31441	Bauschutt und Erdaushub mit schädlichen Verunreinigungen	3	12
Lysimeter	3	31424	s.o.	1	15
		31441	s.o.	2	15

¹ die letzte Spalte gibt für die jeweiligen LAGA-AS die Anzahl der im Mittel analysierten PAK-Einzelsubstanzen an (ohne Summenparameter).

Dies zeigt sich insbesondere bei dem für die einzelnen Versuchstypen dokumentierten Analysenumfang (Tabelle 5.4). Während in den Säulen- und Lysimeterversuchen mit durchschnittlich 12 bis 15 PAK-Einzerverbindungen umfangreiche Vergleichsdaten vorliegen, beschränkt sich der Datenbestand bei den einstufigen Batchversuchen häufig auf PAK-Summenparameter (Gesamt, TVO, EPA).

Für ein Auswertungsbeispiel wurden daher Säulenversuche mit Abfällen aus der LAGA-Abfallgruppe 31424 (Sonstige Böden mit schädlichen Verunreinigungen) ausgewählt. Die mit Teerölen überwiegend von Gaswerksstandorten verunreinigten Böden sind in unterschiedlichem Maße mit PAK belastet. Abb. 5.36 zeigt für zwei PAK-Einzelsubstanzen, einem 3-Ring-PAK (Phenanthren) und einem 5-Ring-PAK (Benzo(a)pyren), die Spannweite der Bodenkontamination. Die bis zum Ende der Durchströmungsversuche mobilisierten Anteile fallen jeweils exponentiell mit steigendem Feststoffgehalt (doppelt logarithmische Darstellung). Die 3-Ring-Verbin-

dung ist dabei um ca. den Faktor 100 mobiler als das toxikologisch besonders relevante Benzo(a)pyren.

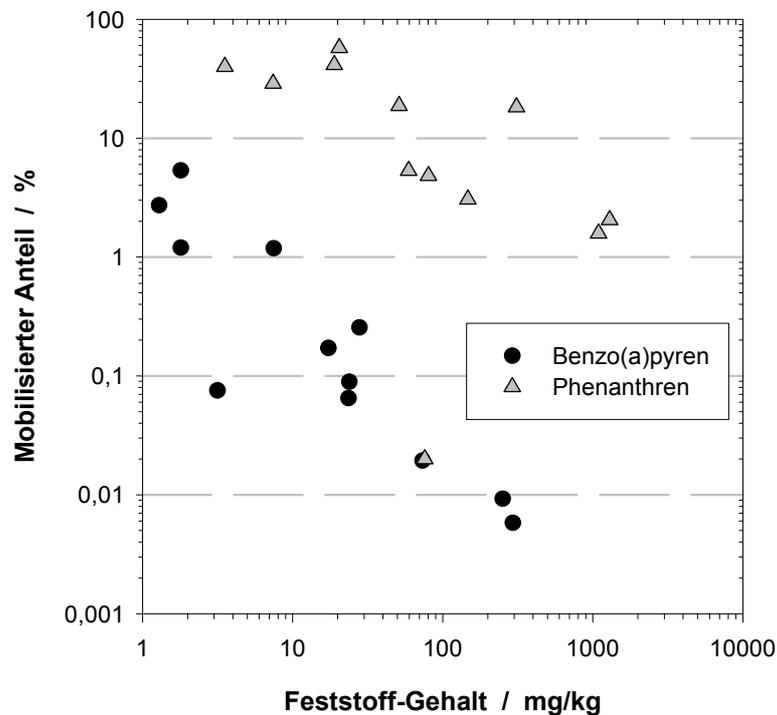


Abb. 5.36 Korrelation von Feststoffgehalt und insgesamt im Säulenversuch mobilisiertem Anteil von Phenanthren und Benzo(a)pyren aus Abfällen der LAGA-Abfallgruppe 31424 (Sonstige Böden mit schädlichen Verunreinigungen)

Entsprechend stellt sich auch die Freisetzungsdynamik dieser beiden ausgewählten Substanzen dar (Abb. 5.37 und 5.38). Das relativ flüchtige und auch besser wasserlösliche Phenanthren ist zum größten Teil bei Flüssig/Fest-Verhältnissen > 50 L/kg mobilisiert. In manchen Proben ist die Mobilisierung jedoch auch zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen. Das deutlich immobilere Benzo(a)pyren (Skalenfaktor 10 in den beiden Bildern) besitzt eine deutlich höhere Variationsbreite der mobilen Anteile (vgl. Abb. 5.36). Es sind nahezu dieselben Proben wie für Phenanthren, die hohe PAK-Mobilitäten aufweisen und hier hält die Freisetzung auch bei Flüssig/Fest-Verhältnissen > 150 L/kg noch an. Für diese PAK-Gruppe sind somit die Freisetzungsraten geringer, die Kontaminationsdauer jedoch potentiell länger.

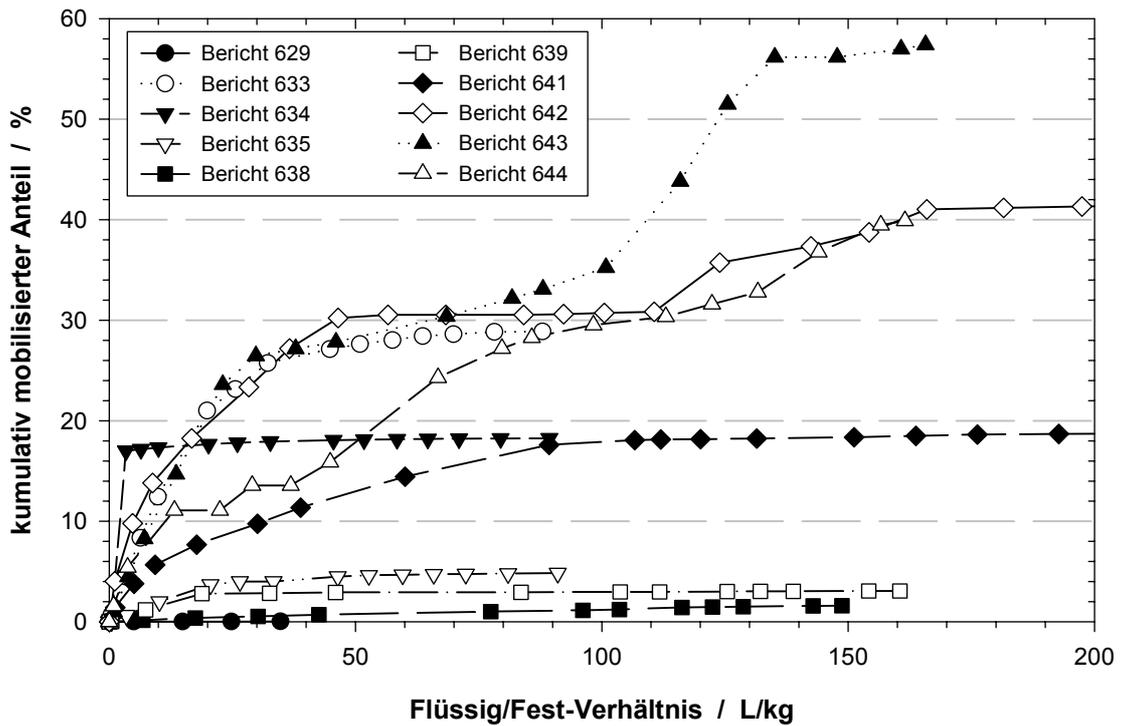


Abb. 5.37 Kumulative Mobilisation von Phenanthren bei Säulenversuchen aus Abfällen der LAGA-Abfallgruppe 31424

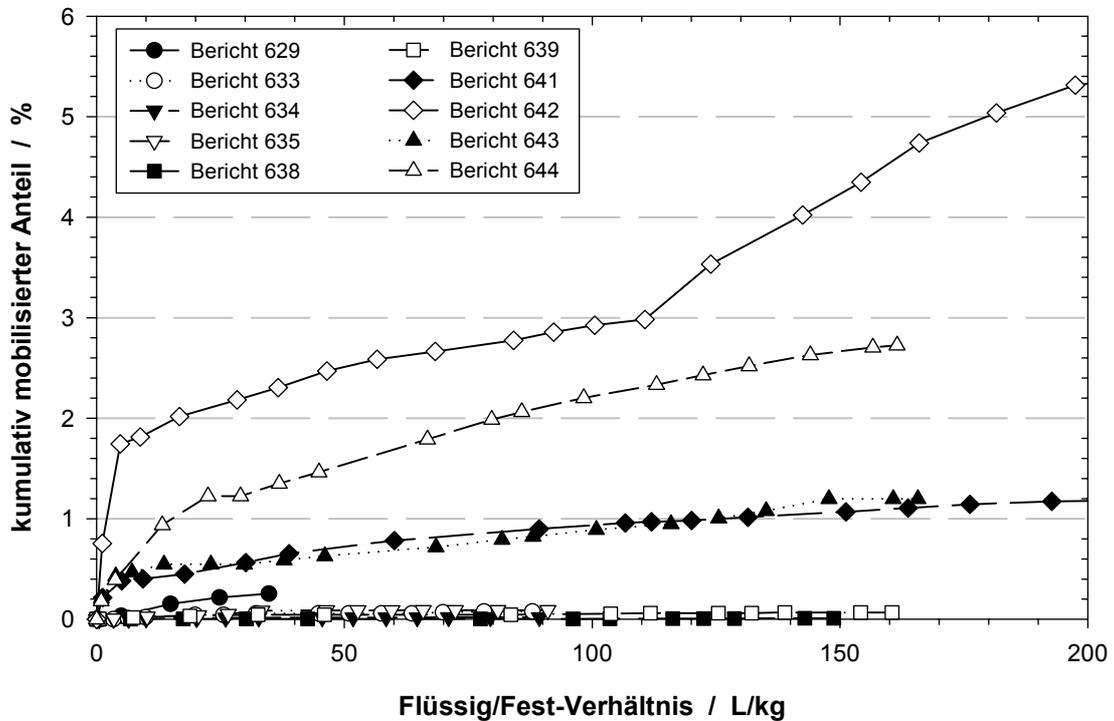


Abb. 5.38 Kumulative Mobilisation von Benzo(a)pyren bei Säulenversuchen aus Abfällen der LAGA-Abfallgruppe 31424

Der kontaminierte Boden mit der Berichts-Nr. 641, der relativ geringe PAK-Gehalte im Feststoff aufweist, zeigt die Variabilität der substanzabhängigen PAK-Mobilisation aus derartigen Substraten (Abb. 5.39). Auffällig ist die sehr schnelle Naphtalin-Freisetzung (2-Ring-PAK). Auch die Mobilisation der 3-Ring-PAK (grüne Farben) ist zum Versuchsende weitgehend abgeschlossen. Einige der 4-6-Ring-PAK (blaue und rote Farben), von denen bis dahin nur 1 bis 10 % des Gesamtgehaltes gelöst wurden, werden aber auch weiterhin noch mobilisiert.

Aus dieser Studie wurden in AMANDA bislang nur Teile des Datenbestandes übernommen. Zahlreiche Daten liegen noch aus anderen systematischen Untersuchungen zu dieser Thematik vor. Hier würden insbesondere Daten und statistische Auswertungen zu Begleitkontaminationen und deren Einfluss auf die probenspezifische PAK-Mobilität interessieren.

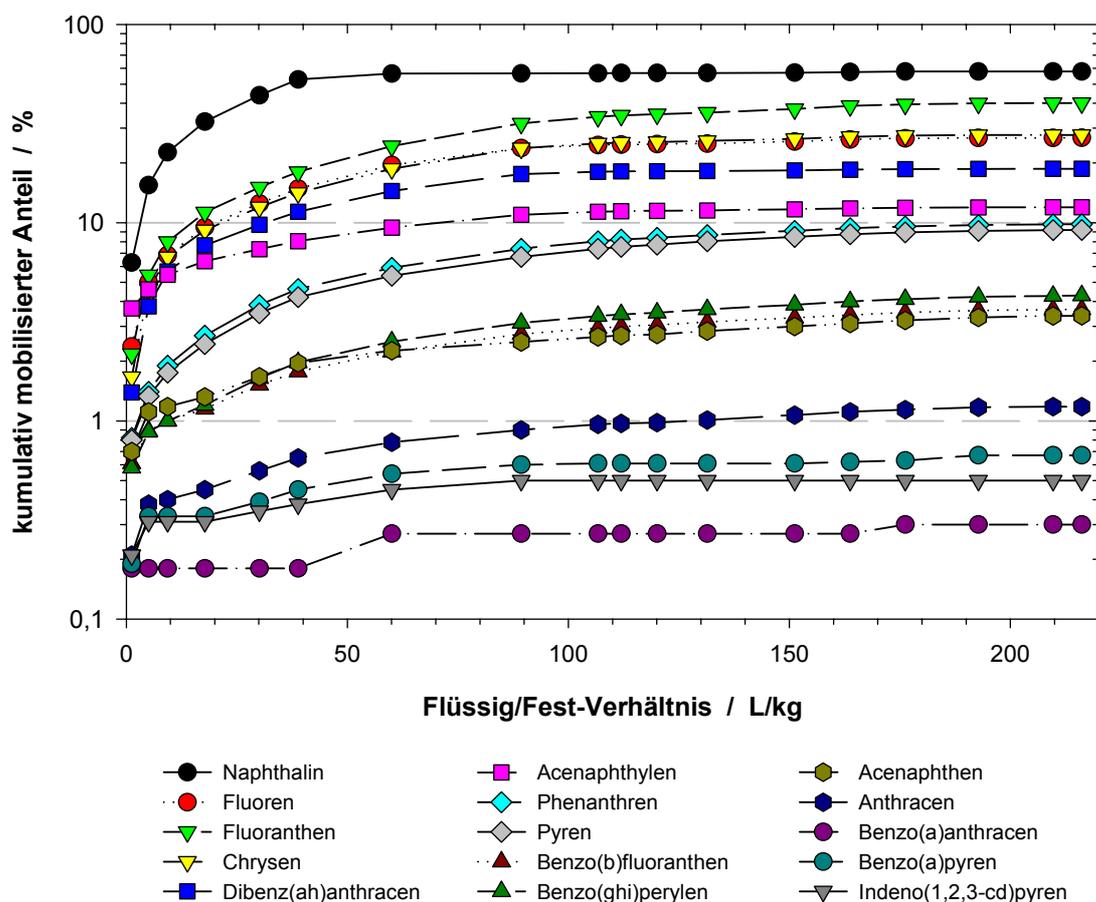


Abb. 5.39 Kumulative PAK-Mobilisation aus einem Abfall der LAGA-Abfallgruppe 31424 (Sonstige Böden mit schädlichen Verunreinigungen)

6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Vorfeld der Projektabwicklung ist zunächst von allen beteiligten Projektpartnern sowie dem zuständigen Projektträger (PTWt+E) die Notwendigkeit festgestellt worden, eine Datenbank zu erstellen, welche die in den vergangenen ca. zehn Jahren erzielten Ergebnisse experimenteller Arbeiten (i. W. Elutionsversuche) aufbereiten und leichter zugänglich machen sollte. Um den Inhalt einer derartigen Datenbank treffender zu formulieren, wurde frühzeitig der Begriff »Mobilitätsdatenbank« (AMANDA) eingeführt. Um eine langfristige Weiterführung und Pflege dieser (wie ggf. auch weiterer) Datenbank(en) zu gewährleisten, ist darüber hinaus die GRS als Koordinator des Vorhabens eingesetzt worden.

Ausgangspunkte für die Arbeiten an der Mobilitätsdatenbank sind einerseits die experimentellen Erfahrungen seitens der Projektpartner GRS, DMT und Uni Bonn / Kemski und Partner, andererseits die im LUA-NRW entwickelte und bereits im Vollzug eingesetzte Abfallanalysen-Datenbank ABANDA gewesen. Aufgrund der Zielsetzung, vielfältige, oftmals auf nicht normierten Verfahren beruhende Ergebnisse einem breiten Anwenderkreis verfügbar zu machen, wurde zunächst eine Entwicklungsrichtung eingeschlagen, die vorhandene Datenbank ABANDA zu erweitern.

Auf der Basis der von allen Projektpartnern zusammengestellten Versuchsbeschreibungen und den daraus abgeleiteten Anforderungen wurden die in der Datenbank ABANDA bestehenden Datenstrukturen, die i. W. auf die Eingabe von einfachen, meist einstufigen Elutionsuntersuchungen (wie z. B. DEV-S4) ausgerichtet waren, analysiert und entsprechend adaptiert. Die neuen Datenstrukturen haben zunächst die notwendige Flexibilität speziell zur Eingabe der Versuchsbedingungen und der Ergebnisse von n-stufigen Elutionsverfahren (z. B. Säulenversuche und Kaskadenversuche) aufgewiesen.

Mit zunehmender Spezialisierung der Untersuchungsverfahren, deren Ergebnisse in der Datenbank Berücksichtigung finden sollten, und den daraus resultierenden erweiterten Abfragenotwendigkeiten hat sich gezeigt, dass sich einfache Handhabung und Standard-Abfragen (wie für den behördlichen Vollzug erforderlich) einerseits sowie komplexe Randbedingungen wissenschaftlicher ausgerichteter Versuche andererseits nicht sinnvoll weiterverfolgen lassen. Die Weiterführung des Vorhabens hat deshalb

dazu geführt, dass die Entwicklung der Mobilitätsdatenbank AMANDA von der Abfallanalysen-Datenbank ABANDA abgekoppelt worden ist, um den Anforderungen wissenschaftlicher Fragestellungen besser gerecht werden zu können. Mitentscheidend für diese Vorgehensweise ist außerdem die Tatsache gewesen, dass die ursprünglich ins Auge gefasste Zusammenführung aller vorhandenen Elutionsdaten (aus standardmäßigen Abfall-Deklarationsanalysen wie aus wissenschaftlichen Forschungsvorhaben) als nicht zielführend erkannt worden ist. Als ein wichtiges Kriterium bei der Dateneingabe in AMANDA hat sich eine vorlaufende Qualitätssicherung der Datensätze herausgestellt, d. h. es sind nur solche Datensätze in die Datenbank aufgenommen worden, deren Versuchsrandbedingungen und Ergebnisproduktion nachvollziehbar gewesen sind. Darüber hinaus weist der Gesamt-Datenbestand von ABANDA eine Vielzahl von Analyseergebnissen auf, die für Fragestellungen einer untertägigen Entsorgung nicht relevant sind. Eine Übernahme UTD/UTV-relevanter Datensätze aus ABANDA in AMANDA ist jedoch erfolgt.

Die in AMANDA realisierten dv-technischen Erweiterungen in der Datenbankstruktur betreffen eine Vielzahl von Aspekten. Zusätzlich zu den Möglichkeiten in ABANDA können nunmehr u.a.

- Auslaugversuche nach der Art der Versuchsdurchführung kategorisiert werden,
- Mischungen aus bis zu fünf Einsatzstoffen als Ausgangsstoff für Auslaugversuche erfasst werden,
- Untersuchungen von Feststoffproben, die mit Zuschlagstoffen, wie z.B. bestimmten Zementen, versetzt worden sind, erfasst werden,
- Informationen zur Charakterisierung der eingesetzten Auslauglösungen abgelegt werden,
- die Randbedingungen einer Versuchsanordnung vollständig gespeichert werden,
- pro Auslaugversuch bis zu 30 Eluatproben erfasst werden und
- Informationen zur mineralogischen Zusammensetzung der Feststoffe nach Versuchsende abgelegt werden.

Darüber hinaus können bei Versuchen, bei denen mehrere Eluatproben anfallen, deren Entwicklung von den vorherigen Elutionsstufen abhängt, die mobilisierten Mengen und

Anteile eines Schadstoffes stufenweise berechnet und aufsummiert werden. Dies betrifft zum einen dynamische Versuche wie mehrstufige Batch-, Säulen- und Lysimeterversuche aber auch Kaskadenversuche. Außerdem wurde eine Schnittstelle zu MS Excel geschaffen, um Mobilitätsdaten für weitergehende statistische Auswertungen exportieren zu können.

In der Datenbank AMANDA sind mit Stand Oktober 2001 Mobilitätsdaten für 425 verschiedene Abfälle gespeichert, die sorgfältig validiert worden sind. Insgesamt handelt es sich um Abfälle aus 52 Abfallarten nach dem LAGA-Abfallartenkatalog, d.h. es sind Daten für 9 % der im LAGA-Katalog aufgeführten Abfälle vorhanden, wohingegen in der Abfallanalysendatenbank ABANDA für 56 % der Abfallarten Daten vorliegen. Trotzdem ist mit AMANDA ein großer Datenbestand aufgebaut worden. So liegt die Anzahl der Proben und Analysenwerte in AMANDA bei 40 % bzw. 36 % der insgesamt in ABANDA bisher erfassten Werte.

Mit der Erstellung von AMANDA ist nunmehr die prinzipielle Möglichkeit geschaffen worden, Mobilitätsdaten gezielt auszuwerten und möglicherweise im Rahmen eines Langzeitsicherheitsnachweises für untertägige Abfallentsorgungsmaßnahmen zu verwenden. Die Nutzung dieses Tools ist an verschiedenen typischen Fragestellungen exemplarisch aufgezeigt worden.

Die meisten Elemente zeigen eine große Bandbreite für den Anteil eines Schadstoffes, der bei Kontakt mit einer Lösung aus dem Feststoff gelöst werden kann. Allerdings lassen sich die Elemente anhand der durchschnittlichen Mobilisierbarkeit in hoch mobile, intermediär mobile und gering mobile Elemente unterscheiden. Darüber hinaus zeigen sich systematische und elementspezifische Abhängigkeiten der Mobilisierbarkeit vom pH-Wert der Eluate, die sich zum großen Teil mit der Stabilität von Festphasen erklären lassen. Bei manchen Elementen führt die Bildung von Chloro- und/oder Hydroxokomplexen zu einer verstärkten Mobilisierbarkeit in bestimmten pH-Bereichen. Der Einfluss des Elutionsmittels kann ebenso untersucht werden wie das abfallspezifische Verhalten oder die Mobilisierbarkeit in Gegenwart von Zuschlagstoffen.

Trotz der hier beschriebenen Auswertemöglichkeiten kann die derzeitige Datenlage noch nicht als repräsentativ angesehen werden. Die erfassten Daten konzentrieren

sich auf nur wenige Hauptgruppen des LAGA-Abfallartenkatalogs. Im Wesentlichen handelt es sich um Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung sowie um sonstige mineralische Abfälle. Aber selbst für diese Abfallarten lässt die derzeitige Datenlage zur Zeit in der Regel noch keine umfassende statistische Auswertung zu.

Aus heutiger Sicht (nach Abschluss des Vorhabens) ist es eine denkbare Option für weitere Entwicklungen, die nunmehr parallel geführten Versionen von AMANDA und ABANDA zu verschmelzen und diese Version wegen der erweiterten wissenschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten in Zukunft auch im behördlichen Vollzug einzusetzen. Eine derartige Vorgehensweise bedarf jedoch entsprechender Vorbereitungen auf behördlicher Seite, z. B. auch durch Modifikation von Regelwerken und Anforderungen an Deklarationsanalysen etc.

Eine unmittelbare Erweiterungsmöglichkeit für die Mobilitätsdatenbank AMANDA besteht in einer Erweiterung des gegenwärtig verfügbaren Datenpools aus weiteren, bisher nicht berücksichtigten Datenquellen, beispielsweise durch Aufnahme von Daten anderer Versuchsarten (sequentielle Extraktion), aus anderen Umweltkompartimenten (Stichworte z. B. Baggerschlämme, Sekundärrohstoffe, bergbaulich beeinflusste Zonen) sowie einer generellen Ausweitung der Berücksichtigung von Literaturzitate(n) (europaweit). Die flexiblen datentechnischen Strukturen, die im Rahmen der Erstellung von AMANDA geschaffen worden sind, erlauben einen unmittelbaren Einsatz des Tools auch bei diesen erweiterten Fragestellungen.

Von zunehmender, genereller Bedeutung ist die Betrachtung von Schadstofffrachten und Stoffflüssen im Rahmen ökologischer Folgeabschätzungen. Solche Betrachtungen sind zur Zeit auf den Luftpfad beschränkt, im Feststoffbereich aber wegen fehlender konkreter Grenzwerte noch nicht implementiert. Derartige Abschätzungen sind aber zur Beurteilung der Hochwertigkeit von Entsorgungs- und Verwertungsmaßnahmen bzw. Deponiekonzepten dringend erforderlich.

Als ein erster Schritt in diese Richtung kann die Koppelung mit andern Datenbanken, wie z. B. der Sorptionsdatenbank zu einem übergreifenden »Expertensystem« gesehen werden, die dann wiederum eine Koppelung mit anderen Projekten (z. B. Sickerwasserprognose) erlaubt.

7 Literaturverzeichnis

- /AFN 88/ Association Francaise de Normalisation: Dechets: Essai de lixivation X31-210, AFNOR T95J, Paris, Frankreich, 1988.
- /BEC 91/ Beckefeld, P.: Schadstoffaustrag aus gebundenen Reststoffen der Rauchgasreinigung von Kraftwerken – Entwicklung eines Testverfahrens -. Diss. TU Braunschweig, 144 S., 1991.
- /BLA 94/ Blankenhorn, I.: Derzeitige Anwendung und Entwicklung von Elutionsverfahren. - Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung 11/94,43 S., Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1994.
- /BRA 91a/ Brassler Th.: Die untertägige Ablagerung von Abfällen im Salzgestein. - Abschlussbericht zum Vorhaben Entwicklung von Technologien zur Endlagerung chemisch-toxischer Abfälle. GSF-Bericht 6/91, 497 S., 1991.
- /BRA 91b/ Brassler, Th., Brewitz, W., Gläß, F., Jakob, G., Kallmerten, W., Meyer, Th., Mühlenweg, U. Pitterich, H. und Starke, Ch.: Aspekte der untertägigen Ablagerung von Abfällen. - Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 45, 170 S., Erich Schmidt Verlag, 1991.
- /BRA 95/ Brassler, Th., Bahadir, M. und Schramm, K.W.: Erprobung und Anpassung ökotoxikologischer Methoden zur Bewertung UTD-relevanter Abfall-Eluate. - Abschlussbericht zu den Forschungsvorhaben 02 C 0284 0 und 02 C 0415 9, GRS-A-2592, 394 S., 1995.
- /CUL 86/ Cullinane, I.N., Jones, L.W. und Malone, P.G.: Handbook for Stabilization of Hazardous Wastes. - U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Environmental Laboratory, EPA/540/2-86/001, 1986.
- /DEV 84a/ Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S4), 7. Lieferung, Verlag Chemie, Weinheim, 1984.

- /DEV 84b/ Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Bestimmung des säurelöslichen Anteils (S7), 7. Lieferung, Verlag Chemie, Weinheim, 1984.
- /DIN 00/ DIN V 19736: Ableitung von Konzentrationen organischer Stoffe im Bodenwasser. – Beuth-Verlag GmbH, Berlin, 2000.
- /DMT 99/ Environmental problems caused by water discharges and gas emissions from mines.- ECSC-Targeted project 7220-AF/014; Teilprojekt DMT 2: Research on the feasibility of old mine workings with respect to depositing residual materials; Final Report, Period: 1st of January 1997 – 31st of December 1999 (Untersuchung der Eignung von Grubenbauen für die Einlagerung von Reststoffen; Schlußbericht, Zeitraum: 1. Januar 1997 – 31. Dezember 1999).
- /EDI 88/ Eidgenössisches Department des Innern (Hrsg.): Technische Verordnung über Abfälle (TVA), Entwurf, Bern, August 1988.
- /ENC 90/ Environment Canada: Compendium of Waste Leaching Tests. - Report EPS 3/HA/7, Ottawa, 1990.
- /EPA 90a/ US Environmental Protection Agency: Method 1311 Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP), in: Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods - SW-846, 55 Federal register, 11827, 29. März 1990.
- /EPA 90b/ US Environmental Protection Agency: Method 1320 Multiple Extraction Procedure, in: Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods - SW-846, 55 Federal register, 11827, 29. März 1990.
- /FÄL 90/ Fällman, A.-M.: International Seminar on Leach Tests. - Schwedisches Umweltschutzamt, 19. Sept. 1990, SGI, Linköping Schweden, 1990.
- /FAU 90/ Faulstich, M., Tidden, F.: Auslaugverfahren für Rückstände. - *Abfallwirtschaftsjournal*, 2, 646-657, 1990.

- /FRA 88/ Francis, C.W., Maskarinec, M.P. und Lee, D.W.: Physical and Chemical Methods for Characterization of Hazardous Wastes. - In: Baccini, P. (Hrsg.): The Landfill, Lecture Notes in Earth Sciences, 371-398, Springer Verlag, 1988.
- /FRI 88/ Frigge, : Lysimeteruntersuchungen zur Beurteilung des Deponieverhaltens von Kraftwerksnebenprodukten. - *VGB Kraftstechnik*, 68, 143-150, 1988.
- /FSV 93/ Forschungsgesellschaft Straßen- und Verkehrswesen: Trogverfahren zur Auslaugung von Mineralstoffen. Bericht des AK 6.4.1, Elutionsverfahren für Mineralstoffe, der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. - *Straße + Autobahn* 5/93, S. 297-300, 1993.
- /HAG 95/ Hagemann, S.: Verfahren zur Charakterisierung schwermetallhaltiger chemisch-toxischer Abfälle und ihrer Auslaugung durch hochsalinare Lösungen. - Dipl. Arb. TU Braunschweig, 1995.
- /HEG 99/ Hegemann, M., Malorny, U. und Striegel K.-H.: Northrhine-Westfalian Waste Analysis data bank supports waste characterisation based on European Waste Catalogue. – in Proceedings Sardinia 99 – Seventh International Waste Mangement and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 301-310, 1999.
- /HER 96/ Herbert, H.-J. und Mönig, J.: Exemplarische Untersuchungen von Wechselwirkungsreaktionen UTD-relevanter chemisch-toxischer Abfälle mit hochsalinaren Lösungen. - Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 02 C 0072 6, GRS-126, 184 S., 1996.
- /HER 97/ Herbert, H.-J. und Mönig, J.: Wechselwirkungsreaktionen Untertage-deponie-relevanter chemisch-toxischer Abfälle mit hochsalinaren Lösungen. - *Geol. Rundsch.*, **86**, 389-403, 1997.

- /HER 99/ Herbert, H.-J., Moog, H. und Hagemann, S.: Experimentelle Untersuchungen und geochemische Modellierung zum Verhalten schwermetallhaltiger chemisch-toxischer Abfälle in Untertagedeponien in Salzformationen. - Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 02 C 0475 8, GRS-A-2655, 258 S., 1999.
- /IAWG 97/ :The International Ash Working Group: Municipal Solid Waste Incinerator Residues. - Elsevier, Amsterdam, 974 S., 1997.
- /JAE 90/ Jäger, B., Obermann, P. und Wilke, F.L.: Studie zur Eignung von Steinkohlebergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen. - 4 Text-, 1 Anlagenband, unveröffentl. Machbarkeitsstudie im Auftrag des Landesamt für Wasser und Abfall NRW, Düsseldorf, 1990.
- /JAE 91/ Jäger, B., Obermann, P. und Wilke, F.L.: Studie zur Eignung von Steinkohlebergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen.- LWA Materialien, 7/91, 72 S., Düsseldorf, 1991.
- /KIM 92/ Kim, J.I., Buckau, G., Delakowitz, B., Kanellakopoulos, B., Klenze, R., Koß, V., Meinrath, G., Neck, V., Pashalidis, I., Rhee, D.S., Runde, T., Sekine, T., Wimmer, H. und Zeh, P.: Untersuchung der Übertragbarkeit von Labordaten auf natürliche Verhältnisse am Beispiel von Gorlebener Aquifersysteme. - Abschlussbericht zum Vorhaben 02 U 5958 0, Institut für Radiochemie, TU München, 1992.
- /KIM 94a/ Kim, J.I.: Actinide Colloids in Natural Aquifer Systems. - *MRS Bull.* 14/12, 47-53, 1994.
- /KIM 94b/ Kim, J.I., Delakowitz, B., Schauer, C., Ehrlicher, U., Knopp, R. und Probst, T.: Untersuchung der Kolloide als Träger für den Transport von Schadstoffen in Oberflächen- sowie Grundwässern. - Bayforrest, Berichtsheft 2, Projekt 20, 13-21, 1994.

- /KIM 96/ Kim, J.I. und Hadermann, J.: Migration. - *J. Cont. Hydrol.*, 21, Spec. Issue, 315 S., 1996.
- /KLI 94/ Klinger, Ch.: Mobilisationsverhalten von anorganischen Schadstoffen in der Umgebung von untertägigen Versatzbereichen am Beispiel von Reststoffen aus Müllverbrennungsanlagen im Steinkohlengebirge des Ruhrkarbons. - DMT-Berichte aus Forschung und Entwicklung, 23, 170 S., Essen, 1994.
- /KLO 85/ Klotz, D. Lang, H. und Moser, H.: Experimentelle Untersuchungen zur Migration von Radionukliden der Elemente J, Sr, Cs, Co und Pd im Deckgebirge des Endlagerortes Gorleben.- GSF-Bericht 24/85, 1985.
- /KOS 91/ Koß, V.: Stand des Wissens zur Sorptionsmodellierung für die Bewertung der Radionuklidmigration in der Sicherheitsanalyse.- GSF-Bericht 39/91, 47 S., 1991.
- /LAB 96/ Länderausschuß Bergbau: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen als Versatz unter Tage - Technische Regeln für den Einsatz von bergbaufremden Abfällen als Versatz. - Stand 22. Oktober 1996.
- /LIE 86/ Lieser, K. H., Gleitsmann, B. und Peschke, S.: Mechanismen der Sorption von Radionukliden in der Geosphäre und Einfluss der Kolloidbildung und der Komplexbildung. - In: Kim, J.I. & Warnecke, E.: Chemie und Migrationsverhalten der Aktinoide und Spaltprodukte in natürlichen aquatischen Systemen, PTB-SE 14, 128-139, Braunschweig, 1986.
- /LOE 78/ Löwenbach, W.: Compilation and Evaluation of Leaching Test Methods. - Municipal Environmental Research Laboratory, U.S. EPA, EPA-600/2-78-095, 1978.
- /LUA 00/ Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Merkblätter 20, Empfehlungen für die Durchführung und Auswertung von Säulenversuchen gemäß Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). – Essen, 2000.

- /MAL 98/ Malorny, U., Striegel K.-H. und Becker C.: Einführung der Abfallanalyse-datenbank des LUA bei den Vollzugsbehörden in NRW. – in Landes-umweltamt Nordrhein-Westfalen – Jahresbericht '98, 23-24, 1999.
- /MEI 86/ Meier, H., Zimmerhackl, E., Zeitler, G. und Menge, P.: Zur Ableitung von K_D -Werten aus Diffusionsversuchen. - In: Kim, J.I. & Warnecke, E.: Chemie und Migrationsverhalten der Aktinoide und Spaltprodukte in natürlichen aquatischen Systemen, PTB-SE 14, 218-227, Braunschweig, 1986.
- /MOE 00/ Mönig, J., Reichelt, Chr. und Brassler, Th.: Erweiterung und Übertragung von Untersuchungsmethoden für die untertägige Einbringung von Abfällen – Realitätsnahe Untersuchungsmethoden zur Bestimmung des Langzeit-verhaltens. - Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 02 C 0506 9, GRS-A-2787, 200 S., 2000.
- /MUE 97a/ Mühlenweg, U. und Brassler, Th.: Charakterisierung von mineralisierten Tiefengrundwässern in nichtsalinaren Festgesteinen. Untersuchung von Wechselwirkungsreaktionen mit Abfällen bei der immissionsneutralen Ablagerung. - Kurzfassung des Abschlussberichtes zu den Forschungs-vorhaben 02 C 0173 4 und 02 C 0435 5, GRS-144, 66 S., 1997.
- /MUE 97b/ Mühlenweg, U. und Brassler, Th.: Einfluss unterschiedlicher Grundwasser-typen auf das Verhalten untertägig verbrachter Abfälle. - *Wasser Abwasser Praxis* **3/97**, 14-18, 1997.
- /NNI 95a/ NNI: NEN 7349, Leaching Characteristic of Building and Solid Waste Material, Leaching Tests, Determination of the Leaching of Inorganic Components from Granular Materials with the Cascade Test, 1st edition, Februar 1995.
- /NNI 95b/ NNI: NEN 7343, Leaching Characteristic of Building and Solid Waste Material, Leaching Tests, Determination of the Leaching of Inorganic Components from Granular Materials with the Column Test, 1st edition, Februar 1995.

- /NNI 95c/ NNI: NEN 7341, Leaching Characteristic of Building and Solid Waste Material, Leaching Tests, Determination of the Availability of Inorganic Components for Leaching, 1st edition, Februar 1995.
- /NOR 95a/ Nordtest Method: Solid Waste, Granular Inorganic Material: Column Test. - NT ENVIR 002, Espoo, Finnland, 1995.
- /NOR 95b/ Nordtest Method: Solid Waste, Granular Inorganic Material: Availability Test. - NT ENVIR 003, Espoo, Finnland, 1995.
- /NOR 98/ Nordtest Method: Solid Waste, Granular Inorganic Material: Compliance Batch Leaching Test. - NT ENVIR 005, Espoo, Finnland, 1998.
- /OBE 92/ Obermann, P. und Cremer, S.: Mobilisierung von Schwermetallen in Porenwässern und belasteten Böden und Deponien: Entwicklung eines aussagekräftigen Elutionsverfahrens. - Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, Band 6, 127 S., Landesamt für Wasser und Abfall NRW (Hrsg.), Düsseldorf, 1992.
- /PAA 97/ Paas, N.: Untersuchungen zur Ermittlung der geochemischen Barriere von Gesteinen aus dem Umfeld untertägiger Versatzräume im Steinkohlebergbau des Ruhrkarbons. - DMT-Berichte aus Forschung und Entwicklung, 54, 217 S., 1997.
- /REI 95/ Reichelt, Chr., Brassler, Th., Bahadir, M., Fischer, R., Lorenz, W. und Petersen, C.: Auswahl und Untersuchung UTD-relevanter Abfallarten. - GSF-Bericht 31/95, 376 S., 1995.
- /SLO 97/ van der Sloot, H.A., Heasman, L. und Quevauviller, Ph.: Harmonization of Leaching/Extraction Tests. - Elsevier, Amsterdam, 281 S., 1997.
- /STR 97/ Striegel, K.-H.: Die untertägige Verwertung von Reststoffen in der Bundesrepublik Deutschland. – Müllhandbuch, Lieferung 4/97, KZ 8196, 1-24, 1997.

- /SUE 94/ Süßkraut, G., Röhricht, M., Pfeifer, B. und Stekete, J.: Elutionsverfahren für schwer lösliche organische Schadstoffe in Boden und Abfallproben - Literaturstudie. - Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, Nr. 12/94, Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg (Hrsg.), 1994.
- /THE 97/ Thein, J.; Klinger, C. und Veerhoff, M.: Geochemische Barrieren im Umfeld von Versatzbergwerken im Fels.- In: Matschullat, J.; Tobschall, H.J. & Voigt, H.J. (Hrsg.): Geochemie und Umwelt, 227-243; Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1997.
- /VEE 98/ Veerhoff, M., Paas, N., Justen, A., Navarro, M. und Klinger, C.: Entwicklung und Anwendung analytischer Methoden zur Eignungsuntersuchung der Verbringung bergbaufremder Rückstände in dauerhaft offene Grubenräume im Festgestein. - GRS-140/2, 307 S.; Köln, 1998.
- /WIE 90/ Wienberg, R., Förstner, U. und Hirschmann, G.: Zur Verfestigung von Abfällen und den Prüfverfahren für verfestigte Abfälle.- Vortrag Fachtagung Behandlung von Sonderabfall vor dem Hintergrund der TA Abfall, 08.-11.05. 1990, Berlin, 1990.
- /WIL 98/ Wilke, F.L., Dartsch, B. und Repmann, F.: Untersuchung des langfristigen Gefährdungspotentials anorganischer Rückstände bei deren Integration in Schicht- und Sedimentgestein.- Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 02 C 0385, TU Berlin, 129 S., 1998.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Einteilung von Auslaug- bzw. Extraktionsversuchen nach /ENC 90/.....	8
Abb. 2.2	Auswahl der Art des Auslaugversuchs bei der Dateneingabe.....	11
Abb. 2.3	Schema eines mehrstufigen Batchversuches	17
Abb. 2.4	Schema eines Kaskadenversuches	21
Abb. 2.5	Modifikationen von Säulen- und Lysimeterversuchen	24
Abb. 3.1	Schematischer Ablauf eines Auslaugversuchs.....	30
Abb. 3.2	Datenstrukturen und Dateninhalte in ABANDA und der Mobilitätsdatenbank AMANDA	35
Abb. 3.3	Hauptmaske zur Eingabe von Mobilitätsdaten in AMANDA.....	38
Abb. 3.4	Maske zur automatisierten Erstellung von Probensätzen	39
Abb. 3.5	Maske zur Erfassung von Versuchsbedingungen des Datentyps »Text« und »Datum«	40
Abb. 3.6	Erfassungsmaske »Inhaltsstoffe« in AMANDA	41
Abb. 4.1	Vergleich der Datenmengen in ABANDA und AMANDA.....	47
Abb. 4.2	Häufigkeitsverteilung der variierten Parameter bei einstufigen Batchversuchen.....	51
Abb. 4.3	Häufigkeitsverteilung der in den mehrstufigen Batchversuchen jeweils enthaltenen Einzelelutionsschritte	53
Abb. 4.4	Häufigkeitsverteilung der kumulierten Flüssig/Fest-Verhältnisse zum Versuchsende bei mehrstufigen Batchversuchen	54
Abb. 4.5	Häufigkeitsverteilung der Versuchsdauer der Trogversuche.....	56
Abb. 4.6	Häufigkeitsverteilung der Flüssig/Fest-Verhältnisse der Trogversuche.....	57
Abb. 4.7	Häufigkeitsverteilung der Flüssig/Fest-Verhältnisse in der ersten und der kumulierten Flüssig/Fest-Verhältnisse in der letzten Kaskade.....	58
Abb. 5.1	Maske zur Datenselektion, Eingabe der Auswahlbedingungen	62

Abb. 5.2	Maske zur Datenselektion, Auswahlergebnis.....	62
Abb. 5.3	Maske zur Vorbereitung des Datenexports nach MS Excel	63
Abb. 5.4	AMANDA-Ausgabetabelle zur weiteren Auswertung in MS Excel.....	64
Abb. 5.5	Verteilung der Gehalte einiger relevanter Elemente für alle Abfallproben	65
Abb. 5.6	Elementgehalte für alle Proben und ausgewählte Abfallhaupt- gruppen	66
Abb. 5.7	Häufigkeitsverteilung der resultierenden Eluat-pH-Werte für alle Proben und einige Abfallgruppen	68
Abb. 5.8	Blei-Eluatkonzentrationen bei ein- und mehrstufigen Batchversuchen in Abhängigkeit vom pH-Wert der Elutionslösung	70
Abb. 5.9	Aus ein- und mehrstufigen Batchversuchen mobilisierte Blei- Anteile in Abhängigkeit vom pH-Wert der Elutionslösung	71
Abb. 5.10	Aus Abfällen mobilisierte Blei-Anteile in Abhängigkeit vom pH des Eluats für verschiedene Elutionsmittel.....	72
Abb. 5.11	Aus Abfällen in Abhängigkeit vom pH-Wert des Eluats mobilisierte Anteile an Kupfer	73
Abb. 5.12	Aus Abfällen in Abhängigkeit vom pH-Wert des Eluats mobilisierte Anteile an Cadmium	73
Abb. 5.13	Aus Abfällen mobilisierte Cr-Gesamt-Anteile in Abhängigkeit vom pH-Wert des Eluats	74
Abb. 5.14	Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Natrium bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen.....	77
Abb. 5.15	Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Kalium bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen.....	77
Abb. 5.16	Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Sulfat bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen.....	78
Abb. 5.17	Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Calcium bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen.....	78

Abb. 5.18	Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Molybdän bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen.....	79
Abb. 5.19	Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Blei bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen.....	80
Abb. 5.20	Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Selen bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen.....	81
Abb. 5.21	Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Arsen bei Säulenversuchen mit verschiedenen Abfällen.....	82
Abb. 5.22	Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes an Vanadium bei Säulenversuchen mit den untersuchten Abfällen	82
Abb. 5.23	Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes verschiedener Inhaltsstoffe beim Säulenversuch mit einem REA-Salz	84
Abb. 5.24	Kumulativ mobilisierte Anteile des Feststoffgehaltes verschiedener Inhaltsstoffe beim Säulenversuch mit einem Filterstaub	85
Abb. 5.25	In einstufigen Batchversuchen (BatchES und BatchPV) mobilisierte Metallmengen.....	86
Abb. 5.26	In einstufigen Batchversuchen (BatchES und BatchPV) mobilisierte Anteile vom Feststoffgehalt.....	88
Abb. 5.27	Häufigkeitsverteilung der in einstufigen Batchversuchen (BatchES und BatchPV) mobilisierten Cadmium- und Arsenanteile vom Feststoffgehalt.....	89
Abb. 5.28	Kumulierte Häufigkeitsanteile der in einstufigen Batchversuchen (BatchES und BatchPV) mobilisierten Cadmium- und Arsenanteile vom Feststoffgehalt (0 bis 5 %).....	90
Abb. 5.29	Mittelwerte der in den verschiedenen Elutionsverfahren mobilisierten Schadmetall-Mengen	91
Abb. 5.30	Mittelwerte der in den verschiedenen Elutionsverfahren mobilisierten Schadmetall-Anteile	92
Abb. 5.31	In einstufigen Batchversuchen (Batch MS/PV) mobilisierte Anteile für verschiedene Abfallgruppen des AMANDA-Datenbestandes	95

Abb. 5.32	Vanadium; eluierbare Anteile aus drei Elektrofilterflugaschen in Abhängigkeit vom Zementgehalt der Mischung und der Art der Elution.....	97
Abb. 5.33	Selen; eluierbare Anteile aus drei Elektrofilterflugaschen in Abhängigkeit vom Zementgehalt der Mischung und der Art der Elution.....	97
Abb. 5.34	Vergleich der Konzentrationen von Hauptkomponenten (Na, Ca, Sulfat) und von Selen bei der Säulenelution eines eisenhaltigen Aufbereitungsrückstandes aus der Titandioxid-Produktion im Originalzustand und mit 5 Gew.% Zementzuschlag.....	99
Abb. 5.35	Vergleich der Mobilisierung von Spurenelementen (As, V) bei der Säulenelution eines eisenhaltigen Aufbereitungsrückstandes aus der Titandioxid-Produktion im Originalzustand und mit 5 Gew.% Zementzuschlag	100
Abb. 5.36	Korrelation von Feststoffgehalt und insgesamt im Säulenversuch mobilisiertem Anteil von Phenanthren und Benzo(a)pyren aus Abfällen der LAGA-Abfallgruppe 31424	102
Abb. 5.37	Kumulative Mobilisation von Phenanthren bei Säulenversuchen aus Abfällen der LAGA-Abfallgruppe 31424.....	103
Abb. 5.38	Kumulative Mobilisation von Benzo(a)pyren bei Säulenversuchen aus Abfällen der LAGA-Abfallgruppe 31424.....	103
Abb. 5.39	Kumulative PAK-Mobilisation aus einem Abfall der LAGA-Abfallgruppe 31424	104
Abb. A.1	Versuchsaufbau zur Säulenelution mittels Triaxialzelle	130
Abb. A.2	Aufbau einer Säulenelutionsanlage zur Untersuchung unverfestigter Abfallproben.....	131
Abb. A.3	Versuchsaufbau zur Säulenelution mittels Drucksäulenanlage.....	132
Abb. A.4	Prinzipskizze eines Großlysimeters mit freiem Ablauf.....	134
Abb. A.5	Skizze eines Standardlysimeters.....	136

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1	Daten aus Abfalluntersuchungen in ABANDA.....	4
Tab. 1.2	Beurteilungslisten aus verschiedenen Umweltbereichen in ABANDA.....	4
Tab. 2.1	Art und Kategorie der in der Mobilitätsdatenbank erfassten Versuchsarten	9
Tab. 2.2	Wichtige allgemeine Versuchsparameter	12
Tab. 2.3	Wichtige allgemeine Messgrößen des Eluats.....	13
Tab. 2.4	Relevanz der Parameter für die Auswertung von Auslaugversuchen	14
Tab. 2.5	Übliche Probentypen und Versuchsapparaturen für Säulen- und Lysimeterversuche	25
Tab. 3.1	Datentypen der zu erfassenden Parameter von Auslaugversuchen	31
Tab. 3.2	Parametergruppen in der Mobilitätsdatenbank.....	42
Tab. 3.3	Parameter der Gruppe »GRS-Versuchsbedingungen«	43
Tab. 3.4	Parameter der Gruppe »Zuschlag«	44
Tab. 4.1	Zuordnung der Abfälle mit Mobilitätsdaten zu Hauptgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog	46
Tab. 4.2	Anzahl von Berichten mit Mobilitätsdaten.....	48
Tab. 4.3	Anzahl von Versuchen pro Versuchsart und Elutionsmitteltyp	49
Tab. 4.4	Mobilitätsdaten aus einstufigen Batch-Schüttelversuchen	50
Tab. 4.5	Datenpaare mit Mobilitätsdaten zum Vergleich des Einflusses des Elutionsmittels bei einstufigen Batchversuchen	51
Tab. 4.6	Zuordnung der mehrstufigen Batchversuche mit Mobilitätsdaten zu Hauptgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog.	52
Tab. 4.7	Zuordnung der Trogversuche mit Mobilitätsdaten zu Hauptgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog	55

Tab. 4.8	Übersicht über Art und Menge der Zuschlagstoffe in den mit Trogversuchen eluierten Probenkörpern	55
Tab. 4.9	Zuordnung der Kaskadenversuche mit Mobilitätsdaten zu Hauptgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog	57
Tab. 4.10	Zuordnung der Säulenversuche mit Mobilitätsdaten zu Versuchsapparaturen sowie zu Hauptgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog.....	59
Tab. 4.11	Zuordnung der Lysimeterversuche mit Mobilitätsdaten zu Hauptgruppen nach dem LAGA-Abfallartenkatalog sowie zu Versuchstypen.....	60
Tab. 5.1	Schematische Darstellung der Beziehungen zwischen mobilisierten Schadstoffanteilen und pH-Wert	75
Tab. 5.2	Elementmobilitäten nach den Ergebnissen von einstufigen Batch-Elutionsversuchen	90
Tab. 5.3	Mittelwerte der mobilen Elementanteile über alle vier betrachteten Elutionsverfahren bzw. ohne die Kaskadenelution.....	94
Tab. 5.4	AMANDA-Datenbestand zu Versuchen mit PAK-Analysen.....	101
Tab. A.1	Einstufige Batch-Extraktionsverfahren	124
Tab. A.2	Mehrstufige Batchversuche	125
Tab. A.3	Verfügbarkeitsversuche.....	126
Tab. A.4	Kaskadenversuche.....	127
Tab. A.5	Säulenversuche.....	129

A Anhang

A.1 Übersicht über in der Literatur beschriebene Auslaugverfahren

A.1.1 Batchversuche

In den letzten Jahren hat sich eine große Anzahl unterschiedlicher ein- oder mehrstufiger Batchversuche in der nationalen und internationalen Praxis etabliert, vor allem auch für genehmigungsrechtliche Aspekte /SLO 97/. Ein wichtiger Grund ist sicherlich darin zu sehen, dass solche Versuche schnell und mit vergleichsweise geringem Aufwand durchzuführen und damit einfach zu standardisieren sind. Zum Teil basieren diese Tests aufeinander, so dass sie viele Gemeinsamkeiten aufweisen.

a) Einstufige Batchversuche

Bei dieser Art von Extraktionsversuchen wird jeweils eine bestimmte Menge Abfall mit einer festgelegten Lösungsmenge bzw. einem bestimmten Lösungsvolumen für eine definierte Zeit extrahiert. Häufig werden die Lösungen dabei bewegt – oft durch Drehen des Extraktionsgefäßes in einem Überkopfschüttler –, um eine intensive Durchmischung von Feststoff und Lösung zu erzielen und die Auslaugprozesse zu beschleunigen. Dadurch kann es allerdings zum Abrieb der Feststoffkörner und zu einer Vergrößerung der Oberfläche der Feststoffprobe kommen, die nach Möglichkeit vermieden werden sollte, da es so zu einer Veränderung des Auslaugverhaltens führen kann. Das Flüssig/Fest-Verhältnis liegt minimal bei 2 L/kg, oftmals jedoch erheblich darüber. Bei kleineren Werten als 2 L/kg treten schnell experimentelle Probleme auf, die eine Abtrennung des Eluats vom Feststoff erschweren bzw. unmöglich machen können. Die Versuchsparameter einiger wichtiger einstufiger Batchverfahren sind in Tabelle A.1 zusammengestellt. Für weiterführende Hinweise zur Versuchsdurchführung wird auf die jeweilige Originalliteratur verwiesen.

Darüber hinaus sind in der Literatur eine Reihe weiterer einstufiger Batch-Extraktionen beschrieben, die sich von den oben genannten Verfahren kaum unterscheiden und daher hier nicht im einzelnen aufgeführt sind. Im Wesentlichen werden dabei Flüssig/Fest-Verhältnisse von 4 L/kg bis 20 L/kg sowie destilliertes Wasser oder mit

Acetatpuffer oder Salpetersäure auf einen schwach-sauren Anfangs-pH-Wert im Bereich um 4 eingestellte Lösungen bzw. synthetisches Regenwasser verwendet.

Tab. A.1 Einstufige Batch-Extraktionsverfahren

	DEV-S4 (Deutschland)	AFNOR X-31-210 (Frankreich)	EPA 1311 (TCLP) (USA)	pH-stat (Deutschland)
Versuchstyp	Schüttelversuch	Schüttelversuch	Schüttelversuch	Schüttelversuch
Probenbewegung	langsame Rotation des Gefäßes, 1 U/min	Rotation des Probengefäßes, 60 U/min	Rotation des Probengefäßes, 30 U/min	Rühren
Korngröße	< 10 mm	< 4 mm		< 6 mm
Probenvorbereitung	ggf. Aufmahlen	ggf. Abtrennen der flüssigen Phase	ggf. Abtrennung der vorhandenen Wasserphase	ggf. Aufbrechen
l/s-Gesamtverhältnis [L/kg]	10	10	20	10
Auslauglösung	Aqua dest. (Einsatz geogener Lösung möglich)	Aqua dest.	Essigsäure-Pufferlsg.	Aqua dest.
pH-Wert	bei Versuch nicht geregelt	bei Versuch nicht geregelt	pH 4,93 oder 2,88, bei Versuch nicht geregelt	pH 4 und pH 11, per Titrierstation mit HNO ₃ und NaOH konstant
Auslaugdauer	24 h	24 h 16 h in optional weiteren Stufen	24 h	24 h
Temperatur	Raumtemp.	Raumtemp.	22±3 °C	Raumtemp.
Analyse	Eluat n. Filtration	Eluat n. Filtration	Eluat n. Filtration (0,6 - 0,8 µm) zus. mit Filtrat aus Probenvorb.	Eluat n. Filtration (0,8 µm)
Bemerkungen			Spez. Extraktionsgefäß (Zero-head-space) zur Best. leicht-flüchtiger Substanzen	Zwei getrennte Extraktionen pro Feststoff
Zitat	/DEV 84a/	/AFN 88/	/EPA 90a/	/OBE 92/

Bei den meisten einstufigen Batchversuchen wird der pH-Wert der Auslauglösung während des Versuchs nicht geregelt. Der sich im Eluat einstellende pH-Wert hängt dann von der Alkalinität bzw. Azidität des Abfalls ab. Auslaugversuche, bei denen der pH-Wert der Lösung durch ständige Messung und eine automatisierte Zugabe von entsprechender Säure oder Base konstant gehalten wird, werden als pH-stat-Versuche bezeichnet.

b) Mehrstufige Batchversuche

Bei dieser Versuchsart wird eine bestimmte Masse des Abfalls seriell, d.h. mehrmals nacheinander, jeweils mit neuer Auslauglösung ausgeschüttelt. Die Versuchsdurchführung in jeder Stufe erfolgt ähnlich wie bei einstufigen Extraktionen; in vielen Fällen werden auch pro Stufe identische l/s-Verhältnisse verwendet. Die Menge an ausgelaugten Inhaltsstoffen sinkt im Normalfall dabei von Stufe zu Stufe, es sei denn die Eluatkonzentrationen werden über Minerallöslichkeiten gesteuert. Durch das mehrmalige Ausschütteln der Abfallprobe mit neuer Lösung vergrößert sich sukzessive das Gesamtverhältnis Lösung zu Feststoff. Die Addition der in den einzelnen Stufen ausgelaugten Schadstoffmengen liefert Informationen zum Mobilisierungsverhalten bei verschiedenen Flüssig/Fest-Verhältnissen. Die experimentellen Parameter verschiedener mehrstufiger Batchversuche sind in Tabelle A.2 zusammengefasst. Eine gewisse Sonderstellung nimmt dabei der Nordtest ENVIR 005 /NOR 98/ ein, bei dem es sich um einen in zwei unabhängigen Messreihen durchzuführenden Versuch handelt, bei dem sowohl eine einstufige als auch eine zweistufige Messung erfolgt.

Tab. A.2 Mehrstufige Batchversuche

	NEN 7349 (Niederlande)	TVA (Schweiz)	Nordtest (Nordeuropa)	
Versuchsdurchführung	Schüttelversuch	Standversuch	Schüttelversuch im geschlossenen Gefäß in zwei unabhängigen Messprozeduren: 1. Messung einstufig, 2. Messung zweistufig	
Probenbewegung		Rühren	Rotation des Gefäßes, 1 U/min	
Korngröße		keine Anforderungen	< 10 mm, 90 % bei < 4 mm	
l/s-Verhältnis [L/kg]			2	2 (1. Stufe) + 8 (2. Stufe)
Stufen	5	2	1	2
l/s-Gesamtverhältnis [L/kg]	100	20	2	10
Auslauglösung	Aqua dest.	Aqua dest.	Aqua dest.	
pH-Wert	anfängl. pH 4 mit HNO ₃ bei Versuch nicht geregelt	pH 5-6 mit CO ₂ begast	bei Versuch nicht geregelt	
Dauer pro Stufe	23 h	24 h	24 h	6 h (1. Stufe) + 18 h (2. Stufe)
Temperatur	Raumtemp.	Raumtemp.	Raumtemp.	
Analyse	Eluat	Eluat	Eluate nach Filtration	vereinigte Eluate nach Filtration
Zitat		/EDI 88/	/NOR 98/	

c) Verfügbarkeitsversuche

Einige Batchverfahren haben zum Ziel, die maximale Auslaugbarkeit an Inhaltsstoffen des Feststoffs zu ermitteln. Dabei handelt es sich in der Mehrzahl um mehrstufige Batchversuche. Um das Erreichen von Löslichkeitsgrenzen im Eluat zu verhindern, die eine weitere Freisetzung von auslaugbaren Bestandteilen nicht zulassen, wird der Feststoff meist bei hohen l/s-Verhältnissen von 50 L/kg bis 200 L/kg extrahiert. Zum Teil wird auch nach der ersten Extraktionsstufe die Auslaugwirkung der Lösung durch Absenken des pH-Wertes verstärkt bzw. es werden aggressivere Auslauglösungen, die Säuren oder komplexierende Stoffe enthalten, verwendet. Die Versuchsparameter solcher Verfügbarkeitsversuche sind in Tabelle A.3 aufgeführt.

Tab. A.3 Verfügbarkeitsversuche

	Nordtest (Nordeuropa)	NEN 7341 (Niederlande)	EPA 1320 MEP (USA)	DEV-S7 (Deutschland)
Versuchsdurchführung	Mehrstufen-Extraktion	Mehrstufen-Extraktion	Mehrstufen-Extraktion	Einstufen - Extraktion
Probenbewegung	Schüttelversuch	Schüttelversuch	Rühren oder Überkopf-Rotation	
Korngröße	< 0,125 mm	< 0,125 mm	< 9,5 mm	
l/s-Verhältnis [L/kg]	100	50	10 (1. Stufe) + 20 (übrige St.)	ca. 10
Stufen	2	2	1 + mind. 9	1
l/s-Gesamtverhältnis [L/kg]	200	100	mind. 200	ca. 10
Auslauglösung	Aqua dest.	Aqua dest.	Aqua dest. (1.Stufe), synth. Regenwasser (übrige Stufen)	Königswasser (konz. HCl + konz. HNO ₃ , 3:1)
pH-Wert	pH 7 (1. Stufe), pH 4 (2. Stufe), per Titrierstation mit HNO ₃	pH 7 (1. Stufe), pH 4 (2. Stufe), per Titrierstation mit HNO ₃ und NaOH konstant	1. Stufe: pH 5±0,2 mit Acetatpuffer übrige Stufen: pH 3 ± 0,2 mit H ₂ SO ₄ & HNO ₃ (6:4)	
Dauer pro Stufe	3 h (1. Stufe) 18 h (2. Stufe)	3 h	24 h	2 h
Temperatur	Raumtemp.	Raumtemp.	20 – 40 °C	120 °C.
Analyse	Vereinigte Eluate nach Filtration	vereinigte Eluate	Eluate n. Filtration (0,45 µm)	verdünntes Eluat
Bemerkungen	Liegt der natürliche pH-Wert niedriger als gefordert, wird keine Säure zugegeben		Extraktion wie bei Methode 1310A (EP Tox); Prozedur wird wiederholt bis Konz. gleichbleiben	
Zitat	/NOR 95b/	/NNI 95c/	/EPA 90b/	/DEV 84b/

d) Kaskadenversuche

Kaskadenversuche sind ebenfalls mehrstufige Auslaugversuche, bei denen im Gegensatz zu den oben beschriebenen mehrstufigen Batchversuchen das Eluat einer Versuchsstufe jeweils abfiltriert und auf neuen Abfall gesetzt wird. Dadurch sättigen sich die Eluate zunehmend mit Abfallinhaltsstoffen auf. Mit fortschreitender Kaskadenzahl stellen sich immer kleinere I/s-Verhältnisse ein. Solche Verfahren haben sich international bisher kaum in der Praxis etablieren können und es gibt es auch nur vereinzelte Methodenentwicklungen und Verfahrensbeschreibungen. Die Versuchsparameter sind in Tabelle A.4 aufgeführt.

Tab. A.4 Kaskadenversuche

	ENA Skaktest (Schweden)	GRS- Kaskadenversuch (Deutschland)	Wisconsin Kaskadenauslaugung A (USA)
Versuchsdurchführung	Schüttelversuch	Schüttelversuch	Schüttelversuch
Probenbewegung		langsames Überkopfschütteln	
Korngröße	< 20 mm	< 10 mm	keine Anforderungen
I/s-Verhältnis pro Kaskade [L/kg]	4	mind. 2 Vorversuch	10
Stufen	4	beliebig, typisch 15 - 20	beliebig
I/s-Gesamtverhältnis [L/kg]	1	sinkt stufenweise, typisch 0,3 - 0,1	sinkt stufenweise
Auslauglösung	Aqua dest.	Aqua dest., geogene Fluide, natürliche Salzlös.	Aqua dest., künstliches Sickerwasser
pH-Wert	anfängl. pH 4 mit H ₂ SO ₄ , bei Versuch nicht geregelt	bei Versuch nicht geregelt	bei Versuch nicht geregelt
Dauer pro Stufe	24 h	1 - 3 Tage Vorversuch	24 h
Temperatur	Raumtemp.	25,0±0,1°C	Raumtemp.
Analyse	resultierendes Eluat	Eluat nach jeder Stufe, ggf. Bodenkörper	Eluat
Bemerkungen	Eluat entspricht anfänglichem Porenraumwasser	Versuche können unter Sauerstoffabschluss durchgeführt werden	
Zitat	/FÄL 90/	/HER 96/	zitiert in /HER 96/

Ein wichtiger Faktor ist die pro Kaskade zur Verfügung stehende Zeit. Ist diese lang genug, dass sich alle Inhaltsstoffe in einer Kaskade lösen, wird eine stationäre Lösungszusammensetzung erreicht. Um die Sättigung des Eluats an praktisch allen Inhaltsstoffen des Feststoffs zu erzielen, wird es in weiteren Kaskaden auf immer

neuen Bodenkörper gesetzt. Dabei wird möglicherweise letztlich ein I/s-Verhältnis erreicht, bei dem sich das thermodynamische Endgleichgewicht zwischen Abfall- und Lösungszusammensetzung einstellt.

A.1.2 Säulen- und Lysimeterversuche

Säulenauslaugverfahren unterliegen nur vereinzelt einer Normung. Bei Säulenversuchen sind in der Bundesrepublik derzeit zwei Verfahrensvorschriften im Umlauf, die mit unterschiedlichen Schwerpunkten das Problem der mittel- und langfristigen Schadstoffmobilisierung aus kontaminierten Stoffen (insbesondere organische Schadstoffquellen) Rechnung tragen wollen. Zum einen ist dies die Vornorm DIN V 19736 /DIN 00/, zum anderen das Merkblatt Nr. 20 herausgegeben vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, März 2000 /LUA 00/.

Beide Verfahren versuchen die Durchführung und Auswertung von Säulenversuchen zu regeln. Bei der praktischen Umsetzung zeigten sich vor allem Schwierigkeiten in der Auswertung unter Gleichgewichts-/Nichtgleichgewichtsbedingungen und deren Herleitung. Das Merkblatt Nr. 20 sieht deshalb längere Kontaktzeiten vor und setzt Gleichgewichtsbedingungen voraus. Bezogen auf das Merkblatt Nr. 20 des LUA NRW ist zu bemerken, dass dieses Regelwerk zunächst nur für PAK-belastete Materialien Gültigkeit hat, da nur hierfür entsprechende experimentelle Nachweise erfolgt sind. Die Übertragbarkeit auf andere Schadstoffgruppen ist noch nachzuweisen.

Insgesamt sind die technischen Vorschriften beider Regelwerke nicht hinreichend genau spezifiziert, so dass dem Bearbeiter zu viele Freiheitsgrade bleiben und dadurch Reproduzierbarkeit und Repräsentativität der Ergebnisse nicht in ausreichendem Maße gewährleistet sind. Die allgemeine Einführung der Vornorm DIN V 19736 ist aufgrund der fachlichen Probleme daher zunächst zurückgestellt. Die wichtigsten Parameter einiger in der Literatur beschriebenen, standardisierten Säulenversuche sind in Tabelle A.5 zusammengefasst. Diese Versuche werden in einigen Ländern für regulatorische Zwecke verwendet.

Im Hinblick auf Lysimeterversuche existieren sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene keine allgemein anerkannten Verfahrenbeschreibungen.

Für die Charakterisierung des mittel- und langfristigen Freisetzungsverhaltens von organisch und anorganisch belasteten Feststoffen werden üblicherweise Versuche im Labormaßstab als Durchlaufsäulenversuch durchgeführt. Darüber hinaus gibt es Lysimeterversuche, die im Technikumsmaßstab bzw. unter natürlichen Bedingungen im Freiland durchgeführt werden, um Ergebnisse aus Laborauslaugversuchen zu verifizieren. Lysimeterversuche können Informationen zum Freisetzungsverhalten bei sehr niedrigen Flüssig/Fest-Verhältnissen liefern.

Tab. A.5 Säulenversuche

	NEN 7343 (Niederlande)	Nordtest (Nordeuropa)
Versuchstyp	Durchlaufsäule	Durchlaufsäule
Fließrichtung	von unten	von unten
Säulendimensionen (Höhe h, Durchmesser Ø)	h=20 cm, Ø=5 cm	optional, min. h=20 cm, min. Ø=5 cm, min. h/Ø=4
Korngröße	< 4 mm	
Durchflussrate	pro 24 Stunden 0,5 l/s	abhängig vom untersuchten Material, Ziel ist die Gleichgewichtseinstellung in der Säule, pro 24 Stunden 0,03 - 0,1 l/s
l/s-Gesamtverhältnis [L/kg]	0,1 bis 10	2 bis 10
Auslauglösung	Aqua dest.	Aqua dest.
pH-Wert	Anfangs-pH 4, mit HNO ₃ , bei Versuch nicht geregelt	Anfangs-pH 4, mit HNO ₃ , bei Versuch nicht geregelt
Versuchsdauer	ca. 21 Tage	Bis Eluatfraktionen, die einem l/s- Gesamtverhältnis von 2 bis max. 10 entsprechen, gesammelt wurden
Temperatur	Raumtemp.	Raumtemp.
Analyse	7 Eluate werden gesammelt im Bereich der o.a. Flüssig/Fest- Verhältnisse	4 bis 5 Eluate werden gesammelt
Zitat	/NNI 95b/	/NOR 95a/

Bei Säulen- und Lysimeterversuchen wird eine bestimmte Masse eines Abfalls in einer vertikalen Säule von einer Auslauglösung durchströmt und das Eluat in Fraktionen gesammelt und analysiert. Die Versuchsdauer liegt üblicherweise bei mehreren Wochen. Über die Ergebnisse für die einzelnen Eluatfraktionen lassen sich Mobilisierungsdaten für einen weiten Bereich der l/s-Verhältnisse von drei bis vier Größenordnungen ableiten. Selbst unter Berücksichtigung des l/s-Verhältnisses sind

die Ergebnisse solcher Versuche mit denen von Batchversuchen nur in Ausnahmefällen vergleichbar /OBE 92/, was vor allem auf die unterschiedlichen hydrodynamischen Verhältnisse zurückgeführt wurde. Während bei einem Batchversuch jederzeit im gesamten System homogene Verhältnisse herrschen, wandert in einem Säulenversuch eine Lösungsfront durch den Versuchskörper. In diesem räumlich inhomogenen System stellen sich die komplexen Verteilungsgleichgewichte zwischen Lösung und Feststoff anders ein als unter homogenen Bedingungen.

Beschreibung von Versuchsapparaturen

Elutionen von abgebundenen **Reststoffkernen** erfolgen mittels Triaxialzelle (Abb. A.1). Über einen Manteldruck auf eine Gummimanschette wird eine randliche Abdichtung des Probenkörpers erzielt. Die Durchströmung erfolgt von unten nach oben, um eine homogene Durchströmung des Probenkörpers zu erreichen.

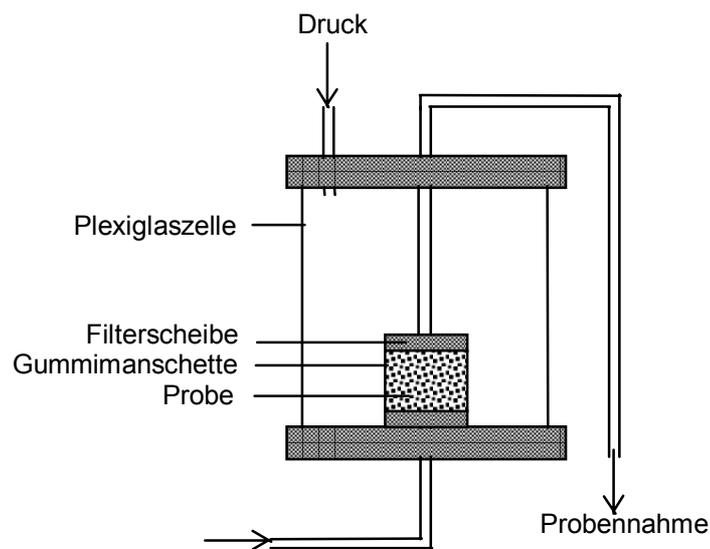


Abb. A.1 Versuchsaufbau zur Säulenelution mittels Triaxialzelle

Aus dem Druckgradienten (h), der Probenquerschnittsfläche (F) und der Probenhöhe (l), sowie der gemessenen durchgeflossenen Wassermenge (Q) je Zeiteinheit (t) lässt sich der k_f -Wert nach dem Darcy-Gesetz wie folgt berechnen (Einheit m/s):

$$k_f = \frac{Q \cdot l}{t \cdot F \cdot h} \quad (6)$$

Nachteil sind bei zementabgebundenen Materialien oftmals sehr geringe Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte und somit in realistischen Zeiträumen auch nur geringe Perkolatvolumina und Laugungsintensitäten.



Abb. A.2 Aufbau einer Säulenelutionsanlage zur Untersuchung unverfestigter Abfallproben

Säulenelutionen von **unverfestigten Reststoffproben** werden mit Säulenanlagen ohne randliche Abdichtung durchgeführt. Abb. A.2 zeigt eine Säulenapparatur, die über eine Fließstrecke von einem Meter Länge an insgesamt 4 Punkten die Entnahme von

Perkolatproben erlaubt. Der Durchmesser des Probenkörpers beträgt 10 cm. Am Auslauf werden über eine Durchlaufzelle hydrochemische Parameter (pH, EH, Leitfähigkeit) kontinuierlich ermittelt. Die Proben können im Trockenzustand oder als Suspension in die Säule eingebaut werden. Die unverfestigten Proben gewährleisten im gesättigten Zustand eine weitgehend homogene Durchströmung und Laugung.

Bedingt durch die hohe Einwaage (ca. 7 bis 10 kg Trockensubstanz) können mit den ersten Perkolaten von wenigen 100 ml sehr geringe Flüssig/Fest-Verhältnisse simuliert werden, wie sie auch unter realen Bedingungen z.B. in der Flutungsphase eines Bergwerkes bei einer Durchströmung von Versatzbereichen zu erwarten sind. Normalerweise werden Elutionsversuche mit kurzen Säulen von ca. 10 cm Länge durchgeführt. Diese Versuche simulieren nicht die in einem Abfallkörper vorhandenen Sickerwege und sind somit von realen Sickerwasserkonzentrationen weiter entfernt.

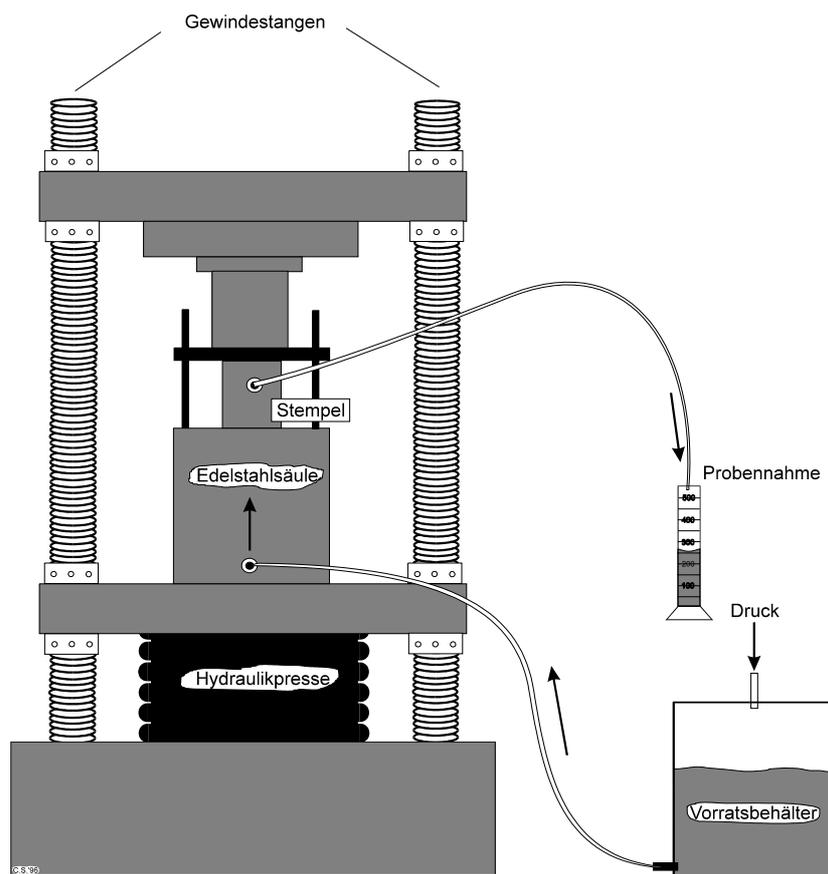


Abb. A.3 Versuchsaufbau zur Säulenelution mittels Drucksäulenanlage

Elutionen von Reststoffproben unter Auflast (z.B. durch das Gebirge) können mit Edelstahlsäulen simuliert werden, die mit ca. 100 g Trockenmasse Feststoff entsprechender Probenmenge gefüllt wurden (Probenkörper 63 mm Durchmesser, ca. 20 mm Höhe) und in eine Presse eingespannt waren (Abb. A.3). Die Variation des Stempeldruckes ermöglicht zusammen mit der Regulierung des hydraulischen Gradienten über Stickstoffdruck im Wasservorratsbehälter in Abhängigkeit von den k_f -Werten der Proben eine Steuerbarkeit der Durchströmungsraten. Durch den Stempeldruck erfolgt eine ständige Nachverdichtung der Proben, so dass über den gesamten Versuchverlauf homogene Probenkörper erhalten bleiben.

Die Proben können im Trockenzustand oder als Suspension in die Säule eingebaut werden. Die Suspensionsproben werden zunächst druckentwässert und dann in diesem Zustand belassen, um Abbindereaktionen zu ermöglichen. Erst dann erfolgt eine Durchströmung mit Wasser (Deionat oder Grubenwasser).

Säulenversuche stellen inzwischen ein Routineverfahren zur Mobilitätsuntersuchung aus Feststoffen dar und sind entsprechend umfangreich in der Literatur beschrieben. Säulenversuche bilden die wesentliche Grundlage für die Ermittlung eines Quellterms.

Lysimeterkonstruktionen

Lysimeter sind an den Seitenwänden und am Boden wasserundurchlässige Gefäße mit einer Auffang- und Messvorrichtung für das am Boden austretende Sickerwasser. In den Behältern kann sich ein »monolithischer« (= ungestörter) oder ein eingefüllter (= gestörter) Bodenkörper befinden, wobei die Oberfläche bewachsen oder unbewachsen sein kann. Je nach Größe und Form der Behälter unterscheidet man zwischen Großlysimeter (z.B. Haldenlysimeter) oder normale Lysimeter (Standardlysimeter).

Großlysimeter

Großlysimeter-Langzeittests werden z.B. für die Simulation der in aufgehaldeten Bergematerialien ablaufenden Verwitterungs- und Lösungsprozesse eingesetzt, da im Gegensatz zu Säulenelutionsversuchen hier auch die *langfristigen* geochemischen und mineralogischen Umsetzungsprozesse hinreichend genau erfasst werden können.

Die Lysimeterbehälter sind oben offene Zylinder mit einer schräg angeordneten Bodenplatte (Abb. A.4). Sie sind ca. 2 m hoch und haben einen Durchmesser von ca. 1 m. Die Bodenplatte ist zu einem seitlich angebrachten Auslauf geneigt. Über dem schrägen Boden wird meist ein abgestufter Sand-Kies-Filter eingebracht, der die Sickerwässer aus den Lysimeterfüllungen sammelt und dem Auslauf zuführt. Auf die Kiesschüttung wird das zu untersuchende Material aufgebracht. Gegen seitliche Temperatureinflüsse sind die Lysimeter von einer Erdschüttung umgeben. Die am Lysimeterboden austretenden Sickerwässer fließen durch Kunststoffrohre in Sammelgefäße.

Der hauptsächlich eingesetzte Lysimetertyp weist am Behälterboden einen freien Ablauf auf, so dass die Sickerwässer frei abfließen können (s. Bild A.4). Dieser Lysimetertyp simuliert die höheren Partien der wasserungesättigten Zone. Aufgrund der guten Sauerstoffzufuhr von oben herrscht in diesem Lysimetertyp ein mehr oder weniger oxidierendes Milieu vor, so dass Verwitterungsprozesse möglich sind.

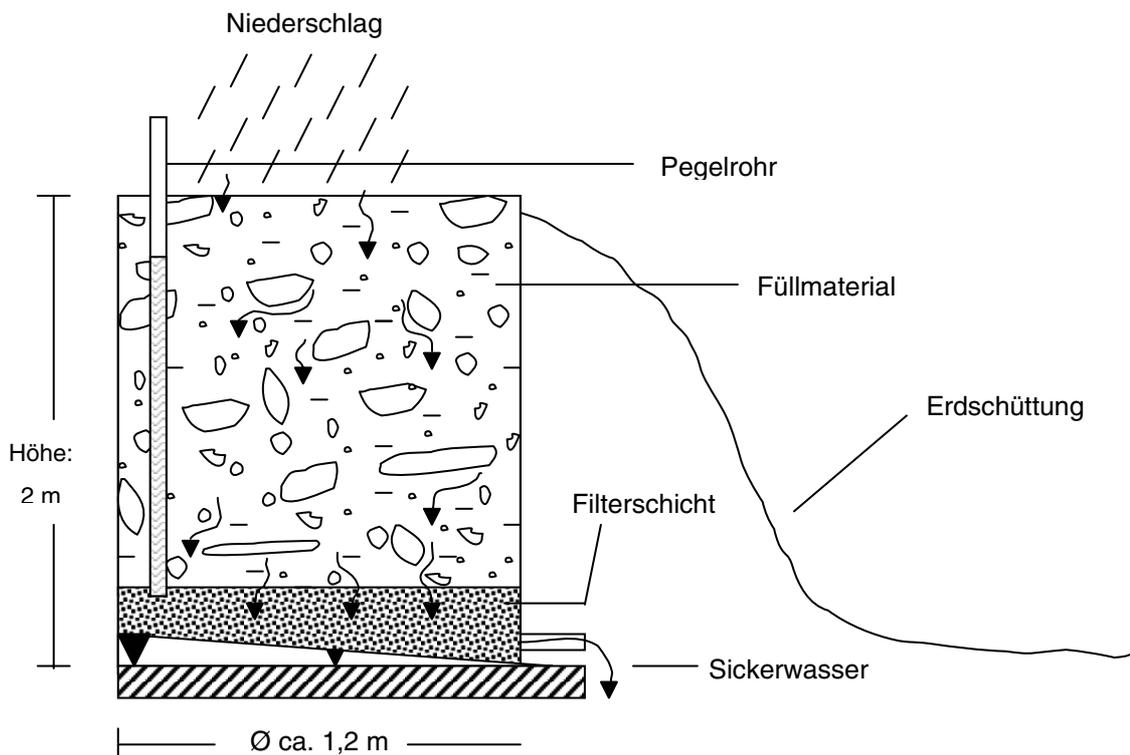


Abb. A.4 Prinzipskizze eines Großlysimeters mit freiem Ablauf

Lysimeter können auch so konstruiert werden, dass sie keinen freien Ablauf besitzen bzw. an der Basis zusätzlich eine gering durchlässige Schicht aufweisen. Für eine solche Basisabdichtung kommen z.B. natürliche Stoffe in Frage, die aufgrund ihrer höheren Schluff- und Tongehalte (z.B. Tonmergelsteine, Lösslehm) eine geringe Durchlässigkeit besitzen. Hier staut sich das Sickerwasser, so dass dieser Typ die wassergesättigte Zone simuliert. Durch geeignete Auffangvorrichtungen, die in verschiedenen Höhen eingebaut sind, können aus unterschiedlichen Höhen Sickerwasserproben abgezogen werden. Diese Entnahmevorrichtungen sind durch Ventile abgesperrt. In diesen Lysimetern soll sich ein Milieu einstellen, das infolge der stark eingeschränkten Sauerstoffzufuhr und der Sauerstoffzehrung vorwiegend indifferent bis reduzierend ist.

In den meisten Lysimeterbehältern ist zusätzlich ein ca. 2 m langes Pegelrohr aus Kunststoff eingebaut. Es besteht unten aus einem 1 m langen Schlitzfilter mit einer Schlitzweite von 0,6 mm und oben aus einem 1 m langen Vollwandrohr. Das untere Ende der Pegelrohre liegt entweder oberhalb des Sand-Kies-Filters oder oberhalb der Basisabdichtungen. Die Pegelrohre dienen einerseits zur Kontrolle der Wasserstände und der Wassertemperaturen, ebenso können verschiedene physikalische und chemische Sondermessungen vorgenommen werden.

Werden Großlysimetertests unter realen Bedingungen durchgeführt, ist zur Registrierung der lokalklimatischen Verhältnisse eine Wetterstation erforderlich, die Niederschlagsmengen, Temperatur, Feuchte, Verdunstung, Luftdruck, Windrichtung/-geschwindigkeit etc. dokumentiert. Im Labor muss zur Simulation der Niederschlagsverhältnisse der Jahresniederschlag umgerechnet werden auf Tage und über einen zuvor festgelegten Zeitraum verrieselt werden.

Standardlysimeter (Labortests)

Zur Durchführung möglichst realitätsnaher Versuche im Labor werden Standardlysimeter verwendet. Sie sind in der Regel kleiner als Freilandlysimeter aber von ähnlichem Aufbau (siehe Abb. A.5). Mit Standardlysimetern können sowohl Ungleichgewichts- und wie auch Gleichgewichtssituationen simuliert werden.

Beispiel A: *Lysimeterversuch im geschlossenen System mit konstantem Flüssig/Fest-Verhältnis (Gleichgewichtssituation)*

Ein zylindrischer Behälter (Container) mit einem definierten Volumen [m^3] wird über Filtersand- und Kieslagen mit Probenmaterial (z.B. Abfall-/Gesteinsmischung) gefüllt. Nach der Befüllung wird der Container mit Elutionsmittel beaufschlagt, bis das Probenmaterial vollständig mit dem Elutionsmittel bedeckt ist. Versuchsdauer und -temperatur sowie Beprobungsintervalle werden festgesetzt. Die Probenentnahme erfolgt über eine Ablaufvorrichtung im unteren Teil des Containers (siehe Abb. A.5). Vor den jeweiligen Beprobungen wird zuerst das Wasser im Filtersand abgezogen (ausgetauscht). Dieses Wasser wird anschließend wieder von oben in den Container zurückgeführt, so dass eine Durchströmung des Containers erfolgt, ohne dass das Flüssig/Fest-Verhältnis wesentlich verändert wird (d.h., das Elutionsmittel befindet sich in einem geschlossenen Kreislauf). Bei der Beprobung werden etwa 50 ml Eluat entnommen. Aus den zugegebenen Wassermengen und dem Wasserstand im Container (Pegelrohr) lässt sich die Wassersättigung der Porenräume in den Containern ableiten. Das Flüssig/Fest-Verhältnis berechnet sich aus dem Elutionsvolumen und der Proben einwaage [L/kg].

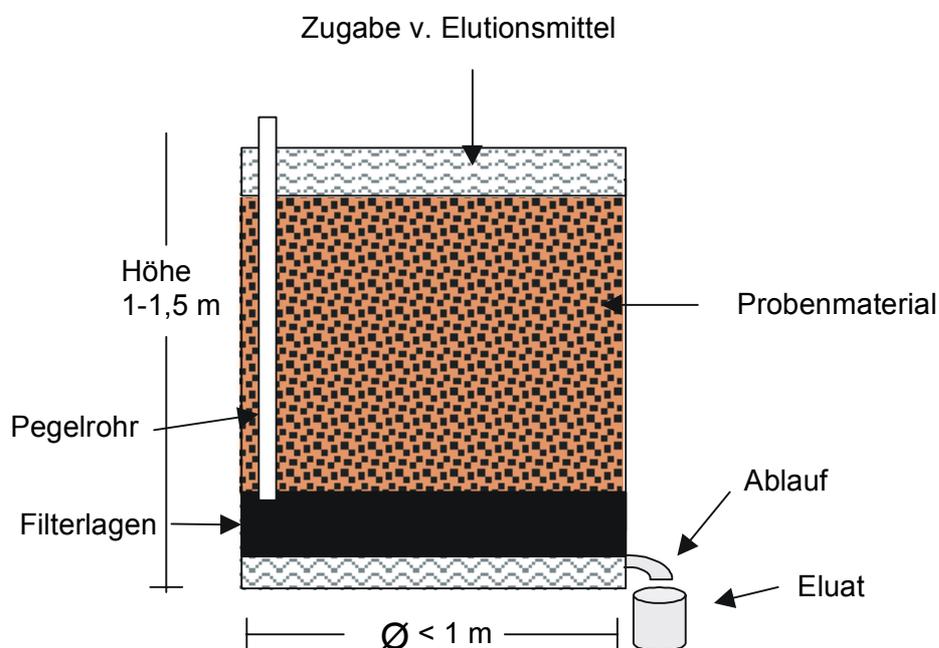


Abb. A.5 Skizze eines Standardlysimeters

Beispiel B: Lysimeterversuch im offenen System mit diskontinuierlicher Perkolation und variablem Flüssig/Fest-Verhältnis (Situation: permanentes Ungleichgewicht)

Der Versuchsaufbau entspricht dem im Beispiel A eingehend beschrieben. Vor der jeweiligen Probenentnahme wird eine bestimmte Menge Lösung entnommen, die nicht in den Container zurückgegeben wird, um einen Austausch der Porenlösungen zu bewirken.

A.2 Checkliste für die Dateneingabe in AMANDA

Aufgrund der komplexen Datenbankstruktur ist es möglich, bestimmte Daten und experimentelle Parameter an unterschiedlichen Stellen in den Bildschirmmasken einzugeben. Dadurch kann es dazu kommen, dass bei einer übergreifenden Auswertung Datensätze bzw. Informationen nicht berücksichtigt werden. Dies ist nur durch eine strukturierte Eingabe aller notwendigen Daten zu verhindern. Dazu wurde für den Anwender die nachstehende Checkliste erstellt, die festlegt, welche Informationen für die verschiedenen Versuchsarten an welchen Stellen abgelegt werden.

Die Grauschattierung des Feldes signalisiert die Bedeutung der Eingabe:

Pflichteingabe, Eingabe muss in jedem Fall vorgenommen werden
Eingabe empfohlen, sofern entsprechende Angaben vorliegen
Eingabealternative, nur unter bestimmten Bedingungen ausfüllen
Nicht ausfüllen, keine Angabe erforderlich

Pfad zum Eingabefeld, bzw. Datensatz	Eingabefeld bzw. Schaltfläche	Parametergruppe/ Registerkarte	Eingabefeld bzw. Parameter	Bemerkungen	Batch	Batch -PV	Kaska de	Säule/ Lysi.	Trog
Menü Datensätze GRS-Versuchsreihen	Anzahl der Einsatzkomponenten			Angabe 1 bis 5 je nach Art des Materials u. vorliegenden Daten, Eingabe nur einmal pro Bericht möglich					
	Versuchsart:				Batch	Batch -PV	Kas-kade	Säule/ Lysi.	Trog
	Versuchsstufen:			Anzahl der zu einer Serie gehörenden Proben der gewählten Versuchsart in jedem Fall markieren		>=2	>=2	>=2	
	Randbedingungen: Versuchsbedingungen								
	Feststoff nach Versuchsende			markieren, wenn entsprechende Daten vorhanden					

Pfad zum Eingabefeld, bzw. Datensatz	Eingabefeld bzw. Schaltfläche	Parametergruppe/ Registerkarte	Eingabefeld bzw. Parameter	Bemerkungen	Batch	Batch -PV	Kaskade	Säule/ Lysi.	Trog
	Elutionsmittel			nur markieren, wenn kein Standard-Elutionsmittel verwendet wurde, damit die Probe »Randbedingungen: Elutionsmittel« angelegt wird					
Start, Einsatzkomponente 001 bis n				Für jede Komponente, die beim erstmaligen Anlegen einer Versuchsart in einem Bericht angelegt wird					
	Bezeichnung der Einzelanalyse			Falls sinnvoll möglich, überschreiben mit Stoffbezeichnung					
	Kurzbez.			z.B. Labornummer oder Originalbezeichnung aus Veröffentlichung					
	Probe.dat.								
	Analys.dat.								
	Schaltfläche Lab			Analysenlabor aus Liste wählen					
	Schaltfläche Reagenzgläser	diverse	Analysendaten zur Feststoffzusammensetzung	Art und Anzahl abhängig von den Daten, keine Angabe zu Zuschlagstoffen					
	Schaltfläche Nase	GRS-Versuchsbedingungen							
		Organoleptik	Abfall	Je nach vorliegenden Daten					
		Probenahme	Eluat	Je nach vorliegenden Daten					
Versuchsstufe 001 bis n				jeweils für jede Probe					
	Bezeichnung der Einzelanalyse			Nicht verändern					
	Kurzbez.			z.B. Labornummer oder Originalbezeichnung aus Veröffentlichung					
	Probe.dat.								
	Analys.dat.								
	Schaltfläche Lab			Analysenlabor aus Liste wählen					
	Schaltfläche Reagenzgläser	diverse	Konzentrationsdaten der Eluatinhaltsstoffe	Art und Anzahl abhängig von den Daten					

Pfad zum Eingabefeld, bzw. Datensatz	Eingabefeld bzw. Schaltfläche	Parametergruppe/ Registerkarte	Eingabefeld bzw. Parameter	Bemerkungen	Batch	Batch -PV	Kaskade	Säule/ Lysi.	Trog
		Physikalische Kenngrößen	Eluat-pH-Wert (PH)						
			Temperatur (TEMP)						
			Dichte des Eluats (RO)						
			Leitfähigkeit des Eluats (LFK)						
			Redoxverhalten (RDV)						
		Versuchsbedingungen	Einwaage: Masse, originalfeucht (M-OF)	Feststoffmasse (kg) originalfeucht					
			Einwaage: Masse, trocken (M-TS)	Feststoffmasse (kg) trocken					
			Elutionsmittel-Masse (EM-Mas)	Input (kg) je Einzelschritt					
			Elutionsmittel-Menge (EM-Men)	Input (L) je Einzelschritt					
			Eluat-Masse (EL-Mas)	Output (kg) je Einzelschritt					
			Eluat-Menge (EL-Men)	Output (L) je Einzelschritt					
			Flüssig/Fest-Verhältnis (LS)						
			Flüssig/Fest-Verhältnis, kumulativ (LSK)	Auch ausfüllen, wenn einstufiger Versuch					
			Versuchsdauer, gesamt (VD-G)						
			Versuchsdauer je Stufe (VD-ST)						
		GRS-Versuchsbedingungen	Elutionsmittel	In Klappliste entweder Option »s.Probe EM« oder Standardelutionsmittel wählen (ggf. neuen Datensatz im Katalog Elutionsmittel anlegen)					
	Schaltfläche Nase		Abfall						
		Organoleptik	Eluat	je nach vorliegenden Daten					
		Probenahme							

Pfad zum Eingabefeld, bzw. Datensatz	Eingabefeld bzw. Schaltfläche	Parametergruppe/ Registerkarte	Eingabefeld bzw. Parameter	Bemerkungen	Batch	Batch -PV	Kaskade	Säule/ Lysi.	Trog
Randbedingungen: Versuchsbedingungen									
	Schaltfläche Lab			kein Eintrag					
	Schaltfläche Reagenzgläser	Versuchsbedingungen	Behälter-Breite (BBR)						
			Behälter-Durchmesser (BDM)						
			Behälter-Höhe (BHOE)						
			Behälter-Länge (BLAN)						
			Behälter-Volumen (BVOL)						
			Zahl der Umdrehungen (ZUM)						
			Gefülltes Volumen (GVOL)						
			Versuch unter statischem pH-Wert (PH-STAT)	Ziel-pH des pH-stat-Versuches					
		Zuschlag	Gehalte von Zuschlagstoffen	Anteil Zuschlagsstoff, mit dem der Feststoff für diesen versuch gemischt wurde					
	Schaltfläche Nase	GRS-Versuchsbedingungen	Versuchsbehälter (Art)						
			Strömungsrichtung						
			Probenagitation						
			Gasatmosphäre						
			Filtermaterial						
			Elutionsmittel	In Klappliste entweder Option »s.Probe EM« oder Standardelutionsmittel wählen (ggf. neuen Datensatz im Katalog Elutionsmittel anlegen)					
			Wassersättigung gesättigt am						

Pfad zum Eingabefeld, bzw. Datensatz	Eingabefeld bzw. Schaltfläche	Parametergruppe/ Registerkarte	Eingabefeld bzw. Parameter	Bemerkungen	Batch	Batch -PV	Kaska de	Säule/ Lysi.	Trog
	Einzelanalyse								
	Kurzbez.			z.B. Labornummer oder Originalbezeichnung aus Veröffentlichung					
	Probe.dat.								
	Analys.dat.								
	Schaltfläche Lab								
	Schaltfläche Reagenzglas	Diverse	Massenangaben der Feststoffinhaltsstoffe	Analysenlabor aus Liste wählen Art und Anzahl abhängig von den Daten					
	Schaltfläche Nase	GRS- Versuchsbedingung n		keine Einträge					
		Organoleptik		keine Einträge					
		Probenahme		keine Einträge					

A.3 Liste der erfassten Parameter

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
ANION	6	B	Bor	mg/l	mg/kg
ANION	93	BR-	Bromid	mg/l	mg/kg
ANION	534	CO3	Carbonat	mg/l	mg/kg
ANION	26	CL	Chlorid	mg/l	mg/kg
ANION	27	CN-G	Cyanide (gesamt)	mg/l	mg/kg
ANION	28	CN-L	Cyanide (leicht freisetzbar)	mg/l	mg/kg
ANION	29	F-	Fluorid	mg/l	mg/kg
ANION	32	PO4	Gesamt-Phosphat (incl. ortho-Phosphat)	mg/l	mg/kg
ANION	533	HCO3	Hydrogencarbonat	mg/l	mg/kg
ANION	269	J-	Jodid	mg/l	mg/kg
ANION	30	NO3	Nitrat	mg/l	mg/kg
ANION	31	NO2	Nitrit	mg/l	mg/kg
ANION	1104	RHOD	Rhodanid	mg/l	mg/kg
ANION	33	SO4	Sulfat	mg/l	mg/kg
ANION	34	S-	Sulfid	mg/l	mg/kg
ANION	35	SO3-	Sulfit	mg/l	mg/kg
AROMAT	116	BENZ	Benzol	mg/l	mg/kg
AROMAT	99	BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol (Summe)	mg/l	mg/kg
AROMAT	172	EBENZ	Ethylbenzol	mg/l	mg/kg
AROMAT	414	M-XYL	m-Xylol	mg/l	mg/kg
AROMAT	294	MES	Mesitylen	mg/l	mg/kg
AROMAT	413	O-XYL	o-Xylol	mg/l	mg/kg
AROMAT	415	P-XYL	p-Xylol	mg/l	mg/kg
AROMAT	171	PHT	Phthalate	mg/l	mg/kg
AROMAT	119	PYR	Pyridin	mg/l	mg/kg
AROMAT	170	STR	Styrol	mg/l	mg/kg
AROMAT	117	TOL	Toluol	mg/l	mg/kg
AROMAT	118	XYL	Xylol	mg/l	mg/kg
AS-GRUPPE	1	SB	Antimon	mg/l	mg/kg
AS-GRUPPE	2	AS	Arsen	mg/l	mg/kg
AS-GRUPPE	19	SE	Selen	mg/l	mg/kg
AS-GRUPPE	475	TE	Tellur	mg/l	mg/kg
BIOL. KG	1089	AT4	Atmungsaktivität		mg/g
BIOL. KG	50	BSB5	Biochemischer Sauerstoffbedarf (über 5 Tage)	mg/l	mg/kg
BIOL. KG	458	FGK	Fischgiftigkeit (LC50)	mg/l	
BIOL. KG	1090	GB21	Gasbildungsrate im Gärtest		l/kg
BKW	470	BKW	bromierte Kohlenwasserstoffe	mg/l	mg/kg
CHEM. KG	386	ASG	Aschegehalt		%
CHEM. KG	177	KB43	Basenkapazität Kb 4,3	mmol/l	
CHEM. KG	178	KB82	Basenkapazität Kb 8,2	mmol/l	
CHEM. KG	40	CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf	mg/l	mg/kg
CHEM. KG	92	CO2	gelöste Kohlensäure	mg/l	mg/kg
CHEM. KG	58	O2	gelöster Sauerstoff	mg/l	
CHEM. KG	460	TIC	Gesamt-anorganischer Kohlenstoff (C)	mg/l	%
CHEM. KG	97	GLR	Glührückstand	mg/l	
CHEM. KG	68	GV	Glühverlust		%
CHEM. KG	103	OX	Oxidierbarkeit als KMnO4 Verbr	mg/l	mg/kg
CHEM. KG	179	PÄL	Poly-Äther-Löslich (PÄL-Wert)		%
CHEM. KG	65	KS43	Säurekapazität Ks 4,3	mmol/l	
CHEM. KG	64	KS82	Säurekapazität Ks 8,2	mmol/l	
CKW	453	CKWA05	1,1,1-Trichlorethan [CKW, aliphatisch]	mg/l	mg/kg

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
CKW	454	CKWA06	1,1,2-Trichlorethan [CKW, aliphatisch]	mg/l	mg/kg
CKW	466	CKWA18	1,1-Dichlorethan	mg/l	mg/kg
CKW	377	CKWA12	1,1-Dichlorethen	mg/l	mg/kg
CKW	397	CKWC13	1,2,3,4-Tetrachlorbenzol	mg/l	mg/kg
CKW	394	CKWC10	1,2,3-Trichlorbenzol	mg/l	mg/kg
CKW	398	CKWC14	1,2,4,5-Tetrachlorbenzol	mg/l	mg/kg
CKW	395	CKWC11	1,2,4-Trichlorbenzol	mg/l	mg/kg
CKW	391	CKWC7	1,2-Dichlorbenzol	mg/l	mg/kg
CKW	381	CKWA16	1,2-Dichlorethan	mg/l	mg/kg
CKW	380	CKWA15	1,2-Dichlorethen-cis	mg/l	mg/kg
CKW	379	CKWA14	1,2-Dichlorethen-trans	mg/l	mg/kg
CKW	389	CKWA17	1,2-Dichlorpropan	mg/l	mg/kg
CKW	396	CKWC12	1,3,5-Trichlorbenzol	mg/l	mg/kg
CKW	392	CKWC8	1,3-Dichlorbenzol	mg/l	mg/kg
CKW	393	CKWC9	1,4-Dichlorbenzol	mg/l	mg/kg
CKW	149	CKWA08	3-Chlorpropen (Allylchlorid) [CKW, aliphatisch]	mg/l	mg/kg
CKW	39	AOX	AOX (ads. org. geb. Halogene (Cl, Br, J))	mg/l	mg/kg
CKW	114	POX	ausblasbare organisch geb. Halogene	mg/l	mg/kg
CKW	136	CKWC	Chlorbenzole (gesamt) [CKW, cyclisch]	mg/l	mg/kg
CKW	90	CKW-G	Chlorierte Kohlenwasserstoffe (gesamt)	mg/l	mg/kg
CKW	143	CKWA	CKW, aliphatisch (gesamt)	mg/l	mg/kg
CKW	137	CKWC1	Dichlorbenzol [CKW, cyclisch]	mg/l	mg/kg
CKW	378	CKWA13	Dichlormethan	mg/l	mg/kg
CKW	142	CKWC6	Dichlornitrobenzol [CKW, cyclisch]	mg/l	mg/kg
CKW	41	EOX	EOX (extrah. org. geb. Halogene (Cl, Br, J))	mg/l	mg/kg
CKW	417	CKWC17	Ethylchlorid	mg/l	mg/kg
CKW	122	HKW-G	Halogenierte Kohlenwasserstoffe (gesamt)	mg/l	mg/kg
CKW	140	CKWC4	Hexachlorbenzol [CKW, cyclisch]	mg/l	mg/kg
CKW	152	CKWA11	Hexachlorbutadien [CKW, aliphatisch]	mg/l	mg/kg
CKW	151	CKWA10	Hexachlorethan [CKW, aliphatisch]	mg/l	mg/kg
CKW	98	LHKW	Leichtflüchtige, halogenierte Kohlenwasserstoffe	mg/l	mg/kg
CKW	416	CKWC16	Methylchlorid	mg/l	mg/kg
CKW	141	CKWC5	Monochlornitrobenzol [CKW, cyclisch]	mg/l	mg/kg
CKW	399	CKWC15	Pentachlorbenzol	mg/l	mg/kg
CKW	390	CKW16	Pentachlorethan	mg/l	mg/kg
CKW	120	PCP	Pentachlorphenol	mg/l	mg/kg
CKW	102	ORGCL	Summe org. Chlorverb. TVO	mg/l	mg/kg
CKW	139	CKWC3	Tetrachlorbenzol [CKW, cyclisch]	mg/l	mg/kg
CKW	145	CKWA02	Tetrachlorethan [CKW, aliphatisch]	mg/l	mg/kg
CKW	150	CKWA09	Tetrachlorethen [CKW, aliphatisch]	mg/l	mg/kg
CKW	104	CCL4	Tetrachlorkohlenstoff	mg/l	mg/kg
CKW	144	CKWA01	Tetrachlormethan [CKW, aliphatisch]	mg/l	mg/kg
CKW	138	CKWC2	Trichlorbenzol [CKW, cyclisch]	mg/l	mg/kg
CKW	147	CKWA04	Trichlorethan [CKW, aliphatisch]	mg/l	mg/kg
CKW	148	CKWA07	Trichlorethen [CKW, aliphatisch]	mg/l	mg/kg
CKW	146	CKWA03	Trichlormethan [CKW, aliphatisch]	mg/l	mg/kg
CKW	388	VC	Vinylchlorid	mg/l	mg/kg
DIOXIN	234	DIOX6	1234678-HeptaCDD	µg/l	µg/kg
DIOXIN	262	FURA8	1234678-HeptaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	225	DIOX3	123478-HexaCDD	µg/l	µg/kg
DIOXIN	250	FURA4	123478-HexaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	265	FURA9	1234789-HeptaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	228	DIOX4	123678-HexaCDD	µg/l	µg/kg
DIOXIN	253	FURA5	123678-HexaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	222	DIOX2	12378-PentaCDD	µg/l	µg/kg

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
DIOXIN	244	FURA2	12378-PentaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	231	DIOX5	123789-HexaCDD	µg/l	µg/kg
DIOXIN	256	FURA6	123789-HexaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	259	FURA7	234678-HexaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	247	FURA3	23478-PentaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	241	FURA1	2378-Tetra CDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	219	DIOX1	2378-TetraCDD	µg/l	µg/kg
DIOXIN	217	DIOX1B	2378-TetraCDD TE (BGA)	µg/l	µg/kg
DIOXIN	218	DIOX1I	2378-TetraCDD TE (NATO/CCMS)	µg/l	µg/kg
DIOXIN	237	DIOX7	OctaCDD	µg/l	µg/kg
DIOXIN	268	FURA0	OctaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	47	DIOX-B	PCDD/F TE (BGA) (2,3,7,8-Isomere)	µg/l	µg/kg
DIOXIN	213	DIOX-I	PCDD/TCDF TE (NATO/CCMS) (2,3,7,8-Isomere)	µg/l	µg/kg
DIOXIN	212	HpCDD	Summe HeptaCDD	µg/l	µg/kg
DIOXIN	282	HpCDF	Summe HeptaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	209	HxCDD	Summe HexaCDD	µg/l	µg/kg
DIOXIN	281	HxCDF	Summe HexaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	206	PeCDD	Summe PentaCDD	µg/l	µg/kg
DIOXIN	280	PeCDF	Summe PentaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	286	PCDD	Summe Tetra- bis OctaCDD	µg/l	µg/kg
DIOXIN	285	PCDF	Summe Tetra- bis OctaCDF	µg/l	µg/kg
DIOXIN	214	PCDF/D	Summe Tetra- bis OctaCDF/D	µg/l	µg/kg
DIOXIN	203	TCDD	Summe TetraCDD	µg/l	µg/kg
DIOXIN	279	TCDF	Summe TetraCDF	µg/l	µg/kg
EM	471	AU	Gold	mg/l	mg/kg
EM	473	PD	Palladium	mg/l	mg/kg
EM	472	PT	Platin	mg/l	mg/kg
EM	20	AG	Silber	mg/l	mg/kg
Element	518	ORG-CL	Anteil organisches Chlor	%	%
Element	271	Br	Brom (Elementaranalyse)		%
Element	75	CLE	Chlor (Elementaranalyse)		%
Element	270	F	Fluor (Elementaranalyse)		%
Element	469	CL-FREI	freies Chlor	mg/l	
Element	272	J	Jod (Elementaranalyse)		%
Element	180	C	Kohlenstoff		%
Element	74	P-G	Phosphor-gesamt	mg/l	%
Element	387	O	Sauerstoff (Elementaranalyse)		%
Element	76	S	Schwefel (Elementaranalyse)		%
Element	444	SI	Silizium-gesamt	mg/l	%
Element	73	N-G	Stickstoff-gesamt	mg/l	%
Element	181	H	Wasserstoff		%
VersBed	486	BBR	Behälter-Breite	cm	
VersBed	484	BDM	Behälter-Durchmesser	cm	
VersBed	485	BHOE	Behälter-Höhe	cm	
VersBed	487	BLAN	Behälter-Länge	cm	
VersBed	481	BVOL	Behältervolumen	l	
VersBed	536	M-OF	Einwaage: Masse, originalfeucht	kg	kg
VersBed	491	M-TS	Einwaage: Masse, trocken	kg	kg
VersBed	495	EL-Mas	Eluat-Masse	kg	
VersBed	494	EL-Men	Eluat-Menge	l	
VersBed	493	EM-Mas	Elutionsmittel-Masse	kg	
VersBed	492	EM-Men	Elutionsmittel-Menge	l	
VersBed	521	LS	Flüssig/Fest-Verhältnis	l/kg	
VersBed	535	LSK	Flüssig/Fest-Verhältnis, kumulativ	l/kg	
VersBed	482	GVOL	Gefülltes Volumen	l	
VersBed	538	KOMP1	Mischungsanteil der Komponente 1		%

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
VersBed	539	KOMP2	Mischungsanteil der Komponente 2		%
VersBed	540	KOMP3	Mischungsanteil der Komponente 3		%
VersBed	541	KOMP4	Mischungsanteil der Komponente 4		%
VersBed	542	KOMP5	Mischungsanteil der Komponente 5		%
VersBed	537	PH-STAT	Versuch unter statischem pH-Wert		
VersBed	488	VD-ST	Versuchsdauer je Stufe	h	
VersBed	489	VD-G	Versuchsdauer, gesamt	h	
VersBed	483	ZUM	Zahl der Umdrehungen	/min	
Kation	51	AL	Aluminium	mg/l	mg/kg
Kation	25	NH4	Ammonium	mg/l	mg/kg
Kation	3	BA	Barium	mg/l	mg/kg
Kation	4	BE	Beryllium	mg/l	mg/kg
Kation	8	CA	Calcium	mg/l	mg/kg
Kation	525	CS	Cäsium	mg/l	mg/kg
Kation	12	K	Kalium	mg/l	mg/kg
Kation	54	LI	Lithium	mg/l	mg/kg
Kation	53	MG	Magnesium	mg/l	mg/kg
Kation	52	NA	Natrium	mg/l	mg/kg
Kation	527	RB	Rubidium	mg/l	mg/kg
Kation	55	SR	Strontium	mg/l	mg/kg
Kation	175	TI	Titan	mg/l	mg/kg
KW	91	AKW-G	Arom. Kohlenwasserstoffe (gesamt)	mg/l	mg/kg
KW	293	BUOL	Butanol	mg/l	mg/kg
KW	296	BUAC	Butylacetat	%	%
KW	452	RCO	Carbonylverbindungen (IR-spektr.)	mg/l	mg/kg
KW	173	CHX	Cyclohexan	mg/l	mg/kg
KW	59	DOC	DOC (gelöst., org. geb. Kohlenstoff)	mg/l	
KW	292	EPAC	Ethoxypropylacetat	mg/l	mg/kg
KW	467	EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure (Komplexbildner)	mg/l	
KW	72	ELS	Extrahierbare lipophile Stoffe (KW85/H17)		%
KW	520	EAOS	Extrahierbarer Anteil der Originalsubstanz	%	%
KW	455	FORMA	Formaldehyd	mg/l	mg/kg
KW	42	KW	Kohlenwasserstoffe	mg/l	mg/kg
KW	295	NAPH	Naphta (Erdölfrakt.)	%	%
KW	468	NTA	Nitilotriessigsäure (Komplexbildner)	mg/l	
KW	174	AKW1	Phenanthracen	mg/l	mg/kg
KW	519	SLS	Schwerflüchtige lipophile Stoffe (H17)	mg/l	
KW	169	THF	Tetrahydrofuran	mg/l	mg/kg
KW	56	TOC	TOC (ges., org. geb. Kohlenstoff)	mg/l	%
LanthActin	528	CE	Cer	mg/l	mg/kg
LanthActin	529	LA	Lanthan	mg/l	mg/kg
LanthActin	530	ND	Neodym	mg/l	mg/kg
LanthActin	531	TH	Thorium (radioaktiv)	mg/l	mg/kg
LanthActin	532	U	Uran	mg/l	mg/kg
Minerale	543	Achroit	Achroit		%
Minerale	544	Adamin	Adamin		%
Minerale	545	Adular	Adular		%
Minerale	546	Ägirina	Ägirinaugit		%
Minerale	548	Akagane	Akaganeit		%
Minerale	549	Akanthi	Akanthit		%
Minerale	551	Aktinol	Aktinolith		%
Minerale	554	Alaband	Alabandin		%
Minerale	555	Albit	Albit		%
Minerale	556	Alexand	Alexandrit		%
Minerale	557	Alkalif	Alkalifeldspat		%
Minerale	558	Allanit	Allanit		%
Minerale	559	Allemon	Allemontit		%

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
Minerale	560	Almandi	Almandin		%
Minerale	561	Altait	Altait		%
Minerale	562	Alumohy	Alumohydrocalcit		%
Minerale	563	Alunit	Alunit		%
Minerale	564	Amalgam	Amalgam Ag		%
Minerale	565	Amazoni	Amazonit		%
Minerale	566	Amblygo	Amblygonil		%
Minerale	567	Amethys	Amethyst		%
Minerale	568	Amphibo	Amphibole		%
Minerale	569	Analzim	Analzim		%
Minerale	570	Anatas	Anatas		%
Minerale	571	Andalus	Andalusit		%
Minerale	572	Andesin	Andesin		%
Minerale	573	Andradi	Andradit		%
Minerale	574	Anglesi	Anglesit		%
Minerale	513	Anhydri	Anhydrit		%
Minerale	576	Ankerit	Ankerit		%
Minerale	577	Annaber	Annabergit		%
Minerale	578	Annivit	Annivit		%
Minerale	579	Anorthi	Anorthit		%
Minerale	580	Antigor	Antigorit		%
Minerale	581	Antimon1	Antimonglanz		%
Minerale	582	Antimon2	Antimonit		%
Minerale	583	Antleri	Antlerit		%
Minerale	584	Antophy	Antophyllit		%
Minerale	585	Antozon	Antozonit		%
Minerale	586	Apatit	Apatit		%
Minerale	499	Apht	Aphtitalit		%
Minerale	587	Apophyl	Apophyllit		%
Minerale	588	Aquamar	Aquamarin		%
Minerale	589	Aragoni	Aragonit		%
Minerale	590	Arsenop	Arsenopyrit		%
Minerale	591	Artinit	Artinit		%
Minerale	592	Aschari	Ascharit		%
Minerale	593	Atacami	Atacamit		%
Minerale	594	Augit	Augit		%
Minerale	595	Auricha	Aurichalcit		%
Minerale	596	Auripig	Auripigment		%
Minerale	597	Autunit	Autunit		%
Minerale	598	Aventur	Aventurin		%
Minerale	599	Axinit	Axinit		%
Minerale	600	Azurit	Azurit		%
Minerale	601	Baryt	Baryt		%
Minerale	602	Barytoc	Barytocalcit		%
Minerale	514	Bassani	Bassanit		%
Minerale	604	Bastnäs	Bastnäsit		%
Minerale	605	Bauerit	Bauerit		%
Minerale	606	Bavenit	Bavenit		%
Minerale	607	Bayarit	Bayarit		%
Minerale	608	Bayldon	Bayldonit		%
Minerale	609	Bazzit	Bazzit		%
Minerale	610	Benitoi	Benitoit		%
Minerale	611	Berthie	Berthierit		%
Minerale	612	Bertran	Bertrandit		%
Minerale	613	Beryll	Beryll		%
Minerale	614	Berzeli	Berzelianit		%
Minerale	615	Betafit	Betafit		%
Minerale	616	Beudant	Beudantit		%

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
Minerale	617	Bieberi	Bieberit		%
Minerale	618	Bindhei	Bindheimit		%
Minerale	619	Biotit	Biotit		%
Minerale	620	Birness	Birnessit		%
Minerale	621	Bismit	Bismit		%
Minerale	622	Bismuth	Bismuthinit		%
Minerale	623	Blauqua	Blauquarz		%
Minerale	624	Bleigla	Bleiglanz		%
Minerale	503	BLIX	Blixit		%
Minerale	625	Bloedit	Bloedit		%
Minerale	626	Boehmit	Boehmit		%
Minerale	627	Boleit	Boleit		%
Minerale	628	Bornit	Bornit		%
Minerale	629	Boulang	Boulangerit		%
Minerale	630	Bournon	Bournonit		%
Minerale	631	Branner	Brannerit		%
Minerale	632	Brasili	Brasilianit		%
Minerale	633	Braunei	Brauneisenerz		%
Minerale	634	Bravoit	Bravoit		%
Minerale	635	Brochan	Brochantit		%
Minerale	636	Bronzit	Bronzit		%
Minerale	637	Brookit	Brookit		%
Minerale	638	Brucit	Brucit		%
Minerale	639	Buserit	Buserit		%
Minerale	640	Bytowni	Bytownit		%
Minerale	641	Cabreri	Cabrerit		%
Minerale	642	Calaver	Calaverit		%
Minerale	507	Calcit	Calcit		%
Minerale	500	CAHPO	Calciumhydrogenphosphat		%
Minerale	644	Caledon	Caledonit		%
Minerale	645	Carnall	Carnallit		%
Minerale	646	Carneol	Carneol		%
Minerale	647	Carnoti	Carnotit		%
Minerale	648	Celsian	Celsian		%
Minerale	649	Cerussi	Cerussit		%
Minerale	650	Cervant	Cervantit		%
Minerale	651	Chalced	Chalcedon		%
Minerale	652	Chalkan	Chalkanthit		%
Minerale	653	Chalkop1	Chalkophyllit		%
Minerale	654	Chalkop2	Chalkopyrit		%
Minerale	655	Chalkos1	Chalkosin		%
Minerale	656	Chalkos2	Chalkostibit		%
Minerale	657	Chamosi	Chamosit		%
Minerale	658	Chapman	Chapmanit		%
Minerale	659	Chiasto	Chiastolith		%
Minerale	660	Chloant	Chloanthit		%
Minerale	661	Chlorar	Chlorargyrit		%
Minerale	662	Chlorit	Chlorit		%
Minerale	663	Chondro	Chondrodit		%
Minerale	664	Chromdi	Chromdiopsid		%
Minerale	665	Chromep	Chromepidot		%
Minerale	517	Chromit	Chromit		%
Minerale	667	Chrysob	Chrysoberyll		%
Minerale	668	Chrysok	Chrysokoll		%
Minerale	669	Chrysol	Chrysolith		%
Minerale	670	Chrysop	Chrysopras		%
Minerale	671	Chrysot	Chrysotil		%
Minerale	672	Cinnaba	Cinnabarit		%

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
Minerale	673	Citrin	Citrin		%
Minerale	674	Clausth	Clausthalit		%
Minerale	675	Cobalti	Cobaltit		%
Minerale	676	Coelest	Coelestin		%
Minerale	677	Coesit	Coesit		%
Minerale	678	Colorad	Coloradoit		%
Minerale	679	Columbi	Columbit		%
Minerale	680	Connell	Connellit		%
Minerale	681	Cordier	Cordierit		%
Minerale	682	Cornwal	Cornwallit		%
Minerale	683	Cosalit	Cosalit		%
Minerale	684	Covelli	Covellin		%
Minerale	685	Cuprit	Cuprit		%
Minerale	686	Cuprosk	Cuprosklodowskit		%
Minerale	687	Curit	Curit		%
Minerale	688	Cyanit	Cyanit		%
Minerale	689	Cyanotr	Cyanotrichit		%
Minerale	690	Danburi	Danburit		%
Minerale	691	Datolit	Datolith		%
Minerale	692	Dawsoni	Dawsonit		%
Minerale	693	Demanto	Demantoit		%
Minerale	694	Descloi	Descloizit		%
Minerale	695	Devilli	Devillin		%
Minerale	696	Diabole	Diaboleit		%
Minerale	697	Dianian	Dianiant		%
Minerale	698	Diaphor	Diaphorit		%
Minerale	699	Diaspor	Diaspor		%
Minerale	700	Dickit	Dickit		%
Minerale	701	Diopsid	Diopsid		%
Minerale	702	Dioptas	Dioptas		%
Minerale	703	Disthen	Disthen		%
Minerale	704	Dolomit	Dolomit		%
Minerale	705	Domeyki	Domeykit		%
Minerale	706	Dravit	Dravit		%
Minerale	707	Dumorti	Dumortierit		%
Minerale	708	Dyskras	Dyskrasit		%
Minerale	709	Elbait	Elbait		%
Minerale	710	Emplekt	Emplektit		%
Minerale	711	Enargit	Enargit		%
Minerale	712	Enstati	Enstatit		%
Minerale	713	Epidot	Epidot		%
Minerale	714	Epsomit	Epsomit		%
Minerale	715	Erythri	Erythrin		%
Minerale	716	Euchroi	Euchroit		%
Minerale	717	Eudialy	Eudialyt		%
Minerale	718	Euklas	Euklas		%
Minerale	719	Euxenit	Euxenit		%
Minerale	720	Fahlerz	Fahlerz		%
Minerale	721	Fayalit	Fayalit		%
Minerale	506	Feldspa	Feldspat		%
Minerale	723	Ferberi	Ferberit		%
Minerale	725	Feroxyh	Feroxyhit		%
Minerale	726	Ferrihy	Ferrihydrit		%
Minerale	724	Ferrimo	Ferrimolybdit		%
Minerale	727	Fluorit	Fluorit		%
Minerale	728	Flußspa	Flußspat		%
Minerale	729	Forster	Forsterit		%
Minerale	730	Francke	Franckeit		%

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
Minerale	731	Frankli	Franklinit		%
Minerale	732	Freiber	Freibergit		%
Minerale	733	Fuchsit	Fuchsit		%
Minerale	734	Gahnit	Gahnit		%
Minerale	735	Galenit	Galenit		%
Minerale	736	Galenob	Galenobismutit		%
Minerale	737	Garnier	Garnierit		%
Minerale	738	Gaspeit	Gaspeit		%
Minerale	739	Germani	Germanit		%
Minerale	740	Gersdor	Gersdorffit		%
Minerale	741	Gibbsit	Gibbsit		%
Minerale	742	Gips	Gips		%
Minerale	1081	Gipsmer	Gipsmergel		%
Minerale	743	Glauber	Glauberit		%
Minerale	744	Glaukop	Glaukophan		%
Minerale	745	Glimmer	Glimmer		%
Minerale	746	Goethit	Goethit		%
Minerale	747	Goldber	Goldberyll		%
Minerale	748	Gosheni	Goshenit		%
Minerale	749	Goslari	Goslarit		%
Minerale	750	Goyazit	Goyazit		%
Minerale	751	Granat	Granat		%
Minerale	752	Graphit	Graphit		%
Minerale	753	Greenoc	Greenockit		%
Minerale	754	Gregory	Gregoryit		%
Minerale	755	Grossul	Grossular		%
Minerale	756	Gudmund	Gudmundit		%
Minerale	511	Halit	Halit		%
Minerale	758	Halloys	Halloysit		%
Minerale	516	Hämatit	Hämatit		%
Minerale	760	Hauerit	Hauerit		%
Minerale	761	Hausman	Hausmannit		%
Minerale	762	Hauyn	Hauyn		%
Minerale	763	Hedenbe	Hedenbergit		%
Minerale	764	Hedypha	Hedyphan		%
Minerale	765	Helvin	Helvin		%
Minerale	766	Hemimor	Hemimorphit		%
Minerale	767	Hercyni	Hercynit		%
Minerale	768	Hessit	Hessit		%
Minerale	769	Hessoni	Hessonit		%
Minerale	770	Heyrovs	Heyrovskyit		%
Minerale	771	Hiddeni	Hiddenit		%
Minerale	772	Hodrusc	Hodruschit		%
Minerale	773	Hopeit	Hopeit		%
Minerale	774	Hornble	Hornblende		%
Minerale	775	Hübneri	Hübnerit		%
Minerale	776	Hyalit	Hyalit		%
Minerale	777	Hyazint	Hyazinth		%
Minerale	778	Hydroma	Hydromagnesit		%
Minerale	779	Hydroph	Hydrophan		%
Minerale	780	Hydrozi	Hydrozinkit		%
Minerale	781	Hyperst	Hypersthen		%
Minerale	547	Illit	Illit		%
Minerale	509	Il_MUSK	Illit/Muskovit		%
Minerale	782	Ilmenit	Ilmenit		%
Minerale	783	Indigol	Indigolith		%
Minerale	784	Inesit	Inesit		%
Minerale	785	Jacleit	Jacleit		%

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
Minerale	786	Jakobsi	Jakobsit		%
Minerale	787	Jameson	Jamesonit		%
Minerale	788	Jargon	Jargon		%
Minerale	789	Jeremej	Jeremejewit		%
Minerale	790	Jodargy	Jodargyrit		%
Minerale	791	Jordani	Jordanit		%
Minerale	792	Kainit	Kainit		%
Minerale	793	Kalifel	Kalifeldspat		%
Minerale	502	KZNTIO	Kalium-Zink-Titanoxid		%
Minerale	794	Kalomel	Kalomel		%
Minerale	795	Kämmere	Kämmererit		%
Minerale	510	Kaolini	Kaolinit		%
Minerale	797	Kasolit	Kasolit		%
Minerale	798	Kassite	Kassiterit		%
Minerale	799	Kermesi	Kermesit		%
Minerale	800	Kleycrp	Kleycrphan		%
Minerale	801	Kleyoph	Kleyophan		%
Minerale	802	Klinoch	Klinochlor		%
Minerale	803	Klinoen	Klinoenstatit		%
Minerale	804	Klinokl	Klinoklas		%
Minerale	805	Klinopy	Klinopyroxen		%
Minerale	806	Klinozo	Klinozoisit		%
Minerale	807	Korneru	Kornerupin		%
Minerale	808	Korund	Korund		%
Minerale	809	Kotschu	Kotschubeit		%
Minerale	810	Krenner	Krennerit		%
Minerale	811	Kröhnki	Kröhnkit		%
Minerale	812	Krokoit	Krokoit		%
Minerale	813	Kryolit	Kryolith		%
Minerale	814	Kryptom	Kryptomelan		%
Minerale	815	Kunzit	Kunzit		%
Minerale	816	Kupferg	Kupferglanz		%
Minerale	817	Kupferk	Kupferkies		%
Minerale	818	Kutnaho	Kutnahorit		%
Minerale	819	Kutnoho	Kutnohorit		%
Minerale	820	Kylindr	Kylindrit		%
Minerale	821	Labrado1	Labradorit		%
Minerale	822	Labrado2	Labradorit (Spektrolith)		%
Minerale	824	Langbei	Langbeinit		%
Minerale	823	Langit	Langit		%
Minerale	825	Ianthin	Ianthinit		%
Minerale	826	Lasurit	Lasurit		%
Minerale	827	Lavendu	Lavendulan		%
Minerale	828	Lazulit	Lazulith		%
Minerale	829	Leadhil	Leadhillit		%
Minerale	830	Legrand	Legrandit		%
Minerale	831	Lepidok	Lepidokrokit		%
Minerale	832	Lepidol	Lepidolith		%
Minerale	833	Leuchte	Leuchtenbergit		%
Minerale	834	Leukosa	Leukosaphir		%
Minerale	835	Leuzit	Leuzit		%
Minerale	836	Libethe	Libethenit		%
Minerale	837	Limonit	Limonit		%
Minerale	838	Linarit	Linarit		%
Minerale	839	Linneit	Linneit		%
Minerale	840	Lirokon	Lirokonit		%
Minerale	841	Living	Livingstonit		%
Minerale	842	Lölling	Löllingit		%

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
Minerale	843	Luzonit	Luzonit		%
Minerale	515	Maghemi	Maghemit		%
Minerale	845	Magnesi1	Magnesiochromit		%
Minerale	846	Magnesi2	Magnesioferrit		%
Minerale	847	Magnesi3	Magnesit		%
Minerale	848	Magneti	Magnetit		%
Minerale	849	Magnetk	Magnetkies		%
Minerale	850	Malachi	Malachit		%
Minerale	851	Mangani	Manganit		%
Minerale	852	Mangano	Manganolangbeinit		%
Minerale	853	Markasi	Markasit		%
Minerale	854	Marmati	Marmatit		%
Minerale	504	MASS	Massicot		%
Minerale	855	Melanit	Melanit		%
Minerale	857	Meta-To	Meta-Torbernit		%
Minerale	856	Metacin	Metacinnabarit		%
Minerale	858	Miargyr	Miargyrit		%
Minerale	859	Mikrokl	Mikroclin		%
Minerale	860	Mikroli	Mikrolith		%
Minerale	861	Milarit	Milarit		%
Minerale	862	Milchop	Milchopal		%
Minerale	863	Milleri	Millerit		%
Minerale	864	Mimetas	Mimetasit		%
Minerale	865	Minium	Minium		%
Minerale	866	Minreco	Minrecordit		%
Minerale	867	Mirabil	Mirabilit		%
Minerale	868	Mixit	Mixit		%
Minerale	869	Molybdä	Molybdänit		%
Minerale	870	Monazit	Monazit		%
Minerale	871	Monohyd	Monohydrocalcit		%
Minerale	872	Montmor	Montmorillonit		%
Minerale	873	Moosopa	Moosopal		%
Minerale	874	Morenos	Morenosit		%
Minerale	875	Morgani	Morganit		%
Minerale	876	Morion	Morion		%
Minerale	877	Mottram	Mottramit		%
Minerale	878	Mullit	Mullit		%
Minerale	553	Musk./I	Musk./Illit		%
Minerale	879	Muskovi	Muskovit		%
Minerale	880	Nadelei	Nadeleisenerz		%
Minerale	881	Nagyagi	Nagyagit		%
Minerale	882	Nakrit	Nakrit		%
Minerale	883	Natrit	Natrit		%
Minerale	884	Natroli	Natrolith		%
Minerale	885	Natron	Natron		%
Minerale	886	Nepheli	Nephelin		%
Minerale	887	Nephrit	Nephrit		%
Minerale	888	Nickelc	Nickelchlorit		%
Minerale	889	Nickeli	Nickelin		%
Minerale	890	Nickelm	Nickelmagnetkies		%
Minerale	891	Niobit	Niobit		%
Minerale	892	Norseth	Norsethit		%
Minerale	893	Oligokl	Oligoklas		%
Minerale	894	Oliveni	Olivenit		%
Minerale	895	Olivin	Olivin		%
Minerale	896	Orthokl	Orthoklas		%
Minerale	897	Orthopy	Orthopyroxen		%
Minerale	898	Otavit	Otavit		%

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
Minerale	899	Papagoi	Papagoit		%
Minerale	900	Pararam	Pararammelsbergit		%
Minerale	901	Pearcei	Pearceit		%
Minerale	902	Pechble	Pechblende		%
Minerale	903	Pektoli	Pektolith		%
Minerale	904	Pennin	Pennin		%
Minerale	905	Pentlan	Pentlandit		%
Minerale	906	Perikla	Periklas		%
Minerale	907	Perowsk	Perowskit		%
Minerale	908	Perthit	Perthit		%
Minerale	909	Petalit	Petalit		%
Minerale	910	Petzit	Petzit		%
Minerale	911	Phenaki	Phenakit		%
Minerale	912	Phlogop	Phlogopit		%
Minerale	913	Phosgen	Phosgenit		%
Minerale	914	Phospho	Phosphophyllit		%
Minerale	915	Picotit	Picotit		%
Minerale	916	Piemont	Piemontit		%
Minerale	917	Pigeoni	Pigeonit		%
Minerale	918	Plagiok	Plagioklas		%
Minerale	919	Plagion	Plagionit		%
Minerale	920	Planche	Plancheit		%
Minerale	921	Plattne	Plattnerit		%
Minerale	922	Pleonas	Pleonast		%
Minerale	923	Polluci	Pollucit		%
Minerale	924	Polybas	Polybasit		%
Minerale	925	Polylha	Polylhaiit		%
Minerale	926	Posnjak	Posnjakit		%
Minerale	927	Powelli	Powellit		%
Minerale	928	Prasem	Prasem		%
Minerale	929	Prasopa	Prasopal		%
Minerale	930	Prehnit	Prehnit		%
Minerale	931	Prochlo	Prochlorit		%
Minerale	932	Prousti	Proustit		%
Minerale	933	Pseudom	Pseudomalachit		%
Minerale	934	Psilome	Psilomelan		%
Minerale	935	Purpuri	Purpurit		%
Minerale	936	Pyrargy	Pyrargyrit		%
Minerale	937	Pyrit	Pyrit		%
Minerale	938	Pyrochl	Pyrochlor		%
Minerale	939	Pyrolus	Pyrolusit		%
Minerale	940	Pyroman	Pyromangit		%
Minerale	941	Pyromor	Pyromorphil		%
Minerale	942	Pyrop	Pyrop		%
Minerale	943	Pyropha	Pyrophanit		%
Minerale	944	Pyrophy	Pyrophyllit		%
Minerale	945	Pyrosti	Pyrostilpnit		%
Minerale	946	Pyroxen	Pyroxen		%
Minerale	947	Pyrrhot	Pyrrhotin		%
Minerale	505	Quarz	Quarz		%
Minerale	552	Quellto	Quellfähige Tonminerale		%
Minerale	949	Rammels	Rammelsbergit		%
Minerale	950	Ramsayi	Ramsayit		%
Minerale	951	Ramsdel	Ramsdellit		%
Minerale	952	Realgar	Realgar		%
Minerale	953	Renieri	Renierit		%
Minerale	954	Rhodoch	Rhodochrosit		%
Minerale	955	Rhodoni	Rhodonit		%

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
Minerale	956	Riebeck	Riebeckit		%
Minerale	957	Romeit	Romeit		%
Minerale	958	Rosasit	Rosasit		%
Minerale	959	Rotkupf	Rotkupfererz		%
Minerale	960	Rotnick	Rotnickelkies		%
Minerale	961	Rubelli	Rubellit		%
Minerale	962	Rubin	Rubin		%
Minerale	963	Rubingl	Rubinglimmer		%
Minerale	964	Rutherf	Rutherfordin		%
Minerale	965	Rutil	Rutil		%
Minerale	966	Safflor	Safflorit		%
Minerale	967	Salit	Salit		%
Minerale	968	Sanidin	Sanidin		%
Minerale	969	Saponit	Saponit		%
Minerale	970	Sapphir	Sapphirin		%
Minerale	971	Sarder	Sarder		%
Minerale	972	Scheeli	Scheelit		%
Minerale	973	Schörl	Schörl		%
Minerale	974	Schwazi	Schwazit		%
Minerale	975	Schwes	Schwespat		%
Minerale	976	Semseyi	Semseyit		%
Minerale	977	Senarmo	Senarmonit		%
Minerale	978	Sepioli	Sepiolit		%
Minerale	979	Serpent	Serpentin		%
Minerale	980	Shortit	Shortit		%
Minerale	981	Sickler	Sicklerit		%
Minerale	508	Siderit	Siderit		%
Minerale	983	Siderog	Siderogel		%
Minerale	984	Siegeni	Siegenit		%
Minerale	985	Sillima	Sillimanit		%
Minerale	986	Skapoli	Skapolith		%
Minerale	987	Skoryl	Skoryl		%
Minerale	988	Skutter	Skutterudit		%
Minerale	989	Smaragd	Smaragdit		%
Minerale	990	Smithso	Smithsonit		%
Minerale	991	Sodalit	Sodalith		%
Minerale	992	Spangno	Spangnolith		%
Minerale	993	Specula	Specularit		%
Minerale	994	Sperryl	Sperryolith		%
Minerale	995	Spessar	Spessartin		%
Minerale	996	Sphaero	Sphaerocobaltit		%
Minerale	997	Sphaler	Sphalerit		%
Minerale	998	Spinell	Spinell		%
Minerale	999	Spodume	Spodumen		%
Minerale	1000	Stannin	Stannin		%
Minerale	1001	Staurol	Staurolith		%
Minerale	1002	Stephan	Stephanit		%
Minerale	1003	Stibico	Stibiconit		%
Minerale	1004	Stibnit	Stibnit		%
Minerale	1005	Stichti	Stichtit		%
Minerale	1006	Stinksp	Stinkspat		%
Minerale	1007	Stishow	Stishowit		%
Minerale	1008	Stolzit	Stolzit		%
Minerale	1009	Strahls	Strahlstein		%
Minerale	1010	Strasch	Straschmirit		%
Minerale	1011	Stromey	Stromeyerit		%
Minerale	1012	Stronti	Strontianit		%
Minerale	1013	Sylvani	Sylvanit		%

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
Minerale	512	Sylvin	Sylvin		%
Minerale	1015	Talk (S	Talk (Steatit)		%
Minerale	1016	Tansani	Tansanit		%
Minerale	1017	Tantali	Tantalit		%
Minerale	1018	Tapioli	Tapiolit		%
Minerale	1019	Tennant	Tennantit		%
Minerale	1020	Tenorit	Tenorit		%
Minerale	1021	Tephroi	Tephroit		%
Minerale	1022	Tetrydy	Tetrydymit		%
Minerale	1023	Tetraed	Tetraedrit		%
Minerale	1024	Thaumas	Thaumasit		%
Minerale	501	Thenard	Thenardit		%
Minerale	1026	Thermon	Thermonatrit		%
Minerale	1027	Thorian	Thorianit		%
Minerale	1028	Thorit	Thorit		%
Minerale	1029	Thortve	Thortveitit		%
Minerale	1030	Thuring	Thuringit		%
Minerale	1031	Tiemann	Tiemannit		%
Minerale	1032	Tirolit	Tirolit		%
Minerale	1033	Titanit	Titanit		%
Minerale	1034	Todorok	Todorokit		%
Minerale	550	Tonmine	Tonminerale		%
Minerale	1035	Torbern	Torbernit		%
Minerale	1036	Tremoli	Tremolith		%
Minerale	1037	Triphyl	Triphylin		%
Minerale	1038	Trona	Trona		%
Minerale	1039	Tugtupi	Tugtupit		%
Minerale	1040	Tujamun	Tujamunit		%
Minerale	1041	Tulit	Tulit		%
Minerale	1042	Turmali	Turmalin		%
Minerale	1043	Ulexit	Ulexit		%
Minerale	1044	Ullmann	Ullmannit		%
Minerale	1045	Ulvit	Ulvit		%
Minerale	1046	Umangit	Umangit		%
Minerale	1047	Uranini	Uraninit		%
Minerale	1048	Uranoph	Uranophan		%
Minerale	1049	Uranpec	Uranpecherz		%
Minerale	1050	Uwarowi	Uwarowit		%
Minerale	1051	Valenti	Valentinit		%
Minerale	1052	Vanadin	Vanadinit		%
Minerale	1053	Varisci	Variscit		%
Minerale	1054	Vaterit	Vaterit		%
Minerale	1055	Verdeli	Verdelith		%
Minerale	1057	Vernadi	Vernadit		%
Minerale	1056	Vesigni	Vesignieit		%
Minerale	1058	Vesuvia	Vesuvian		%
Minerale	1059	Villiau	Villiaumit		%
Minerale	1060	Viviani	Vivianit		%
Minerale	1061	Whiteri	Whiterit		%
Minerale	1062	Widenma	Widenmannit		%
Minerale	1063	Willemi	Willemit		%
Minerale	1064	Witheri	Witherit		%
Minerale	1065	Wittich	Wittichenit		%
Minerale	1066	Wolfram	Wolframit		%
Minerale	1067	Wulfeni	Wulfenit		%
Minerale	1068	Wurtzit	Wurtzit		%
Minerale	1069	Xanthok	Xanthokon		%
Minerale	1070	Xenotim	Xenotim		%

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
Minerale	1071	Zabuyel	Zabuyelit		%
Minerale	1072	Zaratit	Zaratit		%
Minerale	1073	Zeuneri	Zeunerit		%
Minerale	1074	Zincken	Zinckenit		%
Minerale	1075	Zinkble	Zinkblende		%
Minerale	1076	Zinkit	Zinkit		%
Minerale	1077	Zinnobe	Zinnober		%
Minerale	1078	Zinnste	Zinnstein		%
Minerale	1079	Zinnwal	Zinnwaldit		%
Minerale	1080	Zoisit	Zoisit		%
OXID	189	AL2O3	Aluminiumoxid		%
OXID	188	BAO	Bariumoxid		%
OXID	191	PBO	Blei-(II)-oxid		%
OXID	186	CAO	Calciumoxid		%
OXID	1088	CAOFREI	Calciumoxid frei		%
OXID	196	CR2O3	Chrom-(III)-oxid		%
OXID	459	CRO3	Chrom-(VI)-oxid		%
OXID	198	FE2O3	Eisen-(III)-oxid		%
OXID	185	K2O	Kaliumoxid		%
OXID	187	MGO	Magnesiumoxid		%
OXID	200	MNO	Mangan-(II)-oxid		%
OXID	197	MNO2	Mangan-(IV)-oxid		%
OXID	184	NA2O	Natriumoxid		%
OXID	192	P2O5	Phosphorpentaoxid		%
OXID	193	SO3	Schwefeltrioxid		%
OXID	190	SIO2	Siliciumdioxid		%
OXID	194	TIO2	Titandioxid		%
OXID	195	V2O5	Vanadiumpentaoxid		%
OXID	199	ZNO	Zinkoxid		%
PAK	132	PAKE13	Acenaphten [PAK-EPA]	µg/l	mg/kg
PAK	131	PAKE12	Acenaphtylen [PAK-EPA]	µg/l	mg/kg
PAK	121	PAKE09	Anthracen [PAK-EPA]	µg/l	mg/kg
PAK	134	PAKE15	Benzo-[a]-anthracen [PAK-EPA]	µg/l	mg/kg
PAK	101	PAKE04	Benzo-[a]-pyren [PAK-EPA und -TVO]	µg/l	mg/kg
PAK	124	PAKE02	Benzo-[b]-fluoranthen [PAK-EPA und -TVO]	µg/l	mg/kg
PAK	127	PAKE05	Benzo-[ghi]-perylen [PAK-EPA und -TVO]	µg/l	mg/kg
PAK	125	PAKE03	Benzo-[k]-fluoranthen [PAK-EPA und -TVO]	µg/l	mg/kg
PAK	130	PAKE11	Chrysen [PAK-EPA]	µg/l	mg/kg
PAK	135	PAKE16	Dibenz-[ah]-anthracen [PAK-EPA]	µg/l	mg/kg
PAK	123	PAKE01	Fluoranthen [PAK-EPA und -TVO]	µg/l	mg/kg
PAK	128	PAKE08	Fluoren [PAK-EPA]	µg/l	mg/kg
PAK	126	PAKE06	Indeno-[1,2,3-cd]-pyren [PAK-EPA und -TVO]	µg/l	mg/kg
PAK	100	PAKE07	Naphtalin [PAK-EPA]	µg/l	mg/kg
PAK	45	PAK-G	PAK (gesamt)	µg/l	mg/kg
PAK	44	PAKE	PAK-EPA (gesamt)	µg/l	mg/kg
PAK	349	BaP-TE	PAK-Toxizitätsäquivalent (BoFiG)	µg/l	mg/kg
PAK	43	PAKT	PAK-TVO (gesamt)	µg/l	mg/kg
PAK	176	PAK01	Perylen	µg/l	mg/kg
PAK	133	PAKE14	Phenanthren [PAK-EPA]	µg/l	mg/kg
PAK	129	PAKE10	Pyren [PAK-EPA]	µg/l	mg/kg
PCB	448	PCB194	2,2',3,3',4,4',5,5'-Octachlorbiphenyl	mg/l	mg/kg
PCB	111	PCB180	2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl	mg/l	mg/kg
PCB	109	PCB138	2,2',3,4,4',5'-Hexachlorbiphenyl	mg/l	mg/kg
PCB	110	PCB153	2,2',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl	mg/l	mg/kg
PCB	108	PCB101	2,2',4,5,5'-Pentachlorbiphenyl	mg/l	mg/kg

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
PCB	107	PCB052	2,2',5,5'-Tetrachlorbiphenyl	mg/l	mg/kg
PCB	106	PCB028	2,4,4'-Trichlorbiphenyl	mg/l	mg/kg
PCB	46	PCB-G	Polychlorierte Biphenyle (Summe aus 6 Kongeneren)	mg/l	mg/kg
PCB	449	PCBLA	Summe 6 PCB nach LAGA	mg/l	mg/kg
PST	406	PSTC16	2,4'-DDD	µg/l	µg/kg
PST	408	PSTC18	2,4'-DDE	µg/l	µg/kg
PST	410	PSTC20	2,4'-DDT	µg/l	µg/kg
PST	407	PSTC17	4,4'-DDD	µg/l	µg/kg
PST	409	PSTC19	4,4'-DDE	µg/l	µg/kg
PST	411	PSTC21	4,4'-DDT	µg/l	µg/kg
PST	156	PSTC03	Aldrin [Pestizide org. chloriert]	mg/l	mg/kg
PST	404	PSTOC6	alpha-Endosulfan	µg/l	µg/kg
PST	445	PST23	alpha-HCH (Hexachlorcyclohexan)	mg/l	mg/kg
PST	49	PSTC10	Atrazin [Pestizide org. chloriert]	mg/l	mg/kg
PST	165	PSTOC2	Azinphos-ethyl(-methyl) [Pestizide ohne Chlor]	mg/l	mg/kg
PST	405	PSTOC7	beta-Endosulfan	µg/l	µg/kg
PST	446	PST24	beta-HCH (Hexachlorcyclohexan)	mg/l	mg/kg
PST	158	PSTC05	Chlordan [Pestizide org. chloriert]	mg/l	mg/kg
PST	160	PSTC07	DDD [Pestizide org. chloriert]	mg/l	mg/kg
PST	161	PSTC08	DDE [Pestizide org. chloriert]	mg/l	mg/kg
PST	462	PSTC23	DDT [Pestizide org. chloriert]	µg/l	mg/kg
PST	447	PST25	delta-HCH (Hexachlorcyclohexan)	mg/l	mg/kg
PST	400	PSTC12	Dichlorbenil	µg/l	µg/kg
PST	157	PSTC04	Dieldrin [Pestizide org. chloriert]	mg/l	mg/kg
PST	166	PSTOC3	Disulfoton [Pestizide ohne Chlor]	mg/l	mg/kg
PST	159	PSTC06	Endosulfan [Pestizide org. chloriert]	mg/l	mg/kg
PST	155	PSTC02	Endrin [Pestizide org. chloriert]	mg/l	mg/kg
PST	463	PST26	HCH-Gemisch [Pestizide org. chloriert]	µg/l	mg/kg
PST	402	PSTC14	Heptachlor	µg/l	µg/kg
PST	403	PSTC15	Heptachlorepoxyd	µg/l	µg/kg
PST	154	PSTC01	Hexachlorcyclohexan [Pestizide org. chloriert]	mg/l	mg/kg
PST	182	PSTC11	Lindan (gamma-HCH) [Pestizide org. chloriert]	mg/l	mg/kg
PST	412	PSTC22	Methoxychlor	µg/l	µg/kg
PST	167	PSTOC4	Parathio (und -methyl) [Pestizide ohne Chlor]	mg/l	mg/kg
PST	401	PSTC13	Pentachlornitrobenzol	µg/l	µg/kg
PST	48	PST-G	Pestizide (gesamt)	mg/l	mg/kg
PST	163	PSTOC	Pestizide ohne Chlor (gesamt)	mg/l	mg/kg
PST	153	PSTC	Pestizide org. chloriert (gesamt)	mg/l	mg/kg
PST	168	PSTOC5	Triazophos [Pestizide ohne Chlor]	mg/l	mg/kg
PST	164	PSTOC1	Trifluralin [Pestizide ohne Chlor]	mg/l	mg/kg
Phenole	436	PHE6	1-Hydroxybiphenyl	µg/l	µg/kg
Phenole	432	PHE2	1-Naphthol	µg/l	µg/kg
Phenole	423	CPHE6	2,3,4,5-Tetrachlorphenol	µg/l	µg/kg
Phenole	420	CPHE3	2,3,5-Trichlorphenol	µg/l	µg/kg
Phenole	435	PHE5	2,3,6-Trichlorphenol	µg/l	µg/kg
Phenole	418	CPHE1	2,3-Dichlorphenol	µg/l	µg/kg
Phenole	421	CPHE4	2,4,5-Trichlorphenol	µg/l	µg/kg
Phenole	422	CPHE5	2,4,6-Trichlorphenol	µg/l	µg/kg
Phenole	427	PHE1	2,4-Dimethylphenol	µg/l	µg/kg
Phenole	419	CPHE2	2,4/2,5/2,6-Dichlorphenol	µg/l	µg/kg
Phenole	434	PHE4	2-Benzylphenol	µg/l	µg/kg
Phenole	430	CPHE9	2-Chlor-5-Methylphenol	µg/l	µg/kg
Phenole	428	CPHE7	2-Chlor-6-Methylphenol	µg/l	µg/kg

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
Phenole	433	PHE3	2-Naphthol	µg/l	µg/kg
Phenole	429	CPHE8	4-Chlor-2-Methylphenol	µg/l	µg/kg
Phenole	431	CPHE10	4-Chlor-3-Methylphenol	µg/l	µg/kg
Phenole	425	M-KRE	m-Kresol	µg/l	µg/kg
Phenole	424	O-KRE	o-Kresol	µg/l	µg/kg
Phenole	426	P-KRE	p-Kresol	µg/l	µg/kg
Phenole	57	PHEN	Phenolindex, dest.	mg/l	mg/kg
Phenole	450	PHENG	Phenolindex, ges.	mg/l	mg/kg
PHYS. KG	438	NSP1	1N/cm2-Belastung-Prüfstempel		mm
PHYS. KG	439	NSP2	2N/cm2-Belastung-Prüfstempel		mm
PHYS. KG	440	NSP3	3N/cm2-Belastung-Prüfstempel		mm
PHYS. KG	441	NSP4	4N/cm2-Belastung-Prüfstempel		mm
PHYS. KG	442	NSP5	5N/cm2-Belastung-Prüfstempel		mm
PHYS. KG	278	ABV	Absetzvolumen	ml/l	
PHYS. KG	87	AV	Axiale Verformung		%
PHYS. KG	277	BW	Brennwert	kJ/kg	kJ/kg
PHYS. KG	443	NSBF	Bruchfestigkeit		kN/m2
PHYS. KG	82	DD	Dampfdruck (30°C)	bar	bar
PHYS. KG	273	RO	Dichte	g/cm3	g/cm3
PHYS. KG	84	KWERT	Durchlässigkeitsbeiwert Kf		m/s
PHYS. KG	88	EAD	Einaxiale Druckfestigkeit		KN/m2
PHYS. KG	78	FP	Flammpunkt	°C	°C
PHYS. KG	85	FG	Fließgradient		
PHYS. KG	86	FLS	Flügelscherfestigkeit		KN/m2
PHYS. KG	79	HW	Heizwert	kJ/kg	kJ/kg
PHYS. KG	498	KGR	Korngröße		mm
PHYS. KG	67	LFK	Leitfähigkeit (20°C)	µS/cm	
PHYS. KG	289	OLG	Ölgehalt	%	%
PHYS. KG	66	PH	pH-Wert (20°C)		
PHYS. KG	497	POR	Porosität		%
PHYS. KG	61	EH	Redoxpotential	mV	mV
PHYS. KG	451	RH	rH-Wert 0 - 42 (Abk.NormalPot.- pHWert)		
PHYS. KG	288	SLG	Schlammgehalt		%
PHYS. KG	80	SP	Schmelzpunkt		°C
PHYS. KG	496	SDICHTE	Schüttdichte		g/cm3
PHYS. KG	81	SIP	Siedepunkt	°C	°C
PHYS. KG	95	TEMP	Temperatur	°C	°C
PHYS. KG	290	TS	Trockensubstanz		%
PHYS. KG	77	WG	Wassergehalt	%	%
PHYS. KG	83	ZST	Zersetzungstemperatur		°C
SALZ	71	ADR	Abdampfdruckstand (Filtrattrockenrückstand H1-2)	mg/l	
SALZ	70	WLS4	Wasserlöslichkeit nach S4	g/l	%
SM	5	PB	Blei	mg/l	mg/kg
SM	7	CD	Cadmium	mg/l	mg/kg
SM	10	CR-G	Chrom (gesamt)	mg/l	mg/kg
SM	113	CR-3	Chrom-(III)	mg/l	mg/kg
SM	9	CR-6	Chrom-(VI)	mg/l	mg/kg
SM	11	FE	Eisen	mg/l	mg/kg
SM	526	GA	Gallium	mg/l	mg/kg
SM	13	CO	Kobalt	mg/l	mg/kg
SM	14	CU	Kupfer	mg/l	mg/kg
SM	16	MN	Mangan	mg/l	mg/kg
SM	17	MO	Molybdän	mg/l	mg/kg
SM	15	NI	Nickel	mg/l	mg/kg
SM	18	HG	Quecksilber	mg/l	mg/kg
SM	1086	SMKII-III	Sum SM Klasse II+III (As,Co,Sb,Pb,Cr,Cu,Mn,Ni,V,Sn)	mg/l	mg/kg

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
SM	1083	SMTALU2	Sum SM TA Luft-3.1.4 Kl.2 (As, Co, Ni)	mg/l	mg/kg
SM	1084	SMTALU3	Sum SM TA Luft-3.1.4 Kl.3 (Sb,Pb,Cr,Cu,Mn,V,Sn)	mg/l	mg/kg
SM	1082	SMTALU1	Sum SM TA Luft-3.1.4, Kl.1 (Cd, Hg, Tl)	mg/l	mg/kg
SM	1085	SM2	Summe Cd+Tl	mg/l	mg/kg
SM	1087	SM4	Summe SM (Cr+Pb+Cu+Ni)	mg/l	mg/kg
SM	21	TL	Thallium	mg/l	mg/kg
SM	22	V	Vanadium	mg/l	mg/kg
SM	457	Bi	Wismut	mg/l	mg/kg
SM	523	W	Wolfram	mg/l	mg/kg
SM	1103	Y	Yttrium	mg/l	mg/kg
SM	23	ZN	Zink	mg/l	mg/kg
SM	24	SN	Zinn	mg/l	mg/kg
SM	524	ZR	Zirkon	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	313	1,2DNB	1,2-Dinitrobenzol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	316	1,3,5TNB	1,3,5-Trinitrobenzol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	335	1,3,5TNN	1,3,5-Trinitronaphthalin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	336	1,3,8TNN	1,3,8-Trinitronaphthalin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	314	1,3DNB	1,3-Dinitrobenzol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	348	1,3DNN	1,3-Dinitronaphthalin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	337	1,4,5TNN	1,4,5-Trinitronaphthalin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	315	1,4DNB	1,4-Dinitrobenzol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	323	1,5DNN	1,5-Dinitronaphthalin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	324	1,8DNN	1,8-Dinitronaphthalin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	368	2,2DNBP	2,2-Dinitrophenyl	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	311	2,3,4TNT	2,3,4-Trinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	366	2,3DAT	2,3-Diaminotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	304	2,3DNT	2,3-Dinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	310	2,4,5TNT	2,4,5-Trinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	363	2,4,6TAT	2,4,6-Triaminotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	331	2,4,6TNP	2,4,6-Trinitrophenol (Pikrinsäure)	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	309	2,4,6TNT	2,4,6-Trinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	364	2,4DAT	2,4-Diaminotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	329	2,4DNP	2,4-Dinitrodiphenylamin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	354	2,4DNK	2,4-Dinitrokresol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	372	2,4DNPH	2,4-Dinitrophenol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	305	2,4DNT	2,4-Dinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	373	2,5DNPH	2,5-Dinitrophenol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	303	2,5DNT	2,5-Dinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	361	2,6DA4NT	2,6-Diamino-4-Nitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	365	2,6DAT	2,6-Diaminotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	330	2,6DNP	2,6-Dinitrodiphenylamin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	355	2,6DNK	2,6-Dinitrokresol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	374	2,6DNPH	2,6-Dinitrophenol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	306	2,6DNT	2,6-Dinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	385	2A4,6DNP	2-Amino-4,6-dinitrophenol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	317	2A4,6DNT	2-Amino-4,6-Dinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	333	2A4NT	2-Amino-4-Nitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	334	2A6NT	2-Amino-6-Nitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	320	2M3NA	2-Methyl-3-Nitroanilin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	321	2M5NA	2-Methyl-5-Nitroanilin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	332	2N4AP	2-Nitro-4-Aminophenol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	356	2NMK	2-Nitro-m-kresol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	357	2NpK	2-Nitro-p-kresol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	346	2NDPA	2-Nitrodiphenylamin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	369	2NP	2-Nitrophenol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	300	2NT	2-Nitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	375	3,4DNPH	3,4-Dinitrophenol	mg/l	mg/kg

Kurzname Gruppe	ParaNr	Kürzel	Parameter	Einheit Volumen	Einheit Masse
SP-TYPVERB	307	3,4DNT	3,4-Dinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	308	3,5DNT	3,5-Dinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	367	3NBP	3-Nitrobiphenyl	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	370	3NP	3-Nitrophenol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	301	3NT	3-Nitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	318	4A2,6DNT	4-Amino-2,6-Dinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	319	4M3NA	4-Methyl-3-Nitroanilin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	358	4NMK	4-Nitro-m-kresol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	347	4NDPA	4-Nitrodiphenylamin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	371	4NP	4-Nitrophenol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	302	4NT	4-Nitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	360	6A2,4DNT	6-Amino-2,4-Dinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	362	6A2NT	6-Amino-2-Nitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	359	6A4NT	6-Amino-4-Nitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	326	2,4CDNB	Chlor-2,4-Dinitrobenzol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	325	CDNB	Chlordinitrobenzole	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	327	CTNB	Chlortrinitrobenzol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	343	DEGN	Diethylenglykoldinitrat (Dinitrodiglykol)	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	322	DNN	Dinitronaphthaline	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	345	DPA	Diphenylamin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	342	EGDN	Ethylenglykoldinitrat (Dinitroglykol)	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	328	HNDP	Hexanitrodiphenylamin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	338	RDX	Hexogen	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	312	NB	Nitrobenzol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	376	NP-G	Nitrophenole, gesamt	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	340	HMX	Octogen	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	339	PETN	Pentaerythritetranitrat (Nitropenta)	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	465	PHEN-G	Phenole gesamt	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	383	DNT	Summe Dinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	382	MNT	Summe Mononitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	350	NAr-G	Summe Nitroaromaten	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	384	TNT	Summe Trinitrotoluol	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	341	Tetryl	Tetranitrodiphenylamin	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	353	TNT-Kanz	TNT-TE-kanz. Wirk. bei langfr. Exp. (BoFiG)	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	351	TNT-akut	TNT-TE-kurzfristige Exposition (BoFiG)	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	352	TNT-chron	TNT-TE-langfristige Exposition (BoFiG)	mg/l	mg/kg
SP-TYPVERB	344	TNG	Trinitroglycerin	mg/l	mg/kg
Stickstoffe	60	NH3	Ammoniak	mg/l	mg/kg
Stickstoffe	105	N-KJ	Kjeldahlstickstoff n. TVO	mg/l	mg/kg
Tenside	115	ANT	Anionische Tenside	mg/l	mg/kg
Zuschlag	1094	Z-KALK	Feststoffanteil Gebrannter Kalk	%	%
Zuschlag	1095	Z-GIPS	Feststoffanteil Gips/Anhydrit	%	%
Zuschlag	1102	Z-CEMIII	Feststoffanteil Hochofenzement (CEMIII)	%	%
Zuschlag	1093	Z-CEMII	Feststoffanteil Portlandkomposit-Zement (CEM II)	%	%
Zuschlag	1092	Z-CEMI	Feststoffanteil Portlandzement (CEM I)	%	%
Zuschlag	1096	Z-REA	Feststoffanteil REA-Gips	%	%
Zuschlag	1099	Z-SFA	Feststoffanteil Schmelzfeuerungsflugasche	%	%
Zuschlag	1100	Z-SONST	Feststoffanteil sonstige Zuschlagsstoffe	%	%
Zuschlag	1098	Z-TFA	Feststoffanteil Trockenfeuerungsflugasche	%	%
Zuschlag	1101	Z-UNBEK	Feststoffanteil unbekannte Zuschlagsstoffe	%	%
Zuschlag	1097	Z-WSA	Feststoffanteil Wirbelschichtasche	%	%
Zuschlag	1091	Z-CEM	Feststoffanteil Zement (unspezifiziert)	%	%

A.4 Probenselektion und Datenauswertung mit Hilfe des Expertenmodus

Die AMANDA-Optionen für die Datenauswertung umfassen zahlreiche Einzelschritte und Varianten, die in den Kapiteln zur Programmstruktur (vgl. Kap. 5.1.1 und 5.1.2) nur allgemein beschrieben werden. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass bei der Anwendung oftmals Probleme bei der Umsetzung auftreten. Anhand einer konkreten Aufgabenstellung wird daher an dieser Stelle die Handhabung des Moduls »GRS-Mobilitätsdatenauswertung« beschrieben und erläutert.

A.4.1 Aufgabenstellung

Die Datenselektion soll einen Vergleich der Laugungsintensität der verschiedenen Elutionsverfahren ermöglichen. Eine solche Abfrage liegt dem Auswertungsbeispiel in Kap. 5.2.6 (Elementspezifische Mobilisierbarkeit) und 5.2.7 (Vergleich der Elutionsverfahren) zugrunde. Die Umsetzung der Datenauswahl kann somit innerhalb dieses Berichtes nachverfolgt werden.

A.4.2 Aufruf des Auswertemenüs

Im Hauptmenu der AMANDA-Startseite wird das Feld »Auswertemenü« angeklickt. In dem dann geöffneten Fenster (»Auswahlmnü - statistische Auswertungen« wird anschließend unter »2 Daten-Auswertungen« ⇨ »2.1 Variable Auswertungen« ⇨ »2.1.3 GRS-Mobilitätsdatenauswertung« angeklickt. Im Anschluss öffnet sich die Bildschirmmaske »GRS-Datenauswertung« (vgl. Kap. 5.1.2, Bild 5.3).

A.4.3 Auswahl der Parameter

In dieser Bildschirmmaske werden zunächst die Analysen-Parameter ausgewählt, die in der weiteren Auswertung betrachtet werden sollen. Für die vorliegende Aufgabenstellung bietet es sich unter Berücksichtigung des Datenbestandes an, Schadstoffe zu wählen, die für eine Untertageverbringung relevant sind und in den überwiegend mineralischen Abfällen ausreichend häufig untersucht worden sind.

Im Klapplistenfeld unterhalb des Parameterkatalogs wird daher die Parametergruppe Schwermetalle (Listeneintrag SM) selektiert. Im Parameterkatalog klickt man dann auf

das jeweils gewünschte Element und anschließend auf den Übertragungspfeil rechts. Die ausgewählten Parameter werden so der Reihe nach in die rechte Liste »Parameterauswahl« übertragen. Neben den Parametern der Gruppe SM (PB, CD, CR-G, CO, CU, MO, NI, V, ZN) finden sich für die Fragestellung relevante Elemente noch in der »AS-Gruppe« (AS, SE).

Für jeden Parameter kann über die fünf Optionsschaltflächen bei »Spaltenauswahl je Parameter (Y-Werte)« individuell festgelegt werden, welche zugehörigen Zahlenwerte, die entweder in der Datenbank direkt abgelegt sind oder aus diesen Werten berechnet werden, exportiert werden sollen. Vorgabemäßig sind alle fünf Optionen aktiviert. Um die Datentabelle nicht von vornherein zu überfrachten, empfiehlt es sich, nicht gewünschte Werte/Spalten zu deaktivieren. Natürlich ist auch eine nachträgliche Löschung der Wertespalte in MS Excel möglich. Da für den Verfahrensvergleich der allenfalls geringe Gehalt im Elutionsmittel nicht von Interesse ist und nicht berücksichtigt werden soll, wird jeweils die Schaltfläche links neben »Gehalt im Elutionsmittel« deaktiviert.

Um zur Analysenauswahl zu gelangen, klickt man auf die Schaltfläche »Analysen auswählen« unten links im Fenster.

A.4.4 Analysenauswahl

Im dann geöffneten Fenster »Analysenauswahl - Expertenmodus« (vgl. Kap. 5.1.1, Abb. 5.1) sind im Bereich »Gesamtauswahl« logische Bedingungen in den Feldern Oberpakete, Pakete und Auswahlbedingungen festzulegen. Die drei Felder sind von links nach rechts hierarchisch angeordnet. Der logische Operator, der bei Oberpakete gewählt wird, gilt für die Verknüpfung der Pakete im rechts daneben stehenden Feld. Im Feld Pakete muss jeweils neben einem logischen Operator auch der Name einer Datenbanktabelle ausgewählt werden, in der die Parameter abgelegt sind, deren Spezifikationen im rechten Feld Auswahlbedingungen eingegeben werden. Es ist möglich, mehrere Oberpakete mit spezifischen Paketen und Auswahlbedingungen zu definieren. Oberpakete sind untereinander immer logisch UND-verknüpft.

Da der Inhalt dieses Fensters auch nach Schließen der Datenbank erhalten bleibt, sind nicht benötigte Pakete gegebenenfalls zunächst zu löschen, indem Teilfenster und

Paket angeklickt und dann über die Schaltfläche mit dem Kreuz unten links gelöscht werden. Mit einem Oberpaket oder Paket werden die untergeordneten Eingaben ebenfalls gelöscht.

Für die gewünschte Auswertung werden nun Eluatanalysen der zu vergleichenden Verfahren benötigt. Aufgrund der ähnlichen Laugungscharakteristik sollen in jedem Fall einstufige Batch-, mehrstufige Batch- und Säulenversuche verglichen werden. Die den Säulenversuchen grundsätzlich ähnlichen Lysimeterversuche werden nicht berücksichtigt, da zur Zeit noch zu wenig Versuche mit vergleichbaren Materialien vorliegen. Auch Trogversuche liefern momentan aufgrund der fast immer durch Zuschlagstoffe veränderten Feststoffzusammensetzung keine vergleichbaren Daten. Hingegen sind viele einstufige Batchversuche auch als BatchPV eingegeben, so dass dieser Versuchstyp ebenfalls berücksichtigt wird.

Aus Vergleichsgründen sollen zudem Eluate aus Kaskadenversuchen berücksichtigt werden, obgleich hier durch die sehr kleinen Flüssig/Fest-Verhältnisse ganz andere Rahmenbedingungen für die Auslaugung vorliegen.

Aus diesen Vorgaben ergibt sich die folgende Struktur für die Suchabfrage:

Oberpakete	Pakete	Auswahlbedingungen	
IN	AND KennEAna	Abfallkennzeichnung = 275	Versuchsstufe
	OR KennEAna	Abfallkennzeichnung = 271	BatchMS
		Abfallkennzeichnung = 272	Kaskade
		Abfallkennzeichnung = 273	Säule
		Abfallkennzeichnung = 285	BatchPV
		Abfallkennzeichnung = 286	BatchES

Dieses Schema wird übertragen, indem man zunächst das Feld Oberpakete, dann den Befehl »IN« im Pulldown-Menü darunter und schließlich die Schaltfläche »Eintrag hinzufügen« unten ganz links anklickt. Entsprechend werden dann die beiden Pakete angelegt. Bei Eingabebefehlern sind Änderungen mit der dritten Schaltfläche unten links möglich.

Die oben stehenden Auswahlbedingungen werden eingefügt, indem für das jeweilig aktivierte Paket- oder Auswahlbedingungsfeld im Bereich »Katalogauswahl« nach Auswahl des Kriteriums »Abfallkennzeichnung (Op)« der gewünschte Listeneintrag (GRS-Probenbeschreibung bzw. GRS-Versuchsarten) mit Doppelklick in das Auswahl-

bedingungsfeld übertragen wird. Es besteht die Möglichkeit diese Kataloggruppen über die Auswahlfunktion »Katalog« / »GRS« / Schaltfeld »Trichter« zu selektieren. Der Wechsel eines Pakets erfolgt wieder im Bereich »Gesamtauswahl«. Im Anhang A.4.6 sind Beispiele für verschiedene andere Suchabfragen dokumentiert, die durch geeignete Kombination einen Großteil der in der Praxis üblichen Aufgabenstellungen bei der Datenauswahl abdecken.

Zur Ausführung der Datenbankabfrage mit den so definierten Kriterien wird das Schaltfeld »Ausrufungszeichen« unten rechts angeklickt. Der Bereich »Ergebnis« wird dann automatisch geöffnet (vgl. Kap. 5.1.1, Abb. 5.2). Bei Fehlern bei der Analysenauswahl (z.B. unlogische Verknüpfungen) ist das Ergebnisfeld leer. Aus dem Teilfenster »Aktuelle Analysenauswahl« können nun mit den Pfeil-Schaltfeldern entweder einzelne oder sämtliche Analysen in die Selektionsliste rechts übertragen werden. Befinden sich dort noch Einträge können diese zuvor einzeln (Schaltfeld »Pfeil nach links«) bzw. vollständig (»Doppelpfeil nach links«) entfernt werden. Diese Liste der Einzelanalysennummern (EAnaNr) umfasst die Analysenauswahl für den anschließenden Datenexport.

A.4.5 Datenexport

Für die Erstellung der MS Excel-Tabelle mit den gewünschten Analysen wird nun das Fenster »Analysenauswahl - Expertenmodus« geschlossen (Schaltfläche »Tür« unten rechts). Man befindet sich nun wieder in dem Fenster »GRS-Datenauswertung«. Hier besteht nun eine Möglichkeit zur Spaltenauswahl in der zu erstellenden Tabelle (dies kann aber auch schon zusammen mit der Parameterauswahl erfolgen (vgl. Kap. A.4.3).

Mit den neun Schaltfeldern im unteren Fensterteil kann eine Auswahl von Angaben zu den Versuchsbedingungen der jeweiligen Eluatanalysen vorgenommen werden. Wie bereits bei den Parametern kann zwar auch hierbei in MS Excel eine Reduzierung der Spalten vorgenommen werden, jedoch vermeidet diese Funktion unnötige Datenübertragungen. Zusätzlich zu diesen ausgewählten Werten werden automatisch die probenspezifischen Kenndaten (EAnaNr, AS-LAGA, AS-EAK, Bericht, VArt, VStuf) mit in die Datentabelle übertragen (vgl. Kap. 5.1.2, Abb. 5.4).

Die Übertragung der gewünschten Daten für die selektierten Analysen mit den (falls gewählt) Berechnungen der mobilisierten Mengen und Anteile erfolgt, indem die Schaltfläche mit dem Excel-Symbol unten rechts angeklickt wird. Je nach Analysenumfang kann dies eine längere Rechenzeit erfordern. Der Datenexport wird abgeschlossen, indem man eine Zieldatei (Verzeichnis und Namen) auswählt und dann die Schaltfläche »öffnen« betätigt. Nach Beendigung dieses Vorganges lässt sich die Tabelle in MS Excel öffnen und weiter bearbeiten.

A.4.6 Kriterien zur Auswahl bestimmter Probandatensätze in AMANDA

Die nachfolgenden Tabellen geben einen Überblick über die notwendigen Eingaben zur Selektion von bestimmten Datensätzen mit Hilfe des Expertenmodus in AMANDA. Die Spalten geben dabei den Inhalt der Bildschirmmaske in Abb. 5.1 wieder. Die meisten Aufgaben lassen sich durch eine geeignete Verknüpfung bzw. Anpassung der hier aufgeführten Beispiele realisieren.

- Auswahl von Proben mit einem bestimmten Schwellenwert / Bereich für einen Parameter

Oberpakete	Pakete	Auswahlbedingungen
AND	AND Werteliste	Parameter = 5 Wert > 100 Blei
Selektiert alle Proben aus der Datenbank, bei denen der Blei-Wert > 100 (mg/l bzw. mg/kg) ist. Gilt für Eluat-Analysen und Feststoffanalysen		
AND Werteliste	AND Werteliste	AND Werteliste
Selektiert alle Proben aus der Datenbank, bei denen der Blei-Wert zwischen 10 und 100 liegt (mg/L bzw. mg/kg).		

- Auswahl von Proben mit Schwellenwerten für mehrere Parameter

Oberpakete	Pakete	Auswahlbedingungen
IN	AND Werteliste	Parameter = 5 Wert > 100 Blei
	AND Werteliste	Parameter = 7 Wert > 100 Cadmium
die Bedingung AND bei Oberpakete liefert eine leere Ergebnismenge		

- Auswahl von bestimmten Probenarten mit einem bestimmten Schwellenwert / Bereich für einen Parameter

Oberpakete	Pakete		Auswahlbedingungen	
AND	AND	Werteliste	Parameter = 5	Blei
			Wert > 100	
	AND	KennEAna	Abfallkennzeichnung (Op) = 281	Einsatzkompon.
Selektiert alle Einsatzstoffe mit einem bestimmten Gehalt an einem Bestandteil (Beispiel Blei)				
AND	AND	Werteliste	Parameter = 5	Blei
			Wert > 100	
	AND	KennEAna	Abfallkennzeichnung (Op) = 275	Versuchsstufe
Selektiert alle Eluatproben mit einem bestimmten Gehalt an einem Bestandteil (Beispiel Blei)				
AND	AND	Werteliste	Parameter = 535	LSK
			Wert > 10	
	AND	KennEAna	Abfallkennzeichnung (Op) = 275	Versuchsstufe
Selektiert alle Eluatproben mit einem kumulierten Flüssig/Fest-Verhältnis größer 10				

- Auswahl von Eluatproben einer bestimmten Versuchsart

Oberpakete	Pakete		Auswahlbedingungen	
AND	IN	KennEAna	Abfallkennzeichnung = 275	Versuchsstufe
			Abfallkennzeichnung = 286	BatchES
Selektiert alle Eluatproben der Versuchsart einstufiger Batch-Versuch				

- Auswahl von Proben mehrerer Versuchsarten

Oberpakete	Pakete		Auswahlbedingungen	
IN	AND	KennEAna	Abfallkennzeichnung = 275	Versuchsstufe
	OR	KennEAna	Abfallkennzeichnung = 284	Trog
			Abfallkennzeichnung = 285	BatchPV
			Abfallkennzeichnung = 286	BatchES
Selektiert alle Eluatproben der gewählten Versuchsarten				
OR	AND	KennEAna	Abfallkennzeichnung = 286	BatchES
			Abfallkennzeichnung = 271	BatchMS
Selektiert alle Proben (auch Randbedingungen Versuchsbedingungen usw.), die zu der Versuchsart gehören				
AND	OR	KennEAna	Abfallkennzeichnung = 271	BatchMS
			Abfallkennzeichnung = 272	Kaskade
			Abfallkennzeichnung = 273	Säule
Selektiert alle Proben (auch Randbedingungen Versuchsbedingungen usw.), die zu der Versuchsart gehören				

- Auswahl von Eluatproben einer bestimmten Versuchsart mit Schwellenwert(en) für einen Parameter

Oberpakete	Pakete		Auswahlbedingungen	
AND	AND	Werteliste	Parameter = 5 Wert > 100	Blei
	IN	KennEAna	Abfallkennzeichnung = 275 Abfallkennzeichnung = 286	Versuchsstufe BatchES
Angabe nur eines Parameters möglich ! Eingabe von IN bei Oberpakete und eines zweiten Parameters (zusätzliches Paket Werteliste) liefert leere Ergebnisliste.				

- Auswahl von Eluatproben einer bestimmten Versuchsart mit Schwellenwerten für mehrere Parameter

Oberpakete	Pakete		Auswahlbedingungen	
AND	IN	KennEAna	Abfallkennzeichnung = 275 Abfallkennzeichnung = 272	Versuchsstufe Kaskade
IN	AND	Werteliste	Parameter = 5 Wert > 1000	Blei
	AND	Werteliste	Parameter = 7 Wert > 100	Cadmium
Selektiert alle Eluatproben von Kaskadenversuchen, bei denen sowohl die Blei- als auch die Cadmiumkonzentrationen oberhalb der jeweiligen angegebenen Werte liegen.				

- Auswahl von Eluatproben bestimmter Versuchsarten mit Abfällen eines vorgegebenen LAGA-Schlüsselnummernkreises

Oberpakete	Pakete		Auswahlbedingungen	
IN	AND	KennEAna	Abfallkennzeichnung = 275	Versuchsstufe
	OR	KennEAna	Abfallkennzeichnung = 284	Trog
			Abfallkennzeichnung = 285 Abfallkennzeichnung = 286	BatchPV BatchES
AND	AND	Analysen	LAGA-AS > 31300 LAGA-AS < 31400	
Selektiert alle Eluatproben der drei gewählten Versuchsarten				

**Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH**

Schwertnergasse 1
50667 Köln
Telefon +49 221 2068-0
Telefax +49 221 2068-888

Forschungsinstitute
85748 Garching b. München
Telefon +49 89 32004-0
Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200
10719 Berlin
Telefon +49 30 88589-0
Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4
38122 Braunschweig
Telefon +49 531 8012-0
Telefax +49 531 8012-200

www.grs.de