Auslaugung anorganischer Schadstoffe aus Abfall- und Altlastmaterialien

Vergleich von Lysimeterversuchen mit Ergebnissen gängiger Prognoseverfahren

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Ralf Bode

aus Osterode am Harz

Göttingen, April 2005

D7

Referentin/Referent:	Prof. Dr. B. Cyffka
Korreferentin/Korreferent:	Dr. K.-W. Becker
Tag der mündlichen Prüfung:	26.04.2005

Das dieser Arbeit zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WP0205 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort **1**

1. Einleitung **2**

1.1. Problemstellung **2**

1.2 Ziele **7**

2. Material und Methoden **8**

2.1 Bau der Lysimeteranlage **8**

2.2 Eingesetzte Materialien **10**
2.2.1 Bankettschälgut 10
2.2.2 Referenzmaterial Bauschutt 11
2.2.3 Referenzmaterial Hausmüllverbrennungsasche 11
2.2.4. Kehrgut der Stadt Göttingen 12
2.2.5 Referenzmaterial Boden 13
2.2.6 Pochsand 13
2.2.7 Auelehm 13
2.2.8 Gießereirestsand 14
2.2.9 Bleihüttengranulat 15
2.2.10 Filtersand 15
2.2.11 Bodenmaterial zur Überdeckung 15

2.3 Befüllung der Lysimeter **16**
2.3.1 Filtersand 16
2.3.2 Prüfmaterialien 16
2.3.3 Abdeckmaterialien 17

2.4 Materialcharakterisierung Feststoff **18**
2.4.1 Korngrößenanalyse 18
2.4.2 Gehalt an organischer Substanz 18
2.4.3 Vollaufschluss 18
2.4.4 Röntgenfluoreszenzanalyse 20

2.5 Behandlung und Analytik der Lysimeter-Sickerwässer **20**
2.5.1 Beprobung 20
2.5.2 Filtration 21
2.5.3 pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit 21
2.5.4 DOC-Gehalt 21
2.5.5 Sulfat 21
2.5.6 Chlorid 22
2.5.7 Spurenelemente 22

2.6 Ermittlung der Quellstärke nach DIN **22**
2.6.1 Eluierbarkeit mit Wasser (DIN 38414-4, S4) 22
2.6.2 Ammoniumnitratextrakt (DIN 19730) 22
2.6.3 Bodensättigungsextrakt (DIN V 19735, Anhang A.2) 22
2.6.4 Königswasseraufschluss (DIN 38414-7, S7) 23

2.7 Ermittlung der Quellstärke mit alternativen Verfahren **23**
2.7.1 Eluierbarkeit mit Wasser mit Fest-Flüssig-Verhältnis von 1:2 23
2.7.2 EUF-Verfahren 24

2.8 Niederschlagsmessung **24**

3. Ergebnisse **25**

3.1 Grunduntersuchung der eingesetzten Materialien **25**
3.1.1 Korngrößenanalyse und Gehalt an organischer Substanz 25
3.1.2 Vollaufschluss 26
3.1.3 Röntgenfluoreszenzanalyse 28

3.2 Zeitgang von Niederschlag und Sickerwasser **29**

3.3 Analytik der Lysimeter-Sickerwässer **32**
3.3.1 Zeitgang des pH-Wertes 32
3.3.2 Zeitgang der elektrischen Leitfähigkeit 33
3.3.3 Zeitgang des DOC-Gehaltes 33
3.3.4. Zeitgang des Sulfatgehaltes 34
3.3.5. Zeitgang des Chloridgehaltes 35
3.3.6 Zeitgang der Makronährstoffkonzentration 36
3.3.7 Kationen-Anionen-Bilanzen 38
3.3.8 Zeitgang der Spurenelementkonzentration 40
3.3.9 Frachten 47
3.3.10 Löslichkeiten 51
3.3.11 Einfluss der Art der Abdeckung auf das Lösungsverhalten 52
3.3.12 Auswirkung von DOC-Gehalt, pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit auf die Elementkonzentrationen im Sickerwasser 55
3.3.13 Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Lösungsverhaltens einzelner Elemente bei verschiedenen Materialien 56
3.3.14 Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Lösungsverhaltens einzelner Materialien bei verschiedenen Elementen 57
3.3.15 Pufferkapazität 57
3.3.16 Vergleich der Gehalte im Sickerwasser der Lysimeter mit Gehalten natürlicher Grundwässer 60

3.4 Ermittlung der Quellstärke nach DIN **62**
3.4.1 Eluierbarkeit mit Wasser (DIN 38414-4) 62
3.4.2 Ammoniumnitratextrakt (DIN 19730) 63
3.4.3 Bodensättigungsextrakt (DIN V 19735, Anhang A.2) 63
3.4.4 Königswasser (DIN 38414-7) 64
3.4.5 Vergleich der DIN-Verfahren untereinander 65
3.4.6 Anwendung des Bodensättigungsextraktes im Vergleich zur Berechnung der Konzentrationen nach DIN V 19735 66
3.4.7 Vergleich der Gesamtgehalte nach Vollaufschluss mit den eluierbaren Anteilen der DIN-Verfahren 67
3.4.8 Vergleich der DIN-Verfahren mit Sickerwasser in der Gleichgewichtsphase 69

3.5 Quellstärkeermittlung mit alternativen Verfahren **71**
3.5.1 Elution mit Wasser mit Fest-Flüssig-Verhältnis von 1:2 71
3.5.2 EUF-Verfahren 73

4. Diskussion **75**

4.1 Witterung **75**

4.2 Lysimeterproblematik **75**

4.3 Analytik **77**

4.4 Bewertung und Diskussion der Quellstärkebestimmung im Labor 78

4.5 Mögliche Wechselwirkungen zwischen Sicker- und Grundwasser 81

4.6 Bewertung der Materialien 84

4.6.1 Bankettschälgut 84
4.6.2 Bauschutt 89
4.6.3 Hausmüllverbrennungsasche 93
4.6.4 Kehrgut 99
4.6.5 Referenzmaterial Boden 99
4.6.6 Altlasten des Harzer Bergbaus 99
4.6.7 Gießereirestsand 105
4.6.8 Bleihüttengranulat 106

5. Schlussbetrachtung 107

6. Fazit 109

7. Zusammenfassung 111

8. Literatur 114

9. Anhang 122

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 : Recycling von Baureststoffen 2000. 4

Abb. 2: Detailansicht eines Lysimeterausflusses 8

Abb. 3: Lysimeteranlage auf dem Gelände des Institutes für Bodenwissenschaften..... 9

Abb. 4: Innenansicht der Bunkeranlage mit Auffangkanistern für die Lysimetersickerwässer. 9

Abb. 5: Bankettschälarbeiten an der L598 bei Rheine 11

Abb. 6: Kehrgut der Stadt Göttingen auf der Umladestation am Lappenberg 12

Abb. 7: Pochsandhalde „Silbernaal“ 14

Abb. 8: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse im Verhältnis zu den Ergebnissen des Vollaufschlusses 29

Abb. 9: Zeitgang von Niederschlag und Sickerwasser am Beispiel der Varianten der Quarzsandlysimeter 30

Abb. 10: Verfestigter und teilweise korngrößensortierter Bauschutt bei Entnahme aus dem Lysimeter 31

Abb. 11: Zeitlicher Verlauf der Summe der Kationen- und Anionenäquivalente ausgewählter Materialien 142

Abb. 12: Zeitlicher Verlauf der Summe der Anionenäquivalente ausgewählter Materialien in Prozent normiert auf die Summe der Kationenäquivalente 145

Abb. 13: Zeitliches Lösungsverhalten von Kupfer und Zink bei Bankettschälgut Landstraße L598 und Autobahn A30 42

Abb. 14: Zeitliches Lösungsverhalten von Chrom bei Bauschutt und Hausmüllverbrennungsasche 43

Abb. 15: Zeitliches Lösungsverhalten von Zink bei Referenzmaterial Boden bei unterschiedlicher Abdeckung 52

Abb. 16: Zeitliches Lösungsverhalten von Kupfer bei Referenzmaterial Bauschutt bei unterschiedlicher Abdeckung 53

Abb. 17: Zeitliches Lösungsverhalten von Kobalt bei Kehrgut bei unterschiedlicher Abdeckung 54

Abb. 18: Zeitliches Lösungsverhalten von Antimon bei Bleihüttengranulat in Abhängigkeit unterschiedlicher Abdeckung 55

Abb. 19a: Faktoren der Elementgehalte im Sickerwasser relativ zu Konzentrationen in natürlichen Grundwässern 61

Abb. 19b: Faktoren der Elementgehalte im Sickerwasser relativ zu Konzentrationen in natürlichen Grundwässern 62

Abb. 20: Vergleich zwischen gemessenen und errechneten Konzentrationen im Bodensättigungsextrakt; Betrachtetes Element: Nickel 66

Abb. 21: Vergleich zwischen gemessenen und errechneten Konzentrationen im Bodensättigungsextrakt; Betrachtetes Element: Kupfer 67

Abb. 22: Vergleich zwischen Feststoffgehalten nach Vollaufschluss und extrahierbaren Feststoffanteilen der DIN-Verfahren; Betrachtetes Element: Kupfer 68

Abb. 23: Vergleich zwischen Feststoffgehalten nach Vollaufschluss und extrahierbaren Feststoffanteilen der DIN-Verfahren; Betrachtetes Element: Molybdän 68

Abb. 24: Vergleich zwischen Schadstoffgehalten im Sickerwasser und Eluatgehalten der DIN-Verfahren; Betrachtetes Element: Molybdän 70

Abb. 25: Vergleich zwischen Schadstoffgehalten im Sickerwasser und Eluatgehalten der DIN-Verfahren; Betrachtetes Element: Kupfer 70

Abb. 26: Vergleich zwischen Schadstoffgehalten im Sickerwasser und Eluatgehalten der Extraktion mit Fest-Flüssig-Verhältnissen von 1:10 und 1:2; Betrachtetes Element: Molybdän 72

Abb. 27: Vergleich zwischen Schadstoffgehalten im Sickerwasser und Eluatgehalten der Extraktion mit Fest-Flüssig-Verhältnissen von 1:10 und 1:2; Betrachtetes Element: Blei..... 72

Abb. 28: Modell des Kaskadenflusses nach MEYER und BECKER (2001) aus GERNANDT (2003) 76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wassergewinnung der öffentlichen Wasserversorgung nach Wasserarten 2

Tabelle 2: Eingesetzte Materialien 17

Tabelle 3: Niederschläge während des Versuchszeitraums von Juli 2002 bis April 2004 123

Tabelle 4: Korngrößen-Analyse der eingesetzten Materialien 124

Tabelle 5: Ergebnisse des Vollaufschlusses (Flusssäure-Perchlorsäureaufschluss und Flusssäure-Schwefelsäureaufschluss), Analytik mit ICP-OES und –MS 125

Tabelle 6: Elementgehalte und Bilanzen der Röntgenfluoreszenzanalyse 126

Tabelle 7: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse im Verhältnis zu den Ergebnissen des Vollaufschlusses (Analytik mit ICP-OES und –MS) 127

Tabelle 8: Ergebnisse des Vollaufschlusses (HF-$HClO_4$ und H_2SO_4-$HClO_4$) und der Röntgenfluoreszenzanalyse 128

Tabelle 9: Mittelwerte des Sickerwassers in mm mit Standardabweichungen in % des Sickerwassers 129

Tabelle 10: pH-Werte im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen 130

Tabelle 11: Elektrische Leitfähigkeiten (µS/cm) im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen 132

Tabelle 12: DOC-Gehalte in mg/l im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen 134

Tabelle 13: SO_4-Gehalte in mg/l im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen 136

Tabelle 14: Chlorid-Gehalte in mg/l im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen 138

Tabelle 15: Quotient aus Kationensumme (µval/l) und elektrischer Leitfähigkeit (µS/cm).. 140

Tabelle 16: Gemittelte Sickerwassergehalte in Prozent vom jeweiligen Prüfwert 148

Tabelle 17: Durchschnittliche Standardabweichung (in Prozent der Sickerwasserkonzentration) aller Termine (1-10) mit Sickerwasser aus allen 3 Parallelen, sortiert nach Elementen 149

Tabelle 18: Mittelwerte der Makroelementfrachten (pro kg eingebauten Materials) einzelner Materialien und Varianten im Vergleich zu den Gesamtgehalten 150

Tabelle 19: Mittelwerte der Spurenelementfrachten (pro kg eingebauten Materials) einzelner Materialien und Varianten im Vergleich zu den Gesamtgehalten 151

Tabelle 20: Korrelationskoeffizienten von DOC-Gehalt, pH-Wert sowie elektrischer Leitfähigkeit zu den Elementkonzentrationen im Sickerwasser 155

Tabelle 21: Vergleich der Sickerwasserkonzentrationen des Prüfmaterials mit denen des Quarzsandes 156

Tabelle 22: Vergleich zwischen Elementgehalten im Sickerwasser (Termine 8-10 gemittelt) und in unbelasteten Grundwässern (aus BIELERT (1999)) 159

Tabelle 23a: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 38414-4 (Eluierbarkeit mit Wasser-S4), Elementkonzentrationen im Eluat 160

Tabelle 23b: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 38414-4 (Eluierbarkeit mit Wasser-S4), eluierbare Feststoffanteile 161

Tabelle 24a: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 19730 (Ammoniumnitratextrakt), Elementkonzentrationen im Eluat 162

Tabelle 24b: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 19730 (Ammoniumnitratextrakt), eluierbare Feststoffanteile 163

Tabelle 25a: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN V 19735 (Bodensättigungsextrakt), Elementkonzentrationen im Extrakt 164

Tabelle 25b: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN V 19735 (Bodensättigungsextrakt), extrahierbare Feststoffanteile 165

Tabelle 26: Ergebnisse des Königswasseraufschlusses 166

Tabelle 27: Vergleich zwischen den DIN-Verfahren: Wässriger Extrakt mit Fest-/Flüssig-Verhältnis 1:2 (S4 1:2) sowie Ammoniumnitatextrakt (ANE) und Bodensättigungsextrakt (BSE) jeweils bezogen auf den wässrigen Extrakt mit Fest-/Flüssig-Verhältnis 1:10 (S4 1:10) 167

Tabelle 28: Vergleich gemessener Extraktkonzentrationen im Bodensättigungsextrakt mit nach DIN-Vornorm V 19735 berechneten Werten 168

Tabelle 29: Vergleich zwischen Sickerwasser (Mittel der letzten 3 Termine) und den Ergebnissen der DIN-Verfahren 169

Tabelle 30a: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 38414-4 (Eluierbarkeit mit Wasser-S4) mit einem Fest-Flüssig-Verhältnis von 1:2, Elementkonzentrationen im Eluat 171

Tabelle 30b: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 38414-4 (Eluierbarkeit mit Wasser-S4) mit einem Fest-Flüssig-Verhältnis von 1:2, eluierbare Feststoffanteile 172

Tabelle 31: Vergleich der Ergebnisse der Analyse der EUF-Extrakte (Mittelwerte) mit den Sickerwasserkonzentrationen der Prüfelemente in der Gleichgewichtsphase 173

Tabelle 32: Vergleich der Ergebnisse der Analyse der EUF-Extrakte von Anode und Kathode 173

Tabelle 33: Ergebnisse der EUF-Analytik: Mittelwert (in µg/l) und prozentale Standardabweichung vom Mittelwert 174

Tabelle 34: Bestimmungsgrenzen (BG) der unterschiedlichen Analyseverfahren sowie Grenz-, Prüf- und Vorsorgewerte 177

Tabelle 35: Ergebnisse der Analytik der Sickerwässer vom 12.8.2002 (Termin 1) 178

Tabelle 36: Ergebnisse der Analytik der Sickerwässer vom 30.9.2002 (Termin 2) 184

Tabelle 37: Ergebnisse der Analytik der Sickerwässer vom 8.1.2003 (Termin 5) 190

Tabelle 38: Ergebnisse der Analytik der Sickerwässer vom 24.2.2003 (Termin 6) 196

Tabelle 39: Ergebnisse der Analytik der Sickerwässer vom 3.6.2003 (Termin 7) 202

Tabelle 40: Ergebnisse der Analytik der Sickerwässer vom 15.12.2003 (Termin 8) 208

Tabelle 41: Ergebnisse der Analytik der Sickerwässer vom 17.2.2004 (Termin 9) 214

Tabelle 42: Ergebnisse der Analytik der Sickerwässer vom 21.4.2004 (Termin 10) 220

Summary

This dissertation thesis deals with the leaching of inorganic pollutants from different waste and refuse materials. The objectives were to quantify the leaching of pollutants by producing seepage water, respectively leachate, under nearly natural conditions using lysimeters. Further aim was a comparison of seepage water with results from well known leaching tests (after German Industrial Standard, DIN) witch are normally used for predicting seepage water concentration.

Selected materials

All in all ten materials, which are quantitatively important, were selected. They appear regularly to a larger extent or have accumulated in the past. The disposal and the utilization of these materials causes problems due to their content of pollutants.

Material shaved from the road verge (Bankettschälgut) of a highway and a motorway as well as debris of road sweeping (Kehrgut) from the city of Göttingen were examined.

The examination included also a residual from crushing ore in a stamp battery (Pochsand) originating from the ancient mining industry of the Harz Mountains, polluted alluvial loam (Auelehm) of the Oker river, foundry molding sand (Gießereirestsand) and slack from a lead smelting plant (Bleihüttengranulat). In addition to that, three reference materials supplied by the Federal Institution for Material Research (Bundesanstalt für Materialforschung, BAM) were part of the research-programm: demolition material (Bauschutt), slack of waste combustion (Hausmüllverbrennungsasche) and a contaminated soil (Referenzmaterial Boden). Washed quartz sand was used as a control.

Experimental setup

The materials were filled in layers of 50 cm thickness into small lysimeters (20 cm in diameter). After that, they were covered with three top-soils of varying pH (sandy forest soil, sandy arable soil and arable loess soil). For each variant three lysimeters with identical content were constructed. The Lysimeters were built from PVC sewer pipes covered with PE-foil inside to exclude contamination of seepage water by the PVC-wall of the lysimeters. The seepage water was led through teflon tubing into an adjacent earth shelter and collected in PE-cans. The lysimeters were exposed to natural precipitation for almost two years. Sampling of the seepage water was conducted ten times at varying time intervals depending on the seepage rate.

During the period of outdoor experiments, the waste materials were also characterised in the laboratory. In addition to an elemental analysis of the solid phase, the standard leaching tests required by the Federal Soil Protection decree (BBodSchV) were used, i.e. extractability by water (Eluierbarkeit mit Wasser, DIN 38414-4), ammoniumnitrate extraction (Ammoniumnitratextrakt, DIN 19730), soil saturation extract (Bodensättigungsextrakt, DIN V 19735), and aquae regiae extract (Königswasseraufschluss, DIN 38414-7). Furthermore, the EUF-method (Elektro-Ultra-Filtration) was tested.

Total contents

The total content of pollutants of the examined materials varies largely. Both types of Bankettschälgut exhibit elevated contents of copper, lead and zinc. Slack of waste combustion is also strongly loaded with these elements. Kehrgut contains chrome, copper, molybdenum and lead in elevated concentration in the solid phase. Analysis of the Pochsand gave - among other elements – a lead concentration of 60 g/kg (!). Additional to lead, in the alluvial loam it is primarily zinc which has to be considered as problematic element. Molding sand contains a large concentration (6,5 g/kg (!)) of chrome. Bleihüttengranulat exhibits the highest content of heavy metals, including arsenic, cadmium, cobalt, chrome, copper, lead, molybdenum, nickel, antimony, tin and zinc. The content of lead and zinc (95 g/kg and 76 g/kg, respectively (!)) is particularly high. Demolition material and the contaminated soil show relatively low contents of pollutants.

Seepage water concentration

The seepage water concentration of the lysimeters with Bankettschälgut clearly exceeds the BBodSchV-limits for zinc. This is more pronounced in the material from the motorway compared to that from the highway. Pollutant leaching from the demolition material is relatively high. The concentration of the elements chrome, copper, nickel and molybdenum exceeds the limits, some of them largely. More or less the same applies to the slack of waste combustion. In addition to chrome, copper, molybdenum and antimony the elements mercury and arsenic are also elevated. Copper concentration sometimes exceeds 2 g/l (!) and was thus particularly high. Kehrgut exceeds only the limits for antimony. Contaminated soil and Pochsand are harmless as far as seepage water concentration is concerned. Increased concentrations of molybdenum and mercury in the leachate of the molding sand are limited to the initial phase. The Bleihüttengranulat showed very high pollutant discharges. Seepage water concentration of antimony is partly over 3,5 g/l (!).

In the initial phase, there are substantial fluctuations in element concentration. Later on, the concentrations get more and more steady, with a tendency to lower levels for most elements.

The influence of the type of cover soil on the dissolution of the pollutants is very small, except for a few cases. Only a small tendency to higher pollutant contents in the case of covering with forest soil is measured. Because the buffering capacity of the tested materials is high at the beginning of the test, however, a more pronounced impact of the cover in the future cannot be excluded.

Determination of the pollutant-release using laboratory leaching tests

Comparison between applied DIN-tests gives no clear result. The extraction with water (DIN 38414-4) yields mostly the smallest concentrations, which are often below the seepage water-concentration. Ammoniumnitrate extraction (DIN 19730) and soil saturation extract (DIN V 19735) result in higher concentrations, which frequently exceed seepage water-contents. The DIN-methods reflect the various materials very differently. A satisfying forecast of pollutant contents in the seepage water of the tested materials is not possible with any of the applied leaching tests. Furthermore, there is no significant relationship among the results of the individual tests.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Anschluss an ein vom BMBF gefördertes Forschungsvorhaben. Das Projekt war in den Förderschwerpunkt „Sickerwasserprognose“ integriert, wurde vom 15.4.02 bis zum 31.7.04 durchgeführt und von Herrn Prof. Dr. H. Heinrichs und Herrn Dr. K.-W. Becker geleitet.

Ich danke daher zunächst dem BMBF für die finanzielle Unterstützung und Herrn Prof. Dr. H. Heinrichs und Herrn Dr. K.-W. Becker für die Leitung des Projektes und die weitere Begleitung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. B. Cyffka und Herrn Dr. K.-W. Becker danke ich darüber hinaus, dass sie sich als Erst- bzw. Zweitgutachter dieser Arbeit zur Verfügung gestellt haben.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. K. H. Pörtge, Herrn Prof. Dr. G. Gerold, Herrn PD Dr. H. Flessa und Herrn Dr. M. Deicke für ihre Mitgliedschaft in der Prüfungskommission.

Bei Frau Dr. A. Heydemann und Herrn Dr. U. Bielert bedanke ich mich für wertvolle Tipps und Anregungen.

Herrn Prof. Dr. D. Steffens sei für die freundliche Zusammenarbeit bei der EUF-Analytik gedankt.

Das Projekt wurde darüber hinaus von einer Vielzahl von Mitarbeitern des Geochemischen Institutes und des Institutes für Bodenwissenschaften unterstützt.

Daher danke ich:
Herrn H. Herborg für die Hilfe beim Bau der Lysimeter sowie Herrn Dipl.-Geogr. T. Körner und Herrn G. Benseler für die Hilfe bei der Errichtung der Lysimeteranlage,

Herrn E. Schiffczyk und Herrn Dr. K. Simon für ihre Unterstützung bei der Analyse der Sicker- und Aufschlusslösungen, Herrn Dr. G. Hartmann für die Durchführung der Röntgenfluoreszenzanalyse,

Frau K. Schmidt, Frau U. Hill und Frau I. Ostermeyer für die Übernahme von Laborarbeiten

und Frau MSc. Agr. N. Tappe für ihre Unterstützung bei der Verarbeitung der großen Datenmengen, insbesondere deren Eingabe in die Datenbank des BMBF.

Nicht zuletzt gilt mein Dank Frau Dipl.-Geogr. A. Guckland, Herrn Dr. P. Gernandt und Herrn Dipl.-Geogr. E. Vogel für die abschließende, kritische Durchsicht des Manuskriptes.

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Schutzgut Trink- und Grundwasser

Wasser ist ein wichtiges Lebensmittel für den Menschen. Im Jahre 2001 wurden in Deutschland laut Umweltbundesamt von der öffentlichen Wasserversorgung ca. 5,4 Mrd. m^3 bereitgestellt (Tab. 1). Mit etwa 80% machen die privaten Haushalte und das Kleingewerbe den größten Teil der Abnehmer aus. Im Schnitt ergibt sich ein Verbrauch von 127 l pro Einwohner und Tag, im Vergleich zu 1990 ein Rückgang um 20 l. Der bedeutendste Teil dieser Wässer entstammt Grund- und Quellwässern. Uferfiltrat und Oberflächenwasser machen zusammen nur rund ein Viertel der Menge aus (UMWELTBUNDESAMT 2004). Aufgrund der hohen Qualitätsansprüche, die an das Trinkwasser gestellt werden, wird diese Aufteilung verständlich. Oberflächenwässer aus Flüssen oder Seen sind häufig durch direkte oder diffuse Einträge mit Schadstoffen belastet. Vor einer Verwendung als Trinkwasser ist eine aufwendige und kostenintensive Aufbereitung nötig. Grund- bzw. Quellwässer sind in der Regel vor Schadstoffeinträgen geschützt. Die Grundwasservorräte werden aus Niederschlägen gespeist. Auf der Passage von der Bodenoberfläche ins Grundwasser werden im Niederschlag gelöste Stoffe durch unterschiedliche Prozesse fixiert oder abgebaut, so dass die Grundwasserbeschaffenheit im Idealfall nur von der geochemischen Beschaffenheit der durchflossenen Böden und Gesteinsschichten sowie des Grundwasserleiters abhängt (u.a. GABRIEL & ZIEGLER 1997). Da die Pufferkapazitäten für Schadstoffe jedoch endlich sind, ist die Güte von Quell- und Grundwässern vielerorts immer mehr durch anthropogene Einflüsse gefährdet (u.a. MATSCHULLAT et al. 1994). Neben den Einwaschungen von gasförmigen Schadstoffen gehen auch von festen Abfällen (zunehmend) Gefahren aus.

Tabelle 1: Wassergewinnung der öffentlichen Wasserversorgung nach Wasserarten (Daten nach UMWELTBUNDESAMT 2004)

Wasserversorgungsunternehmen		1991	1995	1998	2001
Insgesamt	Anzahl	6953	6655	6709	6560
darunter mit Eigengewinnung		k. A.	k. A.	5477	5260
Wassergewinnung					
Insgesamt, davon	Mio. m^3	6516	5810	5557	5409
Grund- und Quellwasser	Mio. m^3	4693	4224	4103	4011
Uferfiltrat	Mio. m^3	393	304	268	280
Oberflächenwasser[1)]	Mio. m^3	1430	1282	1186	1118

[1)] See- bzw.Talsperrenwasser, Flusswasser sowie angereichertes Grundwasser (planmäßig versickertes Oberflächenwasser, echtes Grundwasser und ggf. Uferfiltrat)

Quelle: Statistisches Bundesamt, Fachserie 19 Umwelt, Reihe 2.1: Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung (1991, 1995, 1998, 2001)

Gefahrenpotential Müll

Im Jahr 2002 fielen ca. 381 Mio t Abfall in der Bundesrepublik Deutschland an. Den Hauptteil machten dabei mit 63% „Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Straßenaufbruch)“, schwerpunktmäßig Bodenaushub, aus (UMWELTBUNDESAMT 2004). 12% des Abfallaufkommens war Bergematerial aus Bergbau, 11% Gewerbe- und Produktionsabfall. 14% der Müllmenge entfielen auf die Siedlungsabfälle, hauptsächlich (90%) sog. Haushaltsabfälle. Bei einem insgesamt leicht rückläufigen Abfallaufkommen stieg das Abfallaufkommen aus Haushalten zwischen 1999 und 2002 von 441 kg/Einw. auf 562 kg/E, die Verwertungsquote stieg hierbei von 49 auf 59%. Die nicht einzeln ausgewiesenen „besonders überwachungsbedürftigen Abfälle“ (Sondermüll) machen etwa 5% innerhalb des gesamten Müllvolumens aus.

Entsorgung und Verwertung

Ab dem 1.6.2005 darf kein „Hausmüll oder hausmüllähnlicher Abfall“ unbehandelt abgelagert werden. Er muss dann entweder thermisch oder mechanisch-biologisch vorbehandelt werden. Im Zuge der Umsetzung des KRW-/ABFG (1994) ist angestrebt, die Ablagerung von Siedlungsabfällen bis 2020 gänzlich einzustellen. Erreicht werden soll dies durch eine möglichst vollständige Vermeidung, Vorbehandlung und Verwertung.

Bereits im Jahr 2003 verbrannten 60 Müllverbrennungsanlagen 14 Mio t Abfälle. Im Jahr 2005 wird ein Anstieg der Kapazitäten in dann 75 Anlagen auf 18 Mio t Jahresdurchsatz erwartet. Aufgrund der gesetzlichen Regelungen (TASI 1993) wird der Anteil thermisch vorbehandelter Abfälle eher zunehmen, wie schon die Entwicklung der letzten Jahre zeigt. Damit steigt auch der Anfall an abzulagernden Verbrennungsrückständen weiter an. Die Rückstände betragen rund 40% des verbrannten Abfalls (HEINRICHS et al. 1997). In Bayern fallen jährlich bereits 700.000 t an (SPEISER 2001). Müllverbrennungsasche wird damit auf lange Sicht in großen Mengen anfallen und zur Verwertung oder Deponierung anstehen. Laut UMWELTBUNDESAMT (2004) werden die Rostaschen „in der Regel ... einer Aufarbeitung mit dem Ziel der Verwertung im Straßen- und Wegebau zugeführt ...“.

Auch von den im Jahr 2000 angefallenen rund 89 Mio t Bauabfällen (ohne Bodenaushub) wurden 61 Mio t nach dem Recycling überwiegend im Straßen- und Erdbau eingesetzt (Abb. 1). Auch hier wird zukünftig mit großen Mengen zu rechnen sein, da der Verwertungsgrad zu Lasten der Deponierung weiter gesteigert werden soll.

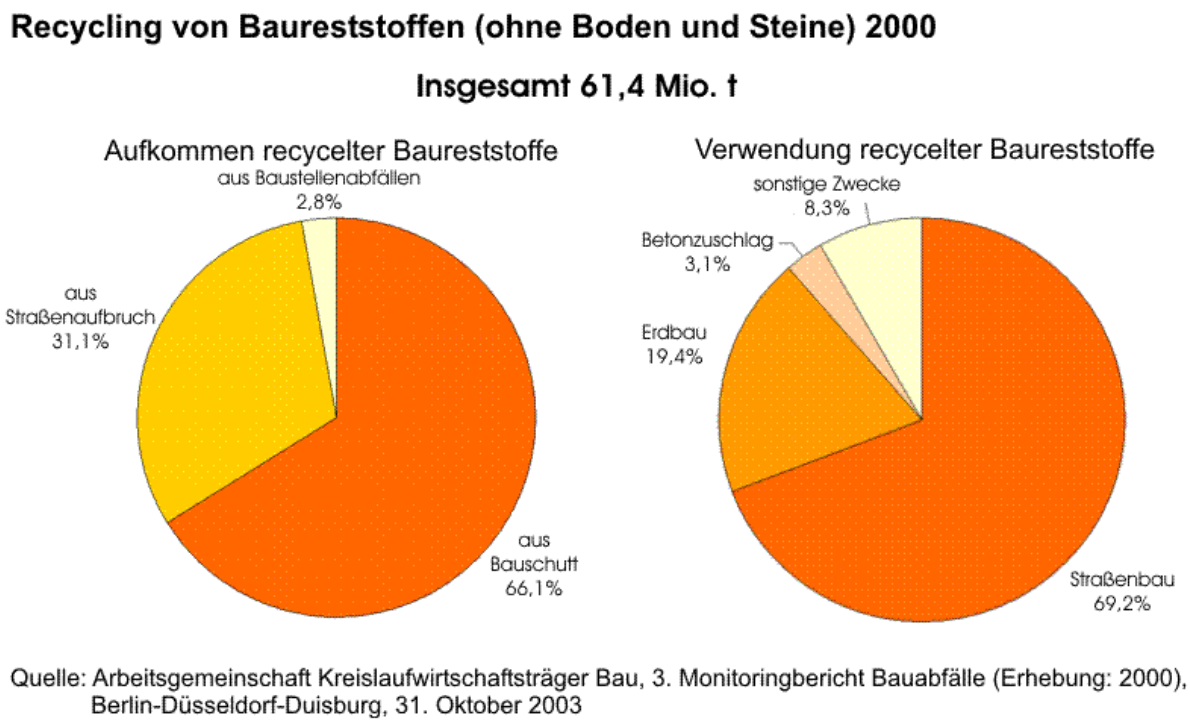


Abb. 1 : Recycling von Baureststoffen 2000. Entwurf: UMWELTBUNDESAMT 2004

Altlasten

Nicht nur aus der Ablagerung und Verwertung regelmäßig produzierter Abfallstoffe droht Gefahr für Boden und Grundwasser. Bereits durch frühere menschliche Aktivität haben sich zahlreiche Belastungen ergeben. Vor allem Schwermetallbelastungen sind teils großflächig auch weitab ihrer Verursachung vorhanden (MATSCHULLAT & KRITZER 1997), resultierend zum Beispiel aus der langjährigen Verwendung bleihaltiger Kraftstoffe (MIELKE 1997). Daher kann in Böden bereits zwischen natürlichen Grundgehalten und anthropogen erhöhten Hintergrundgehalten unterschieden werden (u.a. RUPPERT 1987 u. 1991, RUPPERT & JONECK 1988). Neben ubiquitären Verunreinigungen sind zahlreiche regionale und lokale bzw. punktuelle Belastungen, sog. Altlasten, bekannt. Hierzu zählen laut UMWELTBUNDESAMT (2004) u.a. „stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen“ und „Grundstücke ... auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist ...“. Danach waren Anfang des Jahres 2004 allein in Niedersachsen fast 40.000 altlastverdächtige Flächen (Altablagerungen oder Altstandorte) bekannt. Nur bei gut 2% war bereits die „Gefährdungsabschätzung“ abgeschlossen. Im gesamten Bundesgebiet beläuft sich die Zahl auf fast 220.000 Flächen, von denen etwa 15% bereits untersucht sind. Besonders von Altlasten betroffen sind Gebiete, die mittelalter- und neuzeitlich durch umfangreiche Bergbautätigkeit geprägt waren. Ein Beispiel hierfür ist der Harz, der auf eine über 1000-jährige Bergbaugeschichte zurückblicken kann (LANDKREIS GOSLAR 2004, LIESSMANN 1997). Relikte dieser Tätigkeit sind zahlreiche Verhüttungsstand-

orte sowie Halden mit Schlacken und Pochsanden. Belastet sind ebenfalls Siedlungsgebiete sowie Flusstäler und –auen (u.a. LANDKREIS GOSLAR 2004, EGGERS 1996).

Handlungserfordernisse und ihre Umsetzung

Die Politik ist in der schwierigen Situation, trotz weiter anfallender Abfälle und bereits vorhandener Altlasten dafür sorgen zu müssen, dass die zukünftigen Einträge von Schadstoffen aus Abfallstoffen und Altlasten in Boden und Grundwasser und damit in die Nahrungskette so gering wie möglich bleiben. Die Fülle von Gesetzen und Verordnungen zu diesem Thema (BBODSCHG, BBODSCHV, KRW-/ABFG, TASI etc.) zeugt von der Schwierigkeit der Erfüllung dieser Aufgabe (s. a. FAULHABER 2003). Probleme bei der Umsetzung der bestehenden Regelungen bereitet zudem häufig die Ermittlung des Gefahrenpotentials eines Abfallstoffes oder einer Altlast, insbesondere die zu erwartenden Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser (Sickerwasserprognose, EBERLE & OBERACKER 2001, BANNICK et al. 2001).

Bewertung von Abfällen

Das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBODSCHG) schafft in Verbindung mit der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBODSCHV) bundeseinheitliche Vorgaben über zulässige Austräge von Schadstoffen aus bestehenden und zukünftigen Ablagerungen von schadstoffhaltigen Materialien. Für die wichtigsten Schadstoffe sind in der BBODSCHV Prüfwerte festgeschrieben, die beim Übergang des Sickerwassers aus den abgelagerten Materialien in den Boden nicht überschritten werden dürfen. Für den Übergang von der ungesättigten zur gesättigten Zone (Grundwasser) gelten die sog. „Geringfügigkeitsschwellen“. Eine direkte Probenahme am „Ort der Beurteilung“, also beim Eintritt des Sickerwassers in den unterlagernden Boden bzw. in das Grundwasser, ist jedoch meist nicht möglich. Um die Vorgaben einhalten zu können, benötigen die Genehmigungs- und Überwachungseinrichtungen daher einfach zu handhabende, wissenschaftlich abgesicherte und rechtlich verbindliche Verfahren für die Sickerwasserprognose. Die BBODSCHV gibt bereits mehrere Verfahren vor, deren Anwendung in der Praxis bisher zum Teil Schwierigkeiten bereitet. Eine Übersicht über einzelne Verfahren und ihre Probleme findet sich u.a. bei VAN DER SLOOT (1996). Eine Verbesserung und Überprüfung der Methoden, auch im Hinblick auf die Vielzahl zur Deponierung und Verwertung anstehender Materialien ist deshalb notwendig. Dazu bedarf es jedoch weiterer vergleichender Ergebnisse. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde bereits 1999 vom Bundesforschungsministerium (BMBF) ein Förderschwerpunkt „Sickerwasserprognose“ (SiWaP) initiiert.

Jedes Prognose- oder Schätzverfahren erfordert zur Übertragbarkeit auf natürliche Verhältnisse eine Eichung an realen, in diesem Fall Sickerwasser-Werten. Bei der Beurteilung des Aus-

trags von Schadstoffen aus abgelagerten oder in den Boden eingebauten Materialien in das Grundwasser sind dabei zwei Betrachtungsebenen relevant:

Zum Einen der Übertritt des Sickerwassers mit den bei der Perkolation durch das abgelagerte Material aufgenommenen Schadstoffen in den unterliegenden Boden (Einhaltung der Prüfwerte), zum Anderen die beim Übergang in das Grundwasser noch vorhandenen Schadstoffgehalte im Sickerwasser (Einhaltung der Geringfügigkeitschwellen).

Die Stoffzusammensetzung bei der ersten Betrachtungsebene kann neben der Zusammensetzung des Abfallstoffes auch durch die Inhaltsstoffe des Sickerwassers einer eventuellen Abdeckung, das in das zu prüfende Einbaumaterial eintritt, beeinflusst werden. Entscheidend sind im weiteren Verlauf vorwiegend Lösungs- und Fällungsprozesse während der Passage des Abfallmaterials.

Bis zur zweiten, nach dem BBODSCHG allein rechtlich relevanten Betrachtungsebene kann die Sickerlösung je nach lokaler Ausprägung der ungesättigten Bodenzone erhebliche Veränderungen erfahren. Neben der nicht unbedeutenden Filtrationsleistung der ungesättigten Bodenzone für anorganische Schadstoffe kommt dem Schadstoffgehalt des aus dem Abfallmaterial austretenden Sickerwassers die größte Bedeutung zu. Da langfristig eine Erschöpfung der Filterwirkung und, bei Änderung des Milieus, eventuell auch eine Remobilisierung von Schadstoffen anzunehmen ist, muss für die Bewertung einer Ablagerung das Sickerwasser mit seiner Stoffkonzentration beim Austritt aus dem zu beurteilenden Abfallmaterial betrachtet werden.

Die Beurteilung und Abschätzung möglicher stofflicher Veränderungen des Sickerwassers während seiner weiteren Passage zum Grundwasser können nur an diesem Punkt ansetzen. Daher ist das Sickerwasser des Abfallmaterials auch Eingangsgröße insbesondere für die Überprüfung und Validierung der in der BBODSCHV vorgesehenen Prognoseverfahren. Dies gilt auch für zukünftig zu entwickelnde Verfahren.

1.2 Ziele

Aus insgesamt 10 Abfall- und Altlastmaterialien sollten Sickerwässer gewonnen werden, die bestmöglich denen entsprechen, die bei einer Deponierung oder einer Verwertung der Materialien im Freiland zu erwarten wären. Durch Aufbringen verschiedener Böden als Abdeckung der Prüfmaterialien sollte zugleich der Einfluss unterschiedlicher pH-Werte und Gehalte an organischer Substanz auf die Lösung von Spurenelementen aus den Prüfmaterialien ermittelt werden. Zur Befüllung der Lysimeter wurden Abfall- bzw. Altlastmaterialien ausgewählt, die regelmäßig in größerem Umfang anfallen oder bereits angefallen sind. Die Ergebnisse können somit zur Lösung aktueller Probleme beitragen, da durch die Analyse der Lysimeter-Sickerwässer eine Einordnung des Gefahrenpotentials der einzelnen Materialien möglich ist.

Neben der regelmäßigen, dem Sickerwasseraufkommen entsprechenden Beprobung und Analyse der Sickerwässer sollten auf die zu prüfenden Materialien die in der BBODSCHV vorgesehenen DIN-Verfahren angewendet werden. Über einen Vergleich der Ergebnisse dieser Verfahren mit denen des Sickerwassers ist eine Bewertung der gängigen Prognoseverfahren auf ihre Eignung im Hinblick auf eine realistische Vorhersage der zu erwartenden Sickerwasserkonzentrationen möglich.

Darüber hinaus bietet die Ermittlung der oben genannten Daten die Möglichkeit, die bisherige Praxis im Umgang mit den Materialien zu überprüfen und Verursachern, Verwertern und Entsorgern eventuell Handlungsempfehlungen für das weitere Vorgehen zu geben.

Insgesamt wurden die Sickerwässer auf 29 Elemente analysiert. Neben den Elementen, für die Prüfwerte der BBODSCHV vorliegen, umfassten die Analysen auch Elemente, die bisher bei der Sickerwasserprognose wenig oder keine Beachtung fanden. Sollten sich zukünftig neue Fragestellungen ergeben, kann auf diese Ergebnisse zurückgegriffen werden.

2. Material und Methoden

2.1 Bau der Lysimeteranlage

Die Lysimeter wurden aus 110 cm langen PVC-Kanalrohren (KG-Rohre) mit Endkappe und 20 cm Durchmesser gefertigt. Zur Vermeidung von Kontaminationen wurden die Lysimeter innen mit einem PE-Endlosschlauch mit 0,1 mm Wandstärke ausgekleidet. Aus aufgebohrten PE-Gewindestangen mit 12 mm Durchmesser wurde ein Abfluss konstruiert und so (ca. 8 cm) über dem Boden in die Seitenwand der Lysimeter eingesetzt, dass das Sickerwasser ohne Kontakt mit dem PVC durch die PE-Stange und den außen aufgeschobenen Schlauch abfließen konnte (vgl. Abb. 2). Der Abfluss wurde durch Umwickeln mit einer Filtergaze mit 125 µm Maschenweite mechanisch vor Verstopfen geschützt. Das Sickerwasser wurde über mit leichtem Gefälle verlegte PA-Schläuche in Sammelgefäße in einen benachbarten Bunker geführt. Da das Sickerwasser schon bald erhebliche Kontaminationen durch Weichmacher aus dem Polyamid aufwies, wurden nachträglich Teflonschläuche eingeschoben. Die Lysimeter wurden oberflächengleich mit der Umgebung in den Boden eingebaut (Abb. 3).

Abb. 2: Detailansicht eines Lysimeterausflusses

Die Schläuche endeten am Boden von PE-Sammelgefäßen mit 5 l-Fassungsvermögen (Abb. 4) und tauchten somit ständig in Sickerwasser ein, um jeglichen Sauerstoffzutritt und damit Fällungsreaktionen von Metallverbindungen („Verockern“ der Lysimeter und Zusetzen ihrer Auslaufkonstruktion) zu unterbinden.

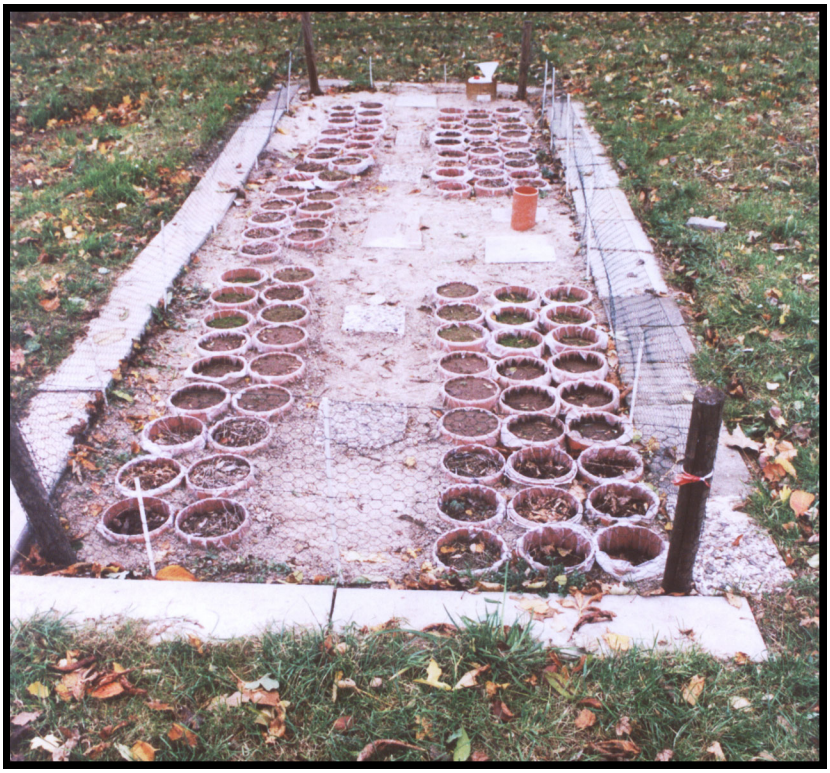


Abb. 3: Lysimeteranlage auf dem Gelände des Institutes für Bodenwissenschaften, 18.10.02

Abb. 4: Innenansicht der Bunkeranlage mit Auffangkanistern für die Lysimetersickerwässer, 16.7.02

2.2 Eingesetzte Materialien

Die Lysimeter wurden mit 10 Prüfmaterialien mit problematischem Umweltverhalten sowie mit Quarzsand als Blindvariante befüllt (s. Kap. 2.3). Die Materialien fallen regelmäßig in größeren Mengen an bzw. sind bereits in größeren Mengen angefallen. Im Folgenden werden die Materialien kurz beschrieben und Angaben zu ihrer Herkunft gemacht. Zu einem Teil der Materialien sind weitere allgemeine Informationen in Kap. 4.6 bei der Bewertung ihres Umweltverhaltens zu finden.

2.2.1 Bankettschälgut

Als Bankett bezeichnet man einen ein bis mehrere Meter breiten Streifen entlang der Straßen. Meist bestehen die Banketten aus Bodenmaterial und sind begrünt. In regelmäßigen Abständen u.a. in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen muss das Bankett abgeschält werden, da es im Laufe der Zeit aufwächst und die Straßenentwässerung behindert. Das Abschälen geschieht mit speziellen Maschinen, meist alle 5-10 Jahre (vgl. Abb. 5), wobei Bankettschälgut anfällt. Die Menge und die Schadstoffbelastung des Materials ist stark von Nutzungsart und –umfang der zugehörigen Straßen abhängig. So können Banketten von wenig frequentierten Landstraßen, auf denen Kohletransporte stattfinden, beispielsweise erheblich stärker belastet sein als vielbefahrene Autobahnabschnitte (mdl. Mitt. Herr PIGORSCH, BaSt, 17.4.2002). Auf Autobahnen sind Ausfahrten aufgrund des erhöhten Brems- und Reifenabriebs stärker belastet.

Für die Versuche wurden daher zwei unterschiedliche Schälgüter ausgewählt und beprobt, die Probenahme erfolgte jeweils am 17.4.2002:

Bei Schälarbeiten an der L598 von Rheine in Richtung Püsselbühren wurde etwa 50 m vor der Bushaltestelle Rehdiek Schälgut beprobt (Abb. 5). Es wurden ca. 180 l des maschinell geschälten Materials mit Schaufeln vom LKW entnommen.

Auf der A30 wurden laufende Schälarbeiten an der Mittelleitplanke zwischen den Abfahrten Bünde (Nr. 27) und Hiddenhausen (Nr. 28) Richtung Ost, Straßenkilometer etwa 113-114, genutzt. Da der abgeschälte Bereich hinter einem Bordstein liegt, besteht kein direkter Zufluss von Oberflächenwasser. Das maschinell geschälte Material wurde auf LKW geladen und auf der Deponie Kirchlenglern der Firma „Bauschutt Recycling Vogt“ abgekippt. Hier wurden 180 l entnommen.

Abb. 5: Bankettschälarbeiten an der L598 bei Rheine, 17.4.02

2.2.2 Referenzmaterial Bauschutt

Das Material wurde von der Bundesanstalt für Materialforschung (BAM) in Berlin bezogen. Es handelt sich um ein Referenzmaterial, das allen Teilnehmern des BMBF-Projektverbundes „Sickerwasserprognose“ zur Verfügung gestellt wurde. Obwohl es sich genaugenommen um einen Recycling-Baustoff handelt, wird der Begriff „Bauschutt“ im Folgenden aufgrund der Einführung durch die BAM weiterverwendet. Laut beigefügten Informationen handelt es sich um ein „Gemisch aus Beton- und Ziegelbruch, asphalthaltigem Straßenaufbruch und Gips“. Neben Schwermetallen sollten auch Sulfat und PAKs als relevante Problemstoffe enthalten sein. Das Material sollte maximale Korndurchmesser von 4 mm besitzen. Es wurde in 10 l-Weißblecheimern, ausgelegt mit PTFE-Glas-Gewebe, angeliefert.

2.2.3 Referenzmaterial Hausmüllverbrennungsasche

Bei der eingesetzten Hausmüllverbrennungsasche handelt es sich ebenfalls um ein von der BAM aufbereitetes Referenzmaterial. Die genaue Herkunft der Asche ist nicht bekannt, es wird aber davon ausgegangen, dass es sich um Rückstände der Verbrennung üblichen Hausmülls handelt. Das Material wurde damit als hinreichend repräsentativ für derartige Abfallstoffe angesehen. Die Asche sollte bei Auslieferung mindestens 3 Monate gelagert sein und ein Körnungsspektrum bis maximal 4 mm aufweisen. Zudem war die Asche vor Auslieferung

getrocknet worden. Als Transportbehälter dienten 10 l-Weißblecheimer mit innenliegenden PE-Beuteln. Als relevante Schadstoffe wurden Schwermetalle angegeben.

2.2.4. Kehrgut der Stadt Göttingen

Das Material stammt aus der regelmäßigen Reinigung von Straßen, Gehwegen und Rinnsteinen im Stadtgebiet. Es enthält neben Feststoffen aus dem fließenden Verkehr wie Reifenabrieb, Schmutzabfall von PKWs etc. auch Einträge von Aerosolen und organisches Material. Pflanzenmaterial wie Laub, Nadeln, Blüten, Zweige von Bäumen sowie Hundekot sind u.a. zu nennen. Zivilisationsmüll wie Getränkedosen, Flaschen, Verpackungen, Papiertaschentücher u.ä. ist ebenfalls vorhanden. Um eine Staubentwicklung zu unterbinden, wird das Material zunächst mit Wasser besprüht und anschließend von der Kehrmaschine aufgenommen.

Abb. 6: Kehrgut der Stadt Göttingen auf der Umladestation am Lappenberg, 25.4.02

Die Probenahme erfolgte am 25.4.2002 auf der Umladestation der Stadtreinigung Göttingen am Lappenberg. Das Fegegut wird dort zur Entwässerung von den Kehrmaschinen abgekippt. Nach gewisser Zeit wird das Material per Radlader umgesetzt und später auf Container verladen und auf die Zentraldeponie des Landkreises nach Deiderode gefahren. Die Probe wurde aus dem bereits mehrfach umgesetzten Material gewonnen und enthält somit eine Mischung aus Kehrgut unterschiedlicher Fegezonen (Abb. 6). Insgesamt ca. 240 l Material wurden entnommen. Grobmaterial wie Plastikflaschen und größere Glasscherben, Getränkedosen und Verpackungen wurde aussortiert.

2.2.5 Referenzmaterial Boden

Auf Wunsch des Projektträgers wurde auch das Referenzmaterial Boden von der BAM bezogen und in das Versuchsprogramm integriert, obwohl nicht mit einer relevanten Belastung mit anorganischen Schadstoffen zu rechnen war. Es handelt sich hier um eine Altlast eines ehemaligen Teerwerkstandortes mit entsprechendem Schadstoffspektrum. Von der BAM wurden PAKs und Phenole angegeben. Das Material sollte sich hauptsächlich aus grobsandigem Mittelsand zusammensetzen. Die Anlieferung erfolgte in 10 l-Weißblecheimern.

2.2.6 Pochsand

Pochsand ist im Harz als Abfallmaterial aus der Erzaufbereitung in großen Mengen vorhanden. Es wurde meist auf Halden in der Nähe der Verhüttungsplätze abgelagert. Da Pochsande hohe Restgehalte an Schwermetallen aufweisen, stellen sie eine Gefahr für die Umwelt dar. Die Schwermetallgehalte können laut Auskunft von Mitarbeitern des Landkreises Goslar (Herr BAUER, Herr Dr. SCHMOTZ) bis zu 20% betragen. Aufgrund der Feinkörnigkeit des Materials besitzt es im Vergleich zu Schlacken oder Abraummaterial eine wesentlich größere Oberfläche und ist daher anfälliger gegenüber Lösungsverwitterung durch Oberflächen- oder Sickerwässer. Eine Sickerwassergewinnung zur Analyse ist vor Ort schwierig. Frühere Saugkerzenversuche des Landkreis Goslar blieben erfolglos (Herr BAUER, LK GS, mündl. Mitt.). Weitere Versuche laufen zur Zeit. Das feine Material neigt im Zusammenhang mit den meist steilen Böschungswinkeln der Halden zu Erosion.

Beprobt wurden 2 Pochsandhalden. Von der “Spitzkegelhalde am Silbernaal” wurden in etwa 4 m Höhe mit der Schaufel ca. 10 l Material zur Feststoffanalytik entnommen.

An der Pochsandhalde “Silbernaal” (Abb. 7) an der Straße von Clausthal-Zellerfeld nach Wildemann wurden zwei 120 l- Fässer mit Material befüllt. Es handelte sich dabei um frisch nachgerutschtes Material, das am Haldenfuß (in ca. 2 m Höhe) aufgenommen werden konnte. Die Probenahme erfolgte jeweils am 2.5.2002.

2.2.7 Auelehm

Die aus dem Harz austretenden Flüsse entwässern Gebiete, die durch die frühere Bergbautätigkeit stark mit Schwermetallen belastet sind. Dies können sowohl großflächige Belastungen (Kontamination der Oberböden durch Einwirkung von Rauchgasen der Verhüttung) als auch kleinräumigere Belastungen, wie z. B. Abraumhalden und Verhüttungsplätze sein. Die Schwermetalle gelangen durch Lösungsfracht des Oberflächen- oder Grundwassers in die Flüsse. Teilweise können jedoch durch Oberflächenerosion oder Anschnitt von Abraumhal-

den Feststoffe direkt in die Vorfluter eingetragen werden (siehe Erosionsrinnen am Haldenfuß der Pochsandhalde „Silbernaal“, Abb. 7). Bei Hochwasser kommt es zu einer großräumigen Überschwemmung im Vorland. Die belastete Suspensionsfracht der Flüsse wird abgesetzt und später in den Boden eingearbeitet. Bei Baumaßnahmen fällt dieses Bodenmaterial an.

Abb. 7: Pochsandhalde „Silbernaal“, 2.5.02

Es stellt sich dann die Frage nach schadloser Verwertung bzw. Beseitigung. Da die Terrassenkörper der Vorharzflüsse auch als natürlicher Filter für Sickerwässer fungieren, ist darüber hinaus fraglich, wie sich die Auflage aus belasteten Feinböden auf die Grundwasserneubildung und die mögliche Gewinnung von Trinkwasser auswirkt.

Die Probenahme erfolgte im sog. Steinfeld zwischen Oker und Wöltingerode ca. 300 m vom heutigen Verlauf der Oker entfernt. Auf einem größeren Areal war der Oberboden bzw. Pflughorizont zwecks zukünftiger Kiesgewinnung abgeschoben worden. Von diesem zusammengeschobenen Material wurden ca. 250 l entnommen. Die Probenahme fand am 2.5.2002 statt.

2.2.8 Gießereirestsand

Beim Gießereirestsand handelt es sich um ein Abfallprodukt aus Eisengießereien. Das flüssige Metall wird hier in Formen aus mit Bindemitteln verfestigtem Sand gegossen. Die Hitze des flüssigen Metalls und des heißen Gussstücks wandelt eventuell vorhandene organische Bindemittel und Kohlenstoffzusätze zu Koks. Bentonit in tongebunden Formsanden verliert

zum großen Teil seine Bindefähigkeit und wird „totgebrannt“, so dass der Sand aller Formteile beim Ausleeren der Formen ein rieselfähiges Sandgemisch darstellt. Das Material wurde über das Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen bezogen. Die genaue Herkunft ist unbekannt.

2.2.9 Bleihüttengranulat

Bleihüttengranulat ist ein Reststoff der Bleiherstellung mit dem QSL-Verfahren. Bei dem kontinuierlich arbeitenden Verfahren, werden in einem liegenden Reaktor die bleihaltigen Materialien eingeschmolzen und Werkblei sowie eine absetzbare Schlacke gewonnen. Die reduzierte Schlacke mit einem niedrigen Bleigehalt läuft an einem Ende des Reaktors über und wird anschließend granuliert. Auch dieses Material wurde über das Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen bezogen. Der Hersteller des Materials ist nicht bekannt.

2.2.10 Filtersand

Als Filtermaterial und als Material für die Blindvarianten wurde hochreiner, gewaschener Quarzsand der Grube Duingen bei Alfeld verwendet. Zur Befüllung der Lysimeter wurde das Material auf 630 µm abgesiebt.

2.2.11 Bodenmaterial zur Überdeckung

Bei der Auswahl der Böden lag besondere Beachtung auf dem pH-Wert als stellvertretender Parameter für unterschiedliche Sickerwasserzusammensetzung. Es sollten zwei verschiedene Ackerböden als Repräsentanten schwach saurer bis neutraler Reaktion sowie ein Waldboden mit höherem Anteil organischer Substanz und saurer Reaktion ausgewählt werden.

Zur Beschaffung des Waldbodens wurde ein Standort am Allerberg bei Reinhausen nahe Göttingen ausgewählt. Hier steht Sandstein des mittleren Buntsandsteins an. Am Standort stockt ein schätzungsweise 50-jähriger Bestand aus Kiefern und Lärchen, randlich auch Buchen. Das Bodenprofil besteht aus ca. 5-10 cm A-Horizont incl. humoser Auflage. An den Ah-Horizont schließt sich ein wenige cm mächtiger Al-Horizont an, der in einen Bv-Horizont übergeht. Um die Bodenstruktur nicht zu zerstören, wurden mit extra angefertigten Stechzylindern Bodenmonolithe ausgestochen und in die Lysimeter eingebaut. Die Materialentnahme erfolgte am 3. und 4.7.2002.

Als zweiter Boden wurde ein Sandboden eines Kartoffelschlages südöstlich von Waake ausgewählt. Ausgangssubstrat ist ebenfalls der mittlere Buntsandstein. Von diesem Standort wurde am 3.7.2002 Material aus den Furchen zwischen den Pflanzreihen per Schaufel ent-

nommen. Da es sich um regelmäßig bearbeiteten Ackerboden handelte, war eine Entnahme als Monolith nicht nötig.

Als Repräsentant neutraler Bodenreaktion wurde Material eines Rübenschlages zwischen Rosdorf und Sieboldshausen entnommen. Hier handelt es ich um Löß, der kaltzeitlichen Schottern der Mittelterrasse der Leine bzw. dem mittleren Keuper aufliegt. Die Entnahme des Bodenmaterials erfolgte am 5.7.2002. Wie bei dem Boden aus Waake wurde auch hier das Material zwischen den Pflanzreihen entnommen.

2.3 Befüllung der Lysimeter

2.3.1 Filtersand

Um ein Einstauen von Sickerwasser unterhalb des Abflusses des Lysimeters zu verhindern, wurde der Deckel des KG-Rohres als erstes mit trockenem, auf 1 mm abgesiebtem Quarzsand gefüllt. Danach wurde die Dichtung eingelegt und das Lysimeterrohr samt Abfluss und PE-Beutel auf den sandgefüllten Deckel aufgesetzt. Die untersten 20 cm des Lysimeters wurden als Filterstrecke mit auf 630 µm gesiebtem Quarzsand aufgefüllt. Um zu verhindern, dass sich in dem Sand Luftkissen bilden und der Abfluss auf bestimmte Bereiche beschränkt bleibt, wurde der Sand nass eingefüllt. Es wurden abwechselnd kleine Mengen Sand und entionisiertes Wasser in das Lysimeter gegeben, damit es nicht aufgrund langer Sinkstrecken beim Einfüllen zu einer Sortierung des Sandes kommt. Das Wasser wurde über ein 500 µm-Sieb aufgegeben. Damit sollten kleinere Tropfen erzielt werden und ein Aufwirbeln des bereits abgesetzten Sandes verhindert werden.

2.3.2 Prüfmaterialien

Alle Prüfmaterialien wurden in einer Mächtigkeit von 50 cm in die Lysimeter eingefüllt. Trockene Prüfmaterialien (Referenzmaterialien Bauschutt, Hausmüllverbrennungsasche, Boden, Gießereirestsand) sowie Material mit geringem Feuchtegehalt (Pochsand) und der Quarzsand der Blindvariante wurden entsprechend dem Filtersand nass eingebaut. Bankettschälgut und Kehrgut sowie Bleihüttengranulat waren bei Probenahme bzw. Lieferung durchfeuchtet und wurden in diesem Zustand eingebaut. Der Auelehm wurde lufttrocken eingefüllt. Eine Einfüllung in Wasser wie bei den groben Materialien hätte hier zu einer Auflösung der noch vorhandenen Aggregate und zu einer unnatürlichen Verdichtung geführt.

Das Einfüllen der ersten acht Prüfmaterialien und deren Abdeckung mit Bodenmaterial fand in der 27. KW 2002 statt (1.-5.7.2002). Die später bezogenen Testmaterialien Gießereirestsand und Bleihüttengranulat konnten erst am 11.10.2002 eingefüllt werden.

Tabelle 2: Eingesetzte Materialien

Prüfmaterial		**Herkunft / Bezug über:**
1	Bankettschälgut Landstraße (BSG 1)	L598 / Bundesanstalt für Straßenwesen
2	Bankettschälgut Autobahn (BSG 2)	A30 / Bundesanstalt für Straßenwesen
3	Referenzmaterial Bauschutt (RM BS)	Bundesanstalt für Materialforschung
4	Referenzmaterial Müllverbrennungsasche (RM HMVA)	Bundesanstalt für Materialforschung
5	Kehrgut (KG)	Stadt Göttingen
6	Referenzmaterial Boden (RM Bo)	Bundesanstalt für Materialforschung
7	Pochsand (PS)	Halde Silbernaal / Landkreis Goslar
8	Auelehm (Auel.)	Steinfeld bei Oker / Landkreis Goslar
9	Gießereirestsand, tongebunden (GRS)	Landesumweltamt NRW
10	Bleihüttengranulat (BHG)	Landesumweltamt NRW
11	Quarzsand/Filtersand als Blindvariante (QS)	Sandgrube Duingen, Alfeld
Abdeckmaterialien		
	Waldboden (~pH 4,0)	37130 Reinhausen
	Ackerboden sandbürtig (~pH 5,5)	37136 Waake
	Ackerboden lößbürtig (~pH 7,0)	37124 Rosdorf
Die Nummerierung entspricht der Anordnung der Materialien in der Lysimeteranlage. Diese Nummerierung bzw. die Abkürzungen finden teilweise auch bei der tabellarischen Darstellung der Ergebnisse Verwendung		

2.3.3 Abdeckmaterialien

Auf die Prüfmaterialien wurden die drei beschriebenen Abdeckmaterialien in einer Mächtigkeit von jeweils 30 cm aufgebracht. Der Waldboden wurde als Monolith (s.o.) eingebaut, die beiden anderen Böden wurden locker eingefüllt. Die Einfüllung erfolgte jeweils im Feuchtezustand der Probenahme.

Jede Kombination aus Prüf- und Abdeckmaterial wurde in dreifacher Wiederholung erstellt. Damit ergaben sich je Prüfmaterial neun Lysimeter. Insgesamt wurden 99 Lysimeter (Zehn Prüfmaterialien plus eine Blindvariante mit Quarzsand) befüllt.

2.4 Materialcharakterisierung Feststoff

2.4.1 Korngrößenanalyse

Korngrößenanalysen wurden nach einem kombinierten Sieb- und Sedimentationsverfahren durchgeführt. Alle Proben wurden doppelt untersucht. Bei einer Serie wurden durch Zugabe von 10% iger Salzsäure verkittende Carbonate aufgelöst. Die andere Serie wurde ohne Kalkzerstörung untersucht. Bei der angewandten Methodik werden zunächst jeweils 20 g einer bei 105°C getrockneten Probe mit 250 ml Wasser versetzt. Die Zugabe von 1 g Natrium-Dithionit (gelöst in 1,25% iger NaOH) führt zur Dispergierung des Materials. Nach 2-tägiger Temperaturkonstanz bei 25°C und mehrfachem Aufschütteln beginnt die Nasssiebung mit Prüfsieben nach DIN. Hierdurch werden die Fraktionen bis zum Grobschluff erfasst. Nach einer dreiminütigen Ultraschallbehandlung zur nochmaligen Dispergierung werden die Proben in Atterberg-Zylinder überführt. Entsprechend ihrer spezifischen Fallzeiten werden die einzelnen Fraktionen getrennt, indem der jeweilige Überstand abgesaugt wird. Auf diese Weise können die Fraktionen Mittelschluff, Feinschluff und Ton erfasst werden. Nach Abschluss der Auftrennung der Korngrößenfraktionen werden die Anteile getrocknet und gravimetrisch bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tab. 4 im Anhang dargestellt.

2.4.2 Gehalt an organischer Substanz

Gesamt-Kohlenstoff und Gesamt-Stickstoffgehalte wurden mit dem Gerät Vario Max C/N der Firma Elementar bestimmt. Die getrockneten und feingemahlenen Proben werden bei diesem Verfahren bei 1200°C verbrannt und Stickoxide mittels Kupfer reduziert. Nach einer Auftrennung des Gasgemisches werden CO_2 und N_2 über einen Wärmeleitfähigkeitsdetektor erfasst und quantitativ bestimmt. Korngrößenanalyse und die Bestimmung der Organik fanden im Institut für Bodenwissenschaften der Universität Göttingen statt. Zu den Ergebnissen vgl. Tab. 4 im Anhang.

2.4.3 Vollaufschluss

Zum Aufschließen der Proben wurden mit Königswasser, demineralisiertem Wasser und schließlich Reinstwasser gespülte Teflontiegel genutzt. Als Reagenzien wurden nur suprapure, destillierte Säuren und Reinstwasser verwendet. Die Aufschlüsse wurden im Geochemischen Institut der Universität Göttingen angefertigt und analysiert.

<u>Flusssäure-Perchlorsäureaufschluss</u>

100 mg der mit einer Achat-Kugelmühle (Fritsch Pulverisette) analysefein gemahlenen Probe wurden in einen Teflontiegel eingewogen. Danach erfolgte die Zugabe von 2 ml Flusssäure (HF) und 3 ml Perchlorsäure ($HClO_4$). Die Tiegel wurden mit einem Deckel verschlossen und

im Trockenschrank 4h bei einer Temperatur von 200°C gehalten. Danach kühlten die Proben ab. Eine Heizbank diente zum Abrauchen der verbliebenen Säuren. Die zurückgebliebene Kruste wurde mit 2 ml konzentrierter, destillierter Salpetersäure gelöst, in einen 100 ml Quarzkolben überführt und mit Reinstwasser aufgefüllt. Die Probe wurde anschließend in einer neuen, gespülten 100 ml PE-Flasche gelagert.

Flusssäure-Schwefelsäureaufschluss

Da sich einzelne Elemente mit dem Flusssäure-Perchlorsäureaufschluss nicht vollständig in Lösung bringen lassen, wurde zusätzlich ein Flusssäure-Schwefelsäureaufschluss durchgeführt.

Das Verfahren zur Gewinnung eines Flusssäure-Schwefelsäureaufschlusses entspricht dem des Flusssäure-Perchlorsäureaufschlusses. Als Aufschlusssäuren wurden jedoch 2 ml Flusssäure (HF) und 3 ml Schwefelsäure (H_2SO_4) verwendet. Die erzielten Ergebnisse sind in Tab. 5 aufgeführt.

Die Ermittlung der Elementgehalte in den Aufschlüssen, den Extrakten der DIN-Verfahren sowie den Lysimeter-Sickerwässern (s.u.) erfolgte mit massenspektrometrischen Methoden. Sowohl die ICP-OES (Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma) als auch die ICP-MS (Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma) wurden eingesetzt.

Bei der ICP-OES wird die Probelösung über ein Zerstäubersystem geleitet und mittels Argon als Trägergas als Aerosol einem Plasmabrenner zugeführt. In diesem wird durch eine Induktionspule ein starkes, oszillierendes Magnetfeld erzeugt. Die Induktionsspule wird von einen Hochfrequenzgenerator versorgt. Dem Plasmabrenner wird Argon zugeführt und durch eine Teslaspule gezündet. Die dem Plasmabrenner zugeführte Probelösung wird in einem Kanal im Plasma verdampft und angeregt. Ein Spektrometer empfängt die aus dem Plasma austretende Strahlung der angeregten Probe und zerlegt diese in einzelne Spektrallinien. Die Intensitäten der einzelnen Linien werden gemessen und mit den Intensitäten von Standardlösungen verglichen. Auf diese Weise wird die Konzentration einzelner Elemente in der Lösung bestimmt. Die Messungen wurden mit einem Gerät der Marke Perkin Elmer Optima 3300 DV durchgeführt.

Auch bei der ICP-MS wird die zu messende Probelösung zerstäubt und ionisiert. Plasmabrenner und Zerstäubersystem sind vergleichbar aufgebaut wie bei der ICP-OES. Über ein Vakuuminterface gelangt die Probe in das Massenspektrometer. Ein Teil wird nach Fokussierung durch elektrische Linsen und Blenden einem Quadropol-Massenanalysator zugeleitet. An vier

stabförmig angeordneten Elektroden ist jeweils eine phasenverschobene Hochfrequenzspannung - überlagert von einem elektrostatischen Gleichfeld - angelegt, die das sog. Quadropolfeld erzeugt. Nur Ionen mit bestimmter Masse (als Funktion der angelegten Spannung) können das Quadropolfeld passieren, die übrigen werden abgelenkt und treffen auf die Elektroden. Nach dem Felddurchgang werden Masse und Intensität der Ionen bestimmt und ausgewertet. Für die Analysen wurde zunächst ein Gerät der Firma Fison Instruments (VG PQ2+) verwendet, später das Gerät ELAN DRC II von Perkin Elmer.

Weitere Einzelheiten zu den Verfahren finden sich bei HEINRICHS & HERRMANN (1990), HINNERS et al. (1998), NÖLTE (1993, 2002), PAVICEVIC & AMTHAUER (2000) und POTTS (1987).

2.4.4 Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Röntgenfluoreszenz wird zur zerstörungsfreien Untersuchung von Stoffen benutzt. Mit ihr ist eine Identifizierung und Konzentrationsbestimmung aller Elemente oberhalb der Ordnungszahl $Z = 9$ in ihren unterschiedlichen Zusammensetzungen möglich. Die Röntgenfluoreszenzanalyse ist auch für den Nachweis geringer Spurenelementkonzentrationen einsetzbar. Mit ihr ist eine quantitative Bestimmung von Haupt-, Neben- und Spurenelementen möglich. Um eine homogene Elementverteilung zu gewährleisten, werden die Proben in Form von Schmelztabletten analysiert. Üblicherweise werden die Gehalte der Hauptbestandteile als Oxide in Gewichtsprozent angegeben (vgl. Tab. 6). Die Gehaltsangabe der Spurenelemente erfolgt in mg/kg. Eingehendere Beschreibungen der Methodik finden sich u.a. bei HAHN-WEINHEIMER et al. (1995), HARTMANN (1994) sowie MÜLLER (1967).

Da für die Analytik Platintiegel verwendet werden, wurde aufgrund erwarteter hoher Gehalte an Platingiften im Bleihüttengranulat (Arsen, Antimon, Blei) dieses Material nicht mit der RFA untersucht. Durchgeführt wurden die Analysen am Geochemischen Institiut der Universität Göttingen.

2.5 Behandlung und Analytik der Lysimeter-Sickerwässer

2.5.1 Beprobung

Die Beprobung erfolgte je nach Niederschlag und angefallenem Sickerwasser in unregelmäßigen Abständen von 1 bis mehreren Monaten. Nach dem Wiegen der Sickerwasserkanister wurden 500 ml PE-Weithalsflaschen mit Sickerwasser befüllt. Der Rest wurde verworfen. Im Labor wurden 100 ml filtriert (s.u.) und für die Spurenmetallanalytik angesäuert. Das restliche Sickerwasser diente zur Bestimmung von pH-Wert, Leitfähigkeit, DOC- sowie Sulfat- und Chloridgehalt.

2.5.2 Filtration

Zur Filtration der Lysimetersickerwässer wurden Kunststoffspritzen mit Luer-Lock-Anschluss und Einwegfiltervorsätzen (Minisart 0,45 µm mit Celluloseacetatmembran, Firma Sartorius, 2,5 cm Durchmesser) verwendet.

Zunächst war geplant, die Filtration direkt bei der Beprobung durchzuführen. Dies erwies sich aber aufgrund der aufzuwendenden Drücke und der nötigen Zeit als nicht praktikabel. Deshalb wurde eine Druck-Filtrationsanlage konstruiert, in der der nötige Druck zum Filtrieren mittels Steingewichten aufgebaut wurde. (5,5 kg/ 4,9087 cm^2 = 11204 kg/m^2 = 1,1 bar pro Stein).

Die Sickerlösung wurde in eine Spritze aufgezogen und diese mit einem Filtervorsatz versehen. Die Spritze wurde in die Filtrieranlage gestellt und die Lösung in eine neue, mit bidestilliertem Wasser gespülte 100 ml PE-Flasche filtriert. Nach der Filtration einer Probe wurde diese auf 2% mit konzentrierter, destillierter Salpetersäure angesäuert und bis zur Analyse kühl gelagert. Die Reinigung der Spritzen erfolgte mit bidestilliertem Wasser sowie 5% iger Salpetersäure.

2.5.3 pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit

Direkt nach der Probenahme wurde in der abgefüllten Teilprobe der pH-Wert elektrometrisch mit einer Glaselektrode gemessen. Anschließend wurde mittels einer Leitfähigkeitselektrode die elektrische Leitfähigkeit bestimmt (Ergebnisse in Tab. 10 und 11). Gearbeitet wurde mit einem Metrohm pH-Meter 632 sowie einem WTW Konduktometer LF318/Set.

2.5.4 DOC-Gehalt

Der Gehalt an gelöstem Kohlenstoff wurde mit dem Gerät Tocor 2 von Maihak bestimmt. Dabei werden nach Entfernung des anorganischen Kohlenstoffs durch Ansäuern mit HCl auf pH 4 die Proben anschließend im kontinuierlichen Strom auf 800°C erhitzt. Der gelöste Kohlenstoff wird dadurch in CO_2 überführt, über einen IR-Detektor geleitet und die Konzentration in der Probelösung errechnet. Die Ergebnisse der Analysen sind in Tabelle 12 nachzulesen.

2.5.5 Sulfat

Bei der verwendeten Methodik wird die Lösung durch eine Kationenaustauschersäule geleitet, um alle Kationen zu entfernen. Durch die Zugabe von $BaCl_2$ bildet sich Bariumsulfat. Mittels Rück-Titration der verbliebenen Ba^{2+}-Ionen kann die Menge des ausgefallenen Bariumsulfates und somit die ursprüngliche Menge des gelösten Sulfats (vgl. Tab. 13) errechnet werden.

2.5.6 Chlorid

Chlorid wurde durch potentiometrische Titration der Probe mit Silbernitrat bestimmt und die Ergebnisse in Tab. 14 aufgeführt. Sowohl für die Sulfat- als auch die Chloridbestimmung wurde ein Metrohm Titroprozessor 636 verwendet.

2.5.7 Spurenelemente

Die Bestimmung der Spurenelementgehalte erfolgte mit der ICP-OES und der ICP-MS (vgl. Kap. 2.4.3). Die Einzelergebnisse sind in die BMBF-Datenbank zum Förderschwerpunkt „Sickerwasserprognose“ eingegeben worden. Sie sind ebenfalls im Anhang der Online-Version dieser Arbeit in den Tabellen 35 bis 42 nachzulesen.

Die Spurenelementanalytik fand am Geochemischen Institut statt, alle anderen Sickerwasseruntersuchungen wurden am Institut für Bodenwissenschaften durchgeführt.

2.6 Ermittlung der Quellstärke nach DIN

Zur Ermittlung der Quellstärke nach DIN wurden 4 unterschiedliche Verfahren angewandt. Die jeweils durchgeführten Schritte werden im Folgenden aufgeführt.

2.6.1 Eluierbarkeit mit Wasser (DIN 38414-4, S4)

100 g der getrockneten Probe wurden in eine 2000 ml- Flasche aus Polyethylen gefüllt, mit 1000 ml destilliertem Wasser versetzt und anschließend 24 h über Kopf gedreht (1 U/min). Nach dem Dekantieren erfolgte die Filtration der Lösung mit Membramfiltern auf 0,45 µm. Zur Spurenelementanalytik wurde die Lösung mit destillierter Salpetersäure auf 2% angesäuert. Für alle Schüttelversuche wurde ein Überkopfschüttler der Marke GFL 3040 eingesetzt.

2.6.2 Ammoniumnitratextrakt (DIN 19730)

Für dieses Verfahren wurden 200 g der getrockneten Probe mit 500 ml frisch angesetzter 1-molarer Ammoniumnitratlösung angesetzt. Als Gefäß dienten gespülte 2000 ml- PE-Flaschen. Die Probe wurde mit einem Überkopfschüttler 2h mit 20 U/min geschüttelt. Nach dem Dekantieren erfolgte eine Filtration mit Membranfiltern auf 0,45 µm, anschließend wurde die Probe auf 2% mit destillierter Salpetersäure angesäuert.

2.6.3 Bodensättigungsextrakt (DIN V 19735, Anhang A.2)

Je nach Material wurden 200-300g der lufttrockenen Probensubstanz in einen PE-Becher gegeben und mit destilliertem Wasser angefeuchtet. Nach einer 24-stündigen Ruhephase bei einer Temperatur von 5°C ist unter Rühren weiteres Wasser zugegeben worden, bis die Fließgrenze erreicht war. Nach einer nochmaligen Ruhephase von 24h bei 5°C konnten die Proben

zentrifugiert werden. Nach dem Dekantieren folgte die Filtration der überstehenden Lösung mit Celluloseacetatfiltern auf 0,45µm und die Ansäuerung auf 2% mit destillierter Salpetersäure.

Auf die schlechte Reproduzierbarkeit und die Schwierigkeit, einen Bodensättigungsextrakt mit groben Materialien herzustellen, wird an dieser Stelle ausdrücklich hingewiesen (vgl. auch LANG & KAUPENJOHANN 2003, LFW 2001).

2.6.4 Königswasseraufschluss (DIN 38414-7, S7)

3 g der getrockneten Probensubstanz wurden in ein Glasröhrchen eingewogen. Zu dem Probenmaterial kamen zunächst 21 ml einer destillierten Salzsäure und anschließend 7 ml destillierte Salpetersäure hinzu. Das Glasröhrchen wurde auf eine Heizplatte gestellt und ein Kugelkühler mit Gäraufsatz aufgesetzt. Sämtliche Teile der Aufschlussanlage bestanden aus Duron-Glas. Im Gäraufsatz befanden sich 10 ml 2-fach destilliertes Wasser. Der Ansatz wurde langsam bis zum Sieden aufgeheizt und anschließend 2 Stunden leicht geköchelt. Nach dem Abkühlen sind Gäraufsatz und Kugelkühler mehrfach mit 2-fach destilliertem Wasser gespült worden. Die so entstandene Mischung aus Aufschluss und Spülwasser wurde in einen Glaszylinder überführt und quantitativ auf 100 ml aufgefüllt. Zur Lagerung dienten neue, gespülte 100 ml PE-Flaschen. Anschließend wurde die Lösung zur Analytik mit Membranfiltern auf 0,45µm filtriert.

Die Bestimmung der Elementkonzentrationen erfolgte jeweils mit der ICP-OES und der ICP-MS (vgl. Kap. 2.4.3). Die Ergebnisse der DIN-Verfahren finden sich im Anhang in den Tabellen 23 bis 26.

Die Schüttelversuche und die Herstellung des Bodensättigungsextraktes fanden im Institut für Bodenwissenschaften statt, Königswasseraufschluss und die Analytik der Extrakte wurden im Geochemischen Institut der Universität Göttingen durchgeführt.

2.7 Ermittlung der Quellstärke mit alternativen Verfahren

2.7.1 Eluierbarkeit mit Wasser mit Fest-Flüssig-Verhältnis von 1:2

Eine weitere Probenserie wurde mit einem Feststoff-Flüssig-Verhältnis von 1:2 extrahiert. Der Analysegang verlief wie bei dem Verfahren nach DIN 38414-4, S4 beschrieben. Die erzielten Ergebnisse sind in Tab. 30 im Anhang aufgeführt.

2.7.2 EUF-Verfahren

Geräte zur Elektro-Ultrafiltration arbeiten mit Unterdruck in einem Plexiglas-Kammersystem. In dieses System werden Netzelektroden aus Platin eingehängt. Diese werden durch Membranfilter (Zellulosetriacetat der Firma Sartorius) von der sogenannten Mittelzelle getrennt.

Zur Durchführung des Verfahrens werden 5g Boden (vorher bei 40°C getrocknet und anschließend 1:10 mit bidestilliertem Wasser versetzt) in die Mittelzelle gegeben und permanent gerührt. An der Kathode werden 0,3 bar, an der Anode 0,4 bar Unterdruck angelegt. Durch zusätzliches Anlegen einer Spannung werden der Boden-Suspension Anionen und Kationen entzogen. Da die Menge der extrahierbaren Ionen mit Spannung, Temperatur und Extraktionsdauer ansteigt, werden zwei Fraktionen gewonnen. Zunächst wird 30 min bei 20°C und max. 200 V (max. 15 mA) extrahiert. Es folgt im zweiten Schritt eine 5-minütige Extraktion bei 80°C und max. 400 V. Beide Fraktionen einer Elektrode werden zusammen in einem 500 ml-Rundkolben aufgefangen. Nach der Extraktion werden die Platinelektroden jeweils 15 min in 25 ml 1M Salzsäure eingelegt. Anschließend werden die abgespülten Filter in diese Lösung eingelegt. Die jeweiligen Lösungen werden im Folgenden mit den Filtraten vereinigt. Nach Eindampfen der Gesamtlösung bei max. 60°C bis zur Trockene wird der Rückstand mit 50 ml 2%iger Salpetersäure aufgenommen. Es folgt eine Filtration über Faltenfilter, danach stehen die Lösungen zur Analyse bereit.

Ausführliche Informationen zur Methodik finden sich bei NEMETH (1976 und 1985).

Die Extraktion wurde an der Justus-Liebig Universität Gießen am Institut für Pflanzenernährung unter Leitung von Prof. Dr. STEFFENS durchgeführt, die Analyse der Extrakte fand am Geochemischen Institut der Universität Göttingen statt. Aus verfahrenstechnischen Gründen mussten die Materialien auf 1mm abgesiebt werden. Ergebnisse des Verfahrens finden sich in Tab. 31-33.

2.8 Niederschlagsmessung

Die Niederschläge wurden auf dem Gelände des Institutes für Bodenwissenschaft in einem im Boden eingelassenen Regenmesser aufgefangen und täglich protokolliert (vgl. Tab. 3 im Anhang). Als Blindprobe wurde Niederschlagswasser direkt an der Lysimeteranlage gesammelt und analysiert. Die Beprobung erfolgte jeweils zusammen mit den Lysimetersickerwässern.

3. Ergebnisse

3.1 Grunduntersuchung der eingesetzten Materialien

3.1.1 Korngrößenanalyse und Gehalt an organischer Substanz

Die Korngrößenzusammensetzung (vgl. Tab. 4 im Anhang) der Materialien zeigt deutliche Unterschiede. Die untersuchten Bankettschälgüter (BSG) bestehen hauptsächlich aus sandigen Komponenten. Das Material der Landstraße weist jedoch einen höheren Sand- und geringeren Tongehalt auf, das der Autobahn einen höheren Anteil an carbonatisch verkitteten Komponenten und mit 10% einen fast doppelt so hohen Anteil an organischer Substanz.

Beim Bauschutt (RM BS) befinden sich über 90% des Materials in der Sandfraktion, bei einem Kalkanteil von 8,6% kommen zusätzlich carbonatisch gebundene Anteile hinzu. Die Müllverbrennungsasche (RM HMVA) ist noch gröber zusammengesetzt. Gut ein Viertel des Materials liegt in der Kiesfraktion vor. Aufgrund eines Kalkgehaltes von 6,3% sind gerade feine Partikel zu gröberen verkittet.

Kehrgut (KG) besitzt ebenfalls einen hohen Kalkanteil von 6,7%. Dieser scheint jedoch in separaten Partikeln vorzuliegen, eine Verkittung feiner Partikel ist kaum festzustellen. Wie bei der Müllverbrennungsasche liegen hier fast 25% der Trockensubstanz als Kies vor. Der Anteil organischer Substanz liegt bei 7,8% ($C_{org} * 1,724$).

Das Referenzmaterial Boden (RM Bo) besteht zu etwa 90% aus Sand und etwa 10% Ton, Schluff ist kaum vorhanden. Durch 4,6% Kalkanteil liegt ein Teil des Tons in gröberen Partikeln vor.

Die untersuchten Pochsande (PS) weisen verschiedene Korngrößenverteilungen auf. Während der Pochsand der Spitzkegelhalde zu mehr als der Hälfte aus Sand und zu gut einem Drittel aus Schluff besteht, liegt der in den Lysimetern eingebaute Pochsand wesentlich gröber vor. Er besteht nahezu zu 90% aus Sand. Der Kalkanteil beträgt einheitlich 6,8%.

Der Auelehm (Auel.) besitzt ca. 50% Sand, 40% Schluff und 10% Ton in der Feinsubstanz. Insgesamt kommt jedoch ein Kiesanteil von fast 50% hinzu. Der Anteil organischer Substanz liegt bei 3,1%.

Der Gießereirestsand (GRS) besteht größtenteils aus Mittelsand, hinzu kommen ca. 5% Ton. Kalk und organische Substanz sind nur gering vertreten. Eine ähnliche Zusammensetzung findet sich beim untersuchten Bleihüttengranulat (BHG), jedoch ist hier der Grobsand mit 66% und der Mittelsand mit 31% vertreten.

Die Prüfmaterialien sind somit insgesamt in unterschiedlichem Ausmaß von Sand dominiert. Bis auf das Bleihüttengranulat sind alle Materialien leicht kalkhaltig, organische Substanz ist besonders in den Bankettschälgütern, dem Kehrgut und dem Auelehm enthalten.

Der für die Blindvarianten eingesetzte gewaschene Quarzsand (QS) wurde auf 630µm gesiebt und besteht daher aus Fein- und Mittelsand, feinere Komponenten sind kaum enthalten.

Bei den Abdeckmaterialien weisen sowohl die beiden Horizonte des Waldbodens als auch der Ackerboden aus Waake sehr ähnliche Zusammensetzung auf. Sie bestehen zu gut 2/3 aus Sand. Der Ackerboden besitzt jedoch einen etwas höheren Tonanteil. Der Humusgehalt ist im A-Horizont des Waldbodens mit 7,6% erwartungsgemäß hoch. Die ähnliche Korngrößenverteilung kann darauf zurückgeführt werden, dass es sich mit dem Mittleren Buntsandstein um das gleiche Ausgangssubstrat handelt.

Den höchsten Schluffgehalt aller untersuchten Materialien weist der lößbürtige Ackerboden auf. 83% des Feinbodens befinden sich in dieser Korngrößenklasse, der Tongehalt ist mit gut 13% ebenfalls hoch.

Die an den ausgebrachten Abdeckmaterialien durchgeführten pH-Wert-Bestimmungen ergaben folgende Werte: Der A-Horizont des Waldbodens aus Reinhausen besitzt einen pH-Wert von 5,5 in H_2O und 4,8 in $CaCl_2$. Der B-Horizont liegt bei pH 4,5 bzw. 3,9. Etwas höhere pH-Werte liefert der Ackerboden aus Waake. Hier liegen die Werte bei 6,0 (H_2O) bzw. 5,2 ($CaCl_2$). Die höchsten pH-Werte weist mit 7,2 ($CaCl_2$) der lößbürtige Ackerboden aus Sieboldshausen auf.

3.1.2 Vollaufschluss

Vor der Beschreibung der erzielten Ergebnisse soll darauf hingewiesen werden, dass durch die moderne Analysen- und DV-Technik die Ergebnisse der Analysen häufig mit einer großen Anzahl an Dezimalstellen ausgegeben werden. Dies täuscht eine höhere Genauigkeit vor, als technisch tatsächlich erreichbar ist. Daher wurden die Ergebnisse auf 2 bis 3 Stellen gerundet. Dies liegt innerhalb der verfahrensbedingten Fehlertoleranz von ca. 5%.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Vollaufschlusses (nach ICP-OES und –MS) vorgestellt (vgl. auch Tab. 5 im Anhang). Die Betrachtung der Materialien bezieht sich dabei vergleichend auf Gehalte natürlicher Böden. Als Vergleichswerte dienen, soweit vorhanden, die „Vorsorgewerte zum Schutz des Bodens“ (Tab. 34) nach der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBODSCHV) unter Berücksichtigung der jeweiligen Korngrößenzusammensetzung sowie von BIELERT (1999) untersuchte natürliche Böden.

Die untersuchten Bankettschälgüter weisen erhöhte Gehalte an Kupfer auf. Das Bankettschälgut der Autobahn (BSG 1) enthält zudem gegenüber den Vorsorgewerten dreifache Bleigehalte. Beim Element Zink enthalten beide Materialien erhöhte Konzentrationen wobei die Überschreitung bei dem Material der Autobahn mit 860 mg/kg im Vergleich zu den Vorsorgewerten (150 mg/kg) deutlich ausfällt.

Der Bauschutt (RM BS) weist überwiegend geringe Gesamtgehalte auf. Neben Kupfer sind lediglich Nickel und Zink im oberen Bereich der Vergleichs- bzw. Vorsorgewerte angesiedelt.

Hohe Elementkonzentrationen weist das Referenzmaterial Hausmüllverbrennungsasche (RM HMVA) auf. Hier liegen die Gehalte an Cadmium, Kobalt, Chrom, Kupfer, Molybdän, Blei, Antimon, Zinn und Zink zum Teil deutlich über den Vergleichswerten. Herauszustellen sind Kupfer mit 1070 mg/kg (verglichen mit 20 mg/kg in den betrachteten Böden), Blei mit 1640 mg/kg (max. 70 mg/kg), Zinn mit 220 mg/kg (4 mg/kg) sowie Zink mit 2000 mg/kg (60 mg/kg).

Beim Kehrgut (KG) sind als problematische Elemente Chrom, Kupfer, Molybdän und Blei in erhöhter Konzentration enthalten. Zink ist mit 350 mg/kg ebenfalls überproportional vertreten.

Unauffällig hinsichtlich anorganischer Belastungen verhält sich das Referenzmaterial Boden (RM Bo). Es zeigt keinerlei erhöhte Werte.

Die untersuchten Pochsande (PS) weisen hohe Gehalte an Spurenelementen auf. Zu nennen sind Arsen, Cadmium, Kupfer, Molybdän, Antimon, Zinn und Zink. Dabei enthält das im Versuch verwendete Material der Halde Silbernaal fast durchweg höhere Schadstoffgehalte gegenüber dem Material der Spitzkegelhalde. Das wird besonders beim Blei deutlich. Es sind mit 60 g/kg (!) beim Pochsand der Halde Silbernaal sehr hohe Gehalte feststellbar. Der Bleigehalt des Pochsandes der Spitzkegelhalde beläuft sich immerhin noch auf 17 g/kg (!).

Der Auelehm (Auel.) weist bei Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Zink Überschreitungen der Vorsorgewerte auf. Deutlich erhöht ist der Gehalt an Blei mit 350 mg/kg (70 mg/kg) und Zink mit 640 mg/kg (150 mg/kg).

Der tongebundene Gießereirestsand (GRS) enthält neben erhöhten Cadmium-, Nickel- und Molybdängehalten mit 6,5 g/kg (!) beachtliche Mengen an Chrom.

Das Bleihüttengranulat (BHG) besitzt bei vielen Elementen die höchsten Konzentrationen aller Materialien. Zu nennen sind hier besonders Arsen mit 2700 mg/kg (im Vergleich zu maximal 32 mg/kg bei den verglichenen Böden), Cadmium mit 134 mg/kg (1,2 mg/kg), Kobalt

(270 zu 13 mg/kg), Chrom (1980 zu 200 mg/kg), Kupfer (540 zu 20 mg/kg), Molybdän (250 zu 1,3 mg/kg), Nickel (270 zu 50 mg/kg) sowie Antimon und Zinn (jeweils 1230 zu 1 bzw. 4 mg/kg). Besonders zu beachten sind Blei mit 95 g/kg (!) sowie Zink mit 76 g/kg (!).

Der Quarzsand der Blindvarianten zeigt keine auffällig hohen Werte. Von den Abdeckmaterialien übersteigt der Lößboden den Vorsorgewert von Chrom um 25%, die sandbürtigen Böden weisen relativ hohe Bleigehalte auf.

3.1.3 Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Ergebnisse der RFA (Tab. 6 im Anhang) zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen des Vollaufschlusses (Tab. 7 und 8 im Anhang). Die errechneten Verhältnisse liegen oft nur wenig über oder unter eins. Lediglich bei Materialien mit geringen Gehalten (z.B. Quarzsand) oder Materialien mit höherem Gehalt an organischer Substanz treten auch größere Abweichungen auf. Den Zusammenhang zwischen Gesamtgehalt und den Abweichungen zwischen RFA und Vollaufschluss (ICP OES/-MS) zeigt Abb. 8.

Bei der Aufsummierung der einzelnen Elemente und Verbindungen aus der RFA und des errechneten Anteils organischer Substanz und des CO_2-Gehaltes ergeben sich teils mehr, teils weniger als 100%. Neben Ungenauigkeiten in der Analytik können hier Unterschiede bei der Zusammensetzung der organischen Substanz als Erklärung herangezogen werden. Das Bankettschälgut der Landstraße zum Beispiel enthält einen hohen Humusanteil, wovon wiederum ein erheblicher Teil aus Resten von Gräsern und deren Wurzeln stammt. Diese Pflanzenmasse enthält auch Nährstoffkationen, die somit in der Berechnung doppelt (in der RFA als Oxide der Hauptkomponenten und im Humus) vorkommen und bei der Summierung zu einem zu hohen Ergebnis führen. Die als Abdeckmaterialien verwendeten Böden weisen eine leicht negative Bilanz auf. Hier liegt die organische Substanz größtenteils in Form von Fulvo- und Huminsäuren vor. Diese enthalten jedoch kaum gebundene Nährstoffkationen. Ein weiteres Manko der RFA ist die Vernachlässigung des Schwefels bei der Analytik. Der Schwefel liegt üblicherweise gebunden als Sulfat oder Sulfid vor. Durch die Nichtbeachtung kommt es bei der mineralischen Substanz zu einer Unterbestimmung. Dies wird z.B. beim Bauschutt deutlich, der einen hohen Sulfatanteil enthält, wie die Sickerwasseranalyse zeigt.

Insgesamt lässt sich jedoch feststellen, dass sowohl Vollaufschluss als auch RFA gut zur Bestimmung der Gesamtgehalte verwendet werden können. Für die weiteren Auswertungen werden die Ergebnisse des Vollaufschlusses verwendet.

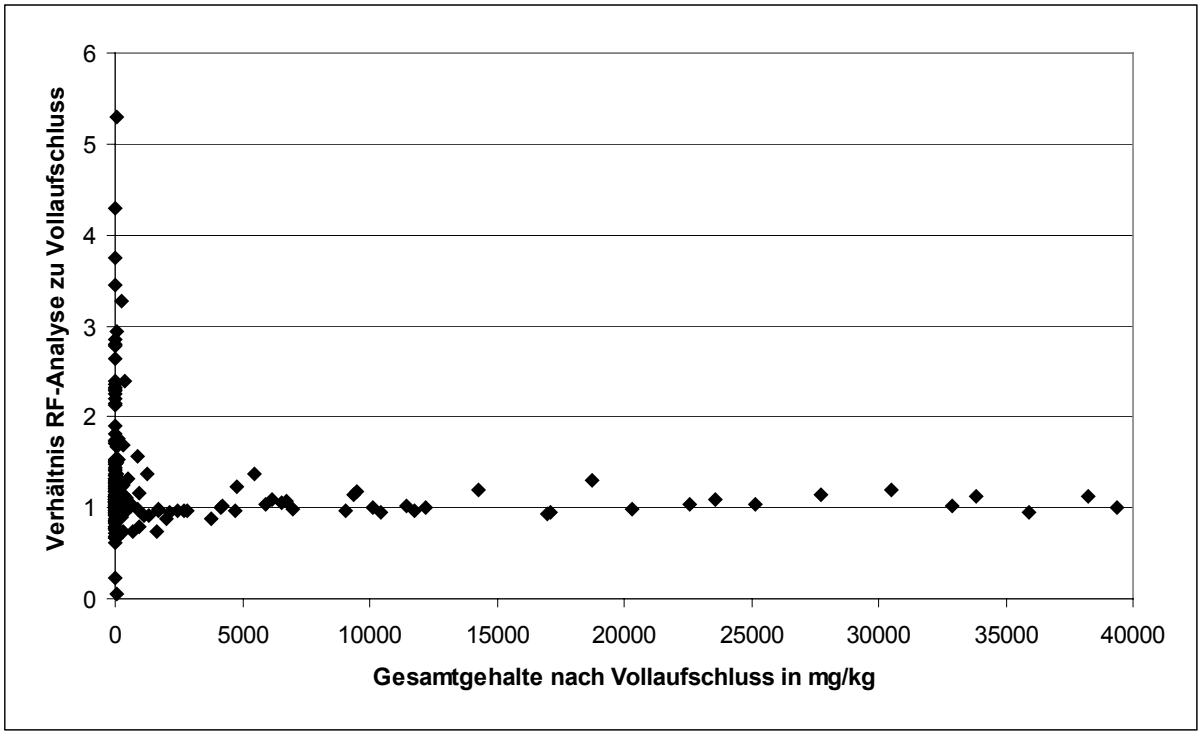


Abb. 8: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse im Verhältnis zu den Ergebnissen des Vollaufschlusses (nach ICP-OES und –MS)

3.2 Zeitgang von Niederschlag und Sickerwasser

Im gesamten Versuchszeitraum fielen in den Lysimetern zwischen 60 und 80% des Niederschlages als Sickerwasser an. Bei der Auswertung der einzelnen Sickerwassermengen fällt auf, dass ein Großteil der Lysimeter bei den Probenahmeterminen im Winter 2002/2003 mehr Sickerwasser lieferte als der Summe der gefallenen Niederschläge (Tab. 3) entspricht (vgl. Abb. 9). Dieses Phänomen zeigte sich nicht nur bei einzelnen Lysimetern mit bestimmten Materialien oder mit einer bestimmten Abdeckung sondern trat verbreitet auf. Messfehler bei der Erfassung der Sickerwassermenge oder Ungenauigkeiten bei der Messung der Niederschläge können ausgeschlossen werden.

Zwei Ursachen werden als Erklärung herangezogen:

1. Der Aufbau der Materialien in den Lysimetern wies Inhomogenitäten auf. Selbst bei im Vorfeld sorgfältig homogenisiertem Material war es nicht zu verhindern, dass sich beim Befüllen Verschiebungen in der Körnung ergaben. Beim Rückbau der Lysimeteranlage konnte dieses an den Lysimetern mit Bauschutt beobachtet werden (vgl. Abb. 10). Welch großen Einfluss auch kleinste Inhomogenitäten auf die Speicherfähigkeit und das Abflussverhalten haben können, zeigen die Versuche von GERNANDT (2003).

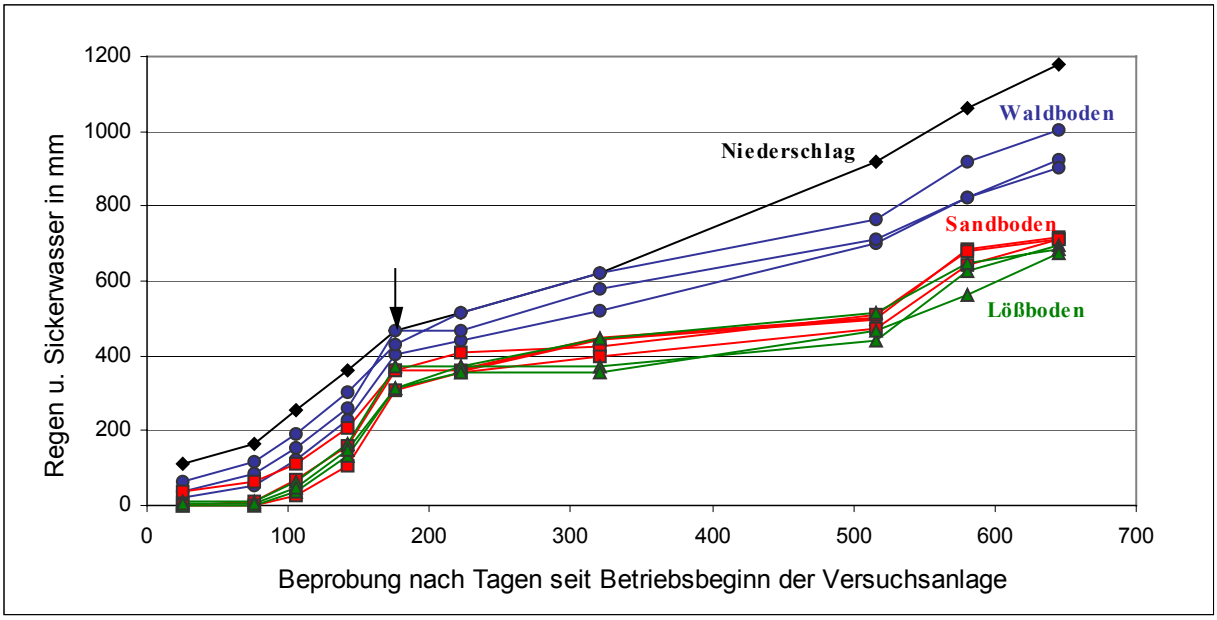


Abb. 9: Zeitgang von Niederschlag und Sickerwasser am Beispiel der Varianten der Quarzsandlysimeter

2. Die Lysimeteranlage wurde so konstruiert, dass ein Zusetzen (Verockern) der Sickerwasserschläuche bzw. schon des Ausflusses aus den Lysimetern unterblieb. Dies sollte dadurch erreicht werden, dass der kontinuierliche Luftzutritt in die Sickerwasserschläuche unterbunden wurde. Die Auffangkanister wurden so aufgestellt, dass der Schlauch ständig in das Sickerwasser im Kanister eintauchte. Ein Luftzutritt war somit nur während der Beprobung der Kanister möglich. Die hierbei in den Sickerwasserschlauch gelangte Luft konnte aber nach dem Wiedereintauchen des Schlauches nicht mehr entweichen. Sie stellte weiterem Sickerwasser zunächst einen Widerstand entgegen. Sobald der Druck im Lysimeter einen gewissen Betrag überschritten hatte, wurde die Luft im Schlauch verdrängt, und das Wasser begann zu fließen. Nachdem dieser Prozess in Gang gekommen war, wirkte neben dem Druck des Wassers im Lysimeter auch noch ein Unterdruck durch die aufgebaute Wassersäule im Ablaufschlauch. Diese erklärt sich durch die Höhendifferenz zwischen Lysimeterauslauf und Kanisterstandort im Bunker.

Bei geringen Niederschlägen kam es demnach zu einer Zwischenspeicherung von Sickerwasser im Lysimeter. Nach stärkeren Niederschlägen wurde das vorher gespeicherte Wasser wieder mobilisiert und ausgetragen. Dies ist jedoch mit Verhältnissen, wie sie in einem Deponiekörper zu erwarten sind, vergleichbar. Durch die im Laufe des Jahres stark variierende Kontaktzeit des Sickerwassers mit den Einbaumaterialien sind in Abhängigkeit von der Lösungsgeschwindigkeit deutlich schwankende Elementkonzentrationen zu erwarten.

Zusammenfassend ist also zu betonen, dass das Sickerwasser nicht kontinuierlich sondern eher periodisch bzw. episodisch abfloss.

Abb. 10: Verfestigter und teilweise korngrößensortierter Bauschutt bei Entnahme aus dem Lysimeter, 16.7.04

Die Standardabweichung der Sickerwasserspende (vgl. Tab 9 im Anhang) beträgt im Durchschnitt aller Materialien und Entnahmetermine knapp 19% vom Mittelwert der Sickerwassermengen (Mittelwert der prozentualen Standardabweichung vom Mittelwert je dreier Parallelen). Bei Betrachtung der einzelnen Materialien zeigt sich, dass Quarzsand (QS) und Auelehm (Auel.) mit 38,9% bzw. 26,7% die größten Schwankungen in der Sickerwasserspende aufweisen, gefolgt von Müllverbrennungsasche (RM HMVA) und Gießereirestsand (GRS). Die geringsten Schwankungen zeigen Kehrgut (KG, 11,6%), Pochsand (PS) und das Bankettschälgut der Autobahn (BSG 2). Eine Abhängigkeit von den Abdeckungen ist nicht festzustellen. Die Variabilität der Sickerwassermengen der jeweils drei Parallelen (prozentuale Standardabweichung vom Mittelwert) zeigt keinen Zusammenhang zu Witterungsperioden. Auffällig ist jedoch, dass die Schwankung bei der Probenahme vom 17.2.04 fast durchweg vergleichsweise

gering ist. Ausnahme bilden nur die Blindvarianten, die auch insgesamt hohe zeitliche Variabilität zeigen. Vergleicht man nun die Standardabweichungen der einzelnen Termine mit der gesamten Versuchsphase, ergibt sich ein anderes Bild. Die Standardabweichungen sind hier erheblich niedriger. Der Quarzsand zeigt dabei zusammen mit dem Pochsand die geringsten Werte (je 2,5% vom Mittelwert). Vergleichsweise hoch mit 9,1 bzw. 11% liegen das Bankettschälgut der Landstraße (BSG 1) und Auelehm.

3.3 Analytik der Lysimeter-Sickerwässer

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analyse der Lysimeter-Sickerwässer dargestellt und ausgewertet. Bezüglich der Analysegenauigkeit und der Rundung der Ergebnisse sei auf die Ausführung im Kapitel Vollaufschluss (3.1.2) hingewiesen.

3.3.1 Zeitgang des pH-Wertes

Fast alle Materialien lieferten Sickerwässer, die sich im basischen pH-Bereich bewegen (vgl. Tab. 10 im Anhang). Besonders häufig sind pH-Werte zwischen 7,5 und 8,5 gemessen worden. Dabei ähnelt sich auch der Zeitgang des pH-Wertes mehrerer Materialien. So zeigen die Bankettschälgüter (BSG), Kehrgut (KG), Referenzmaterial Boden (RM Bo) und Pochsand (PS) zunächst einen kurzen Anstieg der Werte, die zum Winter 2002 wieder abfallen. Nach einem erneuten Anstieg bis zum Sommer 2003 fallen die pH-Werte nach der Trockenperiode tendenziell wieder ab. Die Materialien Auelehm (Auel.), Gießereirestsand (GRS) und Bleihüttengranulat (BHG) zeigen zunächst einen kontinuierlichen Anstieg bis zum Sommer 2003, danach ist auch hier ein Abfall festzustellen. Beim Bleihüttengranulat ist jedoch ein uneinheitlicher Verlauf zwischen den Abdeckungen zu beobachten. Während die Werte bei mit Waldboden bedeckten Lysimetern kontinuierlich bis auf Werte um pH 8 steigen, steigen die Werte der anderen Lysimeter teilweise bis über pH 10, um sich im weiteren Verlauf langsam an die Werte der Waldboden-Lysimeter anzugleichen. Uneinheitlich verlaufen die pH-Werte der Sickerwässer von Bauschutt (RM BS) und Müllverbrennungsasche (RM HMVA). Beim Bauschutt gibt es bei überwiegend hohen Werten um pH 12 immer wieder einzelne Ausreißer bis auf pH 8. Dies ist auch nach dem Sommer 2003 zu sehen. Die pH-Werte der Sickerwässer der Müllverbrennungsasche sind anfangs niedrig, um sich dann - unterbrochen von einem neuerlichen Abfall nach dem Sommer 2003 - auf etwa pH 12 einzustellen.

Insgesamt ist die Schwankung innerhalb der Parallelen in der Anfangsphase höher als zum Ende der Messperiode. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Bodenabdeckungen sind eher gering. Ausnahme bilden wie erwähnt das Bleihüttengranulat und der Quarzsand (QS). Während bei Letzterem die pH-Werte bei Lößabdeckung bei etwa 7 liegen, bewegen

sich die Werte bei Sandbedeckung um 4,5. Die pH-Werte der Sickerwässer der Waldboden-Lysimeter sind bereits unter pH 4 gefallen.

3.3.2 Zeitgang der elektrischen Leitfähigkeit

Die Entwicklung der elektrischen Leitfähigkeit verhält sich bei vielen Materialien ähnlich (vgl. Tab. 11 im Anhang). Bei den Materialien Bankettschälgut (BSG), Kehrgut (KG), Referenzmaterial Boden (RM Bo), Pochsand (PS), Auelehm (Auel.) und Quarzsand (QS) ist zunächst ein Anstieg bis zum vierten Probenahmetermin (Dezember 2002) zu beobachten. Danach sinkt die elektrische Leitfähigkeit ab, um nach dem trockenen Sommer 2003 vorübergehend noch einmal anzusteigen. Bei Bauschutt (RM BS) ist zunächst eine mehr oder weniger konstante elektrische Leitfähigkeit zu beobachten. Später kommt es auch hier zu einem Abfall, nach dem Sommer 2003 wiederum zu einem Anstieg. Das vorherige Niveau wird jedoch nicht wieder erreicht. Die Materialien Müllverbrennungsasche (RM HMVA), Gießereirestsand (GRS) und Bleihüttengranulat (BHG) zeigen nahezu durchweg eine rückläufige Tendenz. Der Effekt der langen Trockenheit macht sich jedoch auch hier leicht bemerkbar.

In der Anfangsphase finden sich teilweise Unterschiede zwischen den Abdeckungen. Dabei liefern die Lysimeter mit Sandbodenüberdeckung tendenziell höhere Leitfähigkeitswerte. Im weiteren Verlauf gleichen sich aber die Werte der verschiedenen Abdeckungen an. Die höchsten Leitfähigkeiten besitzt mit Einzelwerten bis über 16.000 µS/cm die Müllverbrennungsasche. Auch der Bauschutt liefert mit maximal 8.800 µS/cm noch beachtliche Ergebnisse. Die geringsten elektrischen Leitfähigkeiten sind beim Bleihüttengranulat festzustellen. Mit anfangs maximal knapp 2000 µS/cm und sonst meist zwischen 300 und 600 µS/cm liegen die Ergebnisse deutlich unter denen anderer Materialien.

3.3.3 Zeitgang des DOC-Gehaltes

Die DOC-Gehalte der untersuchten Proben (vgl. Tab. 12 im Anhang) liegen anfangs oft sehr hoch. Besonders Bauschutt (RM BS) mit bis zu 555 mg DOC/l ist hier zu nennen. Aber auch andere Materialien wie Müllverbrennungsasche (RM HMVA), Kehrgut (KG) oder Referenzmaterial Boden (RM Bo) starten mit Werten zwischen 300 und knapp 400 mg DOC/l. Die restlichen Materialien weisen Startwerte von 150-200 mg DOC/l im Sickerwasser auf. Fast durchgängig fallen die Werte im weiteren Verlauf deutlich ab. Eine Ausnahme bildet Kehrgut, dass noch bis zum dritten Termin teils steigende Werte zeigt. Ähnliches Verhalten ist bei Gießereirestsand (GRS), Bleihüttengranulat (BHG) und den mit Waldboden überdeckten Lysimetern der Blindvariante (QS) zu beobachten. Hier ist nach einem anfänglichen Abfall ein späterer Anstieg – bei Quarzsand fast bis auf die Anfangswerte - festzustellen. Ein verbreite-

tes Phänomen ist auch ein abermaliger Anstieg nach der sommerlichen Trockenperiode des Jahres 2003. Ausnahmen bilden nur die Bankettschälgüter (BSG) und Quarzsand. Hier bleiben die Werte konstant oder gehen weiter zurück, wobei beim Quarzsand noch ein späterer Anstieg zu verzeichnen ist. Während das Kehrgut insgesamt die höchsten DOC-Gehalte aufweist und auch zum Ende des Beobachtungszeitraums noch Werte um 100 mg DOC/l erreicht, findet sich in den Sickerwässern des Bleihüttengranulates nur sehr wenig DOC. Die Maximalwerte betragen hier nur 32 mg/l, die niedrigsten Werte liegen bei 4 mg DOC/l. Es lässt sich beobachten, dass die Schwankung innerhalb der Parallelen und zwischen den Lysimetern mit unterschiedlicher Abdeckung anfangs recht hoch ist. Im weiteren Verlauf gleichen sich die Werte jedoch an. Anfänglich liefern bei einigen Materialien die Lysimeter mit Lößbodenabdeckung etwas höhere DOC-Werte. Zum Ende der Messperiode sind eher höhere Gehalte bei Lysimetern mit Waldbodenabdeckung feststellbar. Insgesamt ist aber der Einfluss der Abdeckung während der Versuchsphase als eher gering einzustufen.

Bei der Beurteilung der DOC-Gehalte in den Sickerwässern ist jedoch ein technisches Problem zu berücksichtigen. Die anfangs verwendeten PA-Schläuche zur Ableitung der Sickerwässer enthielten Weichmacher. Kontrollversuche zeigten, dass die Weichmacher in nicht unerheblichem Ausmaß an das durchfließende Wasser abgegeben werden und sehr hohe DOC-Gehalte erzeugen können. Deshalb wurden die PA-Schläuche im Dezember 2002 durch Teflonschläuche ersetzt. Berücksichtigt man diese Tatsache, dann erscheinen die zeitlichen Verläufe der DOC-Gehalte im Sickerwasser wesentlich geglättet. Vernachlässigt man die ersten vier Werte, weisen die Lysimeter mit Kehrgut mit maximal knapp 200 mg DOC/l sowie die mit Waldboden überdeckten Lysimeter mit Gießereirestsand und Quarzsand (max. knapp 130 mg DOC/l) die höchsten Konzentrationen auf.

3.3.4. Zeitgang des Sulfatgehaltes

Die Sulfatgehalte im Sickerwasser sind sehr unterschiedlich (vgl. Tab. 13 im Anhang). Dies trifft sowohl auf die absolute Höhe der Werte als auch auf deren zeitliche Entwicklung und die Unterschiede zwischen den Abdeckungen zu. Es ist insgesamt keine einheitliche Tendenz in den Werten zu erkennen. Bauschutt (RM BS), Gießereirestsand (GRS) und Bleihüttengranulat (BHG) zeigen einen kontinuierlichen Abfall der Werte, dieser wird lediglich durch einen geringen Anstieg nach dem Sommer 2003 unterbrochen. Die Werte gehen dabei beim Bauschutt von 2000 mg/l auf teils unter 400 mg/l zurück. Beim Gießereirestsand werden hingegen nach anfänglichen 800 mg/l später nur noch knapp 100 mg/l erreicht. Die Sulfatgehalte des Bleihüttengranulates enden bei Werten um 20 mg/l. Auelehm (Auel.) und Quarzsand (QS)

zeigen ein deutlich anderes Verhalten bezüglich der Sulfatgehalte im Sickerwasser. Während die Wald- und die Sandboden-Lysimeter bei Werten um 40-50 mg/l schwanken, ergibt sich im Winter 2002/03 jeweils bei den Lößboden-Lysimetern ein Peak bis 200 mg/l. Die Bankettschälgut-Lysimeter (BSG) liefern bis zum Juni 2003 zunächst fallende Sulfatgehalte. Danach steigen die Gehalte aber wieder an, beim Bankettschälgut Landstraße (BSG 1) mit Löß- und Sandbodenbedeckung werden mit bis zu 350 mg/l sogar die höchsten Werte erreicht. Die Analysen der letzten Proben zeigen dann wieder sinkende SO_4-Konzentrationen. Recht hohe Sulfatgehalte weisen auch die Sickerwässer von Müllverbrennungsasche (RM HMVA) und Kehrgut (KG) auf. Die Werte steigen auf gut 1000 bzw. 1100 mg/l. Bei Kehrgut geben die Lysimeter mit Löß-Bedeckung, bei der Müllverbrennungsasche die Lysimeter mit Waldbodenabdeckung die höchsten Sulfatmengen ab. Zum Ende der Messperiode ist auch bei diesen Materialien ein Absinken der Konzentrationen festzustellen. Als einziges Material zeigt Pochsand (PS) einen - wenn auch unterbrochenen - Anstieg der Sulfatgehalte im Sickerwasser. Dieser findet jedoch auf vergleichsweise niedrigem Niveau statt. Die Werte liegen sämtlich noch unter 200 mg/l.

3.3.5. Zeitgang des Chloridgehaltes

Die Gehalte an Chlorid im Sickerwasser sind insgesamt rückläufig (vgl. Tab. 14 im Anhang). Bis zum Ende der Messperiode ist größtenteils eine Einpendelung der Werte auf niedrigem Niveau erreicht. Anfangs kommt es jedoch oft noch zu einem Anstieg der Werte. Ausnahmen sind nur die Materialien Müllverbrennungsasche (RM HMVA), Gießereirestsand (GRS) und Bleihüttengranulat (BHG). Auffällig ist, dass die anfänglichen Anstiege der Konzentrationen bei den mit Sandböden abgedeckten Lysimetern meist deutlich ausgeprägter sind als bei den anderen Varianten. Bei Waldboden-Lysimetern findet ein geringerer Anstieg statt, z.T. - wie bei Bauschutt (RM BS) und den Bankettschälgütern (BSG) - findet überhaupt kein Anstieg statt. Auch bei den absoluten Werten ist ein Einfluss der Abdeckung zu beobachten. Die mit Sandboden abgedeckten Lysimeter liefern Konzentrationen, die zum Teil ein Vielfaches der Gehalte der anderen Lysimeter betragen. Ausnahmen bilden sowohl Gießereirestsand und Bleihüttengranulat, die keine Differenzierungen zwischen den Abdeckungen zeigen, als auch Bauschutt und Kehrgut (KG). Bauschutt ergibt bei Wald- und Lößboden anfänglich höhere Konzentrationen als bei Sandböden. Bei Kehrgut liefern die Lysimeter mit Lößüberdeckung die höchsten Konzentrationen. Die höchsten absoluten Chloridgehalte im Sickerwasser liefert die Müllverbrennungsasche. Diese betragen in der Anfangsphase bis zu 5000 mg Cl/l. Zum Ende der Messperiode fallen die Konzentrationen deutlich unter 100 mg/l ab. Ebenfalls recht hohe Chloridmengen gibt das Kehrgut an das Sickerwasser ab. Bei den ersten Terminen sind

häufig Werte über 1000 mg Cl/l zu verzeichnen. Zum letzten Termin werden aber teilweise schon die 10 mg/l unterschritten. Alle anderen Materialien liefern Gehalte, die in der Anfangsphase um oder etwas über 200 mg Cl/l betragen. Die Konzentrationen pendeln sich zum Ende des Beprobungszeitraumes auf niedrige Werte ein. Abgesehen von Bauschutt und Müllverbrennungsasche werden fast durchweg Werte unter 10 mg/l erreicht. Die Trockenheit des Sommers 2003 macht sich nur geringfügig bemerkbar. Nur bei wenigen Lysimetern ist ein, dann meist nur leichter nachsommerlicher Anstieg der Konzentrationen messbar.

3.3.6 Zeitgang der Makronährstoffkonzentration

Im Folgenden werden die Konzentrationen an Makronährstoffen im Sickerwasser betrachtet. Dazu wurde über jeweils drei Lysimeter mit gleichem Füll- und Abdeckmaterial gemittelt. Die zugehörigen Daten einzelner Lysimeter sind im Anhang der Online-Version dieser Arbeit in den Tabellen 35 bis 42 und in den Tabellen der BMBF-Datenbank zum Förderschwerpunkt „Sickerwasserprognose“ nachzulesen.

Es wurde entsprechend dem Sickerwasseranfall an zehn Terminen Sickerwasser entnommen: Am 12.8., 30.9., 29.10. und 5.12. 2002, am 8.1., 24.2., 3.6. und 15.12. 2003, sowie am 17.2. und am 21.4.2004. Dabei wurden die Sickerwässer der Probenahmen vom 29.10. und 5.12. 2002 (Termin 3 und 4) aufgrund unklarer Auswirkungen der DOC-Kontaminationen aus den Ablaufschläuchen (s.o.) nicht auf Makro- und Spurenelemente analysiert. Nachträglich wurden nur die Sickerwässer des Bleihüttengranulates vom 5.12.2002 auf Antimon untersucht. Das Fehlen der beiden Termine ist bei der Betrachtung der folgenden Diagramme zu berücksichtigen. Hierin wird ein gleichmäßiger Trend zwischen den Terminen 2 und 5 vorausgesetzt. Dies muss aber nicht überall der Fall sein.

<u>Calcium</u>

Der Zeitgang der Konzentration an Calcium in den Sickerlösungen verläuft bei einzelnen Materialien zum Teil ähnlich. Der Betrag der Konzentrationen ist dabei aber sehr unterschiedlich. Vielfach ist zunächst ein Anstieg der Konzentrationen bis zum zweiten Probenahmetermin zu verzeichnen. Es folgt ein Rückgang oder zumindest eine Konstanz der Werte. Vor einem weiteren Rückgang am Ende der Versuchslaufzeit ergibt sich nach dem Sommer 2003 ein Anstieg der Konzentrationen. Lediglich beim Bauschutt (RM BS) und bei der Müllverbrennungsasche (RM HMVA) ist diese Entwicklung verzögert und tritt erst zum Winter auf. Bei diesen beiden Materialien ist auch der anfängliche Anstieg der Ca-Gehalte verzögert, so dass zu Anfang zunächst ein leichter Rückgang der Konzentrationen zu beobachten ist. Die Müllverbrennungsasche liefert zusammen mit dem Bleihüttengranulat (BHG) zudem vergleichs-

weise geringe Konzentrationen mit Maximalwerten, die unter 100 mg/l bleiben. Zudem scheint das Freisetzungspotential von Calcium bei der Müllverbrennungsasche bereits erschöpft zu sein, da bei der letzten Probenahme 10 mg/l kaum noch überschritten werden. Ähnlich niedrige Werte liefert nur der Gießereirestsand (GRS), der maximal nur 18 mg/l Calcium freisetzt. Die höchsten Gehalte an Calcium werden im Sickerwasser des Bauschuttes mit maximal 650 mg/l erreicht. Abhängigkeiten von der Art des Abdeckmaterials sind nicht feststellbar, lediglich beim Quarzsand (QS) geben die mit Lößboden abgedeckten Lysimeter vergleichsweise höhere Gehalte ab.

Natrium

Die Konzentrationen an Natrium im Sickerwasser sind nach einem anfänglichen Anstieg allgemein rückläufig. Auch ein Anstieg nach dem trockenen Sommer 2003 fällt, falls überhaupt vorhanden, sehr gering aus. Die absoluten Beträge der Natriumgehalte fallen wie beim Calcium sehr unterschiedlich aus. Den Spitzenwert ergeben mit durchschnittlich 3540 mg Na/l die mit Waldboden bedeckten Lysimeter der Müllverbrennungsasche (RM HMVA). Auch zum Ende der Messungen werden hier noch mindestens 280 mg/l freigesetzt. Ähnliche Endwerte liefern mit mindestens 160 mg/l die Lysimeter mit Gießereirestsand (GRS). Die maximalen Konzentrationen liegen hier bei 605 mg/l bei Lößbedeckung. Ebenfalls hohe Natriumgehalte weisen die Sickerwässer der Kehrgut-Lysimeter (KG) auf. 750 mg/l werden als Spitzenwert bei lößbedeckten Lysimetern erreicht. Zum Ende der Versuche sind die Konzentrationen zum Teil unter 40 mg/l abgesunken. Nur sehr geringe Natriumgehalte konnten im Sickerwasser von Pochsand (PS), Auelehm (Auel.) und Quarzsand (QS) gemessen werden. Die Werte betragen maximal 10 mg/l. Bei Bauschutt (RM BS), Kehrgut und Gießereirestsand zeichnen sich leicht höhere Werte bei den Varianten mit Lößabdeckung ab, bei Pochsand und Quarzsand ergeben die Waldboden-Lysimeter größtenteils die höchsten Werte.

Kalium

Die Verläufe der Kaliumkonzentrationen ähneln bei den meisten Materialien denen des Calciums. Nach einem anfänglichen Anstieg und folgendem Abfall oder Konstanz der Werte zeigt sich ein nochmaliger Anstieg nach dem Sommer 2003 mit nachfolgendem Rückgang der Konzentrationen. Bei den Materialien Bauschutt (RM BS), Müllverbrennungsasche (RM HMVA) und Kehrgut (KG) ist der nachsommerliche Anstieg sehr gering, bei der Hausmüllverbrennungsasche findet zudem kein anfänglicher Anstieg statt. Ohne zeitliche Veränderung bleiben die Konzentrationen beim Pochsand (PS). Hier ist im Sickerwasser kaum Kalium enthalten (max. 2,5 mg/l). Neben dem Pochsand weisen auch Auelehm (Auel.), Gießereirestsand (GRS) und Bleihüttengranulat (BHG) mit maximal 20 mg/l nur geringe Kaliumgehalte

im Sickerwasser auf. Mit knapp 1000 mg/l gibt der Bauschutt zu Beginn der Untersuchungen die größten Mengen Kalium an das Sickerwasser ab. Zum Ende des Projektes gehen die Werte bei den mit Waldboden überdeckten Lysimetern auf durchschnittlich 145 mg/l zurück. Ähnliche Endwerte zeigen die Lysimeter mit Müllverbrennungsasche. Die anfänglichen Konzentrationen sind jedoch mit knapp 630 mg/l nicht so hoch wie die des Bauschuttes. Die bisher nicht erwähnten Materialien liegen mit ihren Kaliumgehalten im Sickerwasser deutlich unter 100 mg/l, zum Ende der Versuchsperiode sind nur noch geringe Mengen im Sickerwasser nachweisbar. Abhängigkeiten zwischen Sickerwassergehalten und der Art der Abdeckung sind nur in geringem Umfang vorhanden. Beim Referenzmaterial Boden (RM Bo) und beim Quarzsand (QS) liefern die Sandboden-Lysimeter die höchsten Kalium-Gehalte. Bei Bleihüttengranulat und eingeschränkt bei Bauschutt trifft dies auf die Lysimeter mit Lößbodenüberdeckung zu.

Magnesium

Im Vergleich zu den vorher behandelten Elementen weist das Magnesium vergleichsweise geringe Gehalte auf. Die zeitlichen Verläufe der Konzentrationen ähneln wiederum denen des Calciums. Bei den Referenzmaterialien Bauschutt (RM BS) und Müllverbrennungsasche RM HMVA) ist jedoch kein Zeitgang festzustellen, da mit unter 1 mg/l die Werte sehr gering sind. Die höchsten Konzentrationen weist mit maximal 110 mg/l das Kehrgut (KG) auf, alle anderen Materialien geben deutlich unter 100 mg/l an das Sickerwasser ab. Bei den Materialien Quarzsand (QS) und Bleihüttengranulat (BHG) werden maximal nur knapp über 20 mg/l erreicht, bei den Materialien Auelehm (Auel.) und Gießereirestsand (GRS) liegen die maximalen Konzentrationen noch darunter. Bei den Lysimetern mit Quarzsand zeigt sich eine Abhängigkeit von der Abdeckung. Die mit Waldboden versehenen Varianten erbrachten durchweg die höchsten Konzentrationen. Auffällig sind die Ergebnisse beim Bleihüttengranulat. Auch hier liefern die Waldboden-Lysimeter die höchsten Magnesiumgehalte. Bei den ersten Terminen liegen zwischen den Konzentrationen der Varianten mit Wald- und mit Lößboden Faktoren von 100 und mehr. Im Dezember 2003 gleichen sich die Gehalte jedoch sprunghaft an, so dass nur noch Faktoren zwischen 3 und 5 auftreten. Ein ähnliches Phänomen findet sich bei demselben Material bei den Antimon-Konzentrationen (s.u.).

3.3.7 Kationen-Anionen-Bilanzen

Zur Überprüfung der Analytik werden häufig Kationen-Anionen-Bilanzen erstellt. Diese benötigen jedoch eine Reihe an Eingangsdaten. Die untersuchten Sickerwässer besitzen überwiegend pH-Werte zwischen 7 und 8. Ausnahmen bilden die Materialien Bauschutt und

Müllverbrennungsasche sowie teilweise Pochsand mit wesentlich höheren und der Quarzsand mit teilweise niedrigeren pH-Werten im Sickerwasser. Bestimmt wurden Natrium, Kalium, Magnesium und Calcium, DOC- sowie Sulfat- und Chloridgehalt und die elektrische Leitfähigkeit. Zur Aufstellung einer Bilanz werden üblicherweise die Kationen von Natrium, Kalium, Magnesium und Calcium sowie Ammonium herangezogen. Auf Anionenseite sind neben Chlorid und Sulfat auch Hydrogen- und Carbonationen, Nitrat und die OH^--Konzentration zu nennen. Hinzu kommt die gelöste organische Substanz.

Bei pH-Werten um 7 ist die OH^--Konzentration vernachlässigbar, Carbonat tritt ebenfalls kaum auf. Die gelöste organische Substanz kann negativ, positiv oder neutral sein, zudem kann die Wertigkeit der organischen Ionen unterschiedlich sein. Es ist anzunehmen, dass sich organische Anionen und Kationen gegenseitig aufheben und daher die organische Substanz bei der Bilanzierung nicht ins Gewicht fällt. Der Ammoniumgehalt dürfte in annähernd neutralen Wässern ebenfalls sehr gering sein und somit für die Bilanz keine Rolle spielen. Es fehlen für diese Wässer bei der anionischen Komponente Nitrat und Hydrogencarbonat, die in Wässern im neutralen pH-Bereich in etwa die Differenz zwischen Anionen und Kationen ausmachen dürften.

Nach RICHARDS (1969) liegen die Quotienten aus Ionenäquivalent und elektrischer Leitfähigkeit für die meisten Salze bei etwa 10, für einige andere etwas darüber. Bei einem Vergleich der Kationenäquvialentsumme mit der Leitfähigkeit zeigt sich, dass dieser Quotient bei den Materialien mit annähernd neutralen Sickerwässern befriedigend zutrifft (Tab. 15). Bei den Materialien mit hohem pH-Wert (Bauschutt und Müllverbrennungsasche) sowie sehr niedrigem pH-Wert (Quarzsand mit Wald- und Sandbodenabdeckung) ergeben sich zu niedrige Quotienten, was darauf hindeutet, dass noch andere als die berücksichtigten Anionen in der Lösung vorhanden sind. Bei hohen pH-Werten gehen auch Elemente wie Eisen und Aluminium, teilweise sogar Silizium als Anionen (z.B. $Fe(OH_4)^-$) in Lösung. Die Differenz zwischen Anionen und Kationen geht hier über die Konzentration an Hydrogencarbonat und Nitrat hinaus. Bei den Wässern des Bauschuttes und der Müllverbrennungsasche wird die Aufstellung einer Kationen-Anionen-Bilanz dadurch erschwert, bzw. unter den gegebenen Bedingungen unmöglich.

Eine Betrachtung der bestimmten Kationen- und Anionenäquivalente über die Zeit in nahezu neutralen Sickerwässern ergibt keine eindeutige Tendenz über die gesamte Versuchsperiode. Neben Sickerwässern mit tendenziell sinkenden Kationen- und Anionengehalten (in meq/l) wie bei Kehrgut oder Gießereirestsand (vgl. Abb. 11 im Anhang) gibt es auch Fälle mit

schwach umgekehrter Tendenz wie beim Pochsand. Die Kurven der Kationen- und Anionenäquivalente verlaufen meist synchron. Eine gegenläufige Entwicklung tritt kaum auf. Weit verbreitet ist ein vorübergehender Rückgang zum bzw. im Sommer 2003 (Januar bis Juni). Sowohl Kationen- als auch Anionenäquivalente gehen zurück. Da auch deren Differenz kleiner wird, ist der Rückgang auf Kationenseite quantitativ größer. Bei Betrachtung der prozentualen Verhältnisse (beispielhaft Abb. 12 im Anhang) zeigt sich ein stärkerer Rückgang der bestimmten Anionenäquivalente. Dieser ist fast durchweg durch einen Wiederanstieg zum bzw. im Winter 2003/04 (Dezember bis Februar) unterbrochen.

Der Beitrag der einzelnen Kationen und Anionen zur jeweiligen Äquivalentsumme ist sehr unterschiedlich. Je nach Material können einzelne Elemente dominierend sein. Die Gehalte an Chlorid und Sulfat sowie der Hauptkationen sind in Kapitel 3.3.4 bis 3.3.6 nachzulesen.

3.3.8 Zeitgang der Spurenelementkonzentration

Im Folgenden soll auf die Ergebnisse der Analytik der Sickerwässer auf Spurenstoffe eingegangen werden. Aus Gründen der Übersicht bleiben die Ausführungen auf die Elemente, bei denen Überschreitungen der Prüfwerte festgestellt wurden, beschränkt. Berechnet wurden Mittelwerte aus je drei Lysimetern mit gleichem Füll- und Abdeckmaterial. Zudem werden Maximalwerte der Elementgehalte einzelner Lysimeterausläufe betrachtet. Die zugehörigen Daten einzelner Lysimeter sind im Anhang der Online-Version der Arbeit in den Tabellen 35 bis 42 und in den Tabellen der BMBF-Datenbank zum Förderschwerpunkt „Sickerwasserprognose“ nachzulesen.

Die Sickerwasseranalysen zeigen, dass die Elementfreisetzung aus den einzelnen Materialien sehr unterschiedlich ist.

Überraschend hohe Werte weisen die als Blindvarianten angelegten Lysimeter mit Quarzsand (QS) auf. Sehr hoch sind die Gehalte an Zink in den Ausläufen. Im September 2002 werden Spitzenwerte bis 7400 µg/l erreicht. Im Februar 2003 fallen die Werte als erstes bei den Lysimetern mit Ackerboden-Bedeckung unter den Prüfwert von 500 µg/l, im Februar 2004 wird dieser jedoch bei den Lysimetern mit Sandbodenbedeckung nochmals überschritten. Die Sickerwässer der mit Waldboden bedeckten Lysimeter fallen erst beim letzten Beprobungstermin unter den Prüfwert. Chrom überschreitet im September 2002 bei zwei Lysimetern mit maximal 160 µg/l den Prüfwert, gleiches trifft auf Nickel im Januar 2003 mit 60 µg/l zu. Cadmium weist, einzig bei den untersuchten Materialien, ebenfalls teilweise zu hohe Werte auf. Diese liegen bei bis zu 15 µg/l bei einem Prüfwert von 5 µg/l. Bei den Waldboden-Lysimetern wird der Prüfwert noch bei der neunten Probenahme leicht überschritten. Konti-

nuierlich steigen die Konzentrationen von Blei in den Sickerwässern der Waldboden-Lysimeter an, so dass zum Ende der Messperiode zunächst bei einem, bei der folgenden, letzten Probenahme bei zwei Lysimetern der Prüfwert von 25 µg/l überschritten wird.

Beim Bankettschälgut der Landstraße (BSG 1) liegen lediglich die Werte für Zink über den Prüfwerten der BBODSCHV. Anfänglich werden Durchschnittswerte (Mittelwerte aus je drei Lysimetern) bis 2700 µg/l erreicht (Maximalwert eines einzelnen Lysimeters 3500 µg/l). Im weiteren Verlauf gehen die Werte zurück, der Prüfwert wird nur noch geringfügig überschritten. Zum Ende der Versuchsperiode pendeln sich die Mittelwerte der Varianten unabhängig von der Art der Bedeckung bei knapp 400 µg/l ein. Auffällig ist bei diesem Material auch die Entwicklung der Chromgehalte. Diese steigen bis zum Ende der Versuche weiter an, erreichen den Prüfwert jedoch nicht.

Die Ergebnisse beim Bankettschälgut der Autobahn (BSG 2) sind ähnlich, jedoch liegen die Werte beim Zink noch deutlich höher und erreichen im Januar 2003 Durchschnittswerte bis 5400 µg/l (maximal 6400 µg/l). An den anderen Terminen werden zunächst relativ konstant Werte zwischen 1000 und 2000 µg/l erreicht, bevor die Gehalte an den letzten beiden Terminen wieder deutlich steigen und bei den Lysimetern mit Ackerbodenbedeckung die insgesamt höchsten Ergebnisse liefern. Ein Vergleich der beiden Bankettschälgüter ist in Abb. 13 dargestellt.

Das Referenzmaterial Bauschutt (RM BS) gibt vergleichsweise viele Schadstoffe an das Sickerwasser ab, so dass die Prüfwerte mehrerer Elemente überschritten werden. Die Durchschnittswerte der Konzentrationen an Chrom erreichen 360 µg/l (Maximalwerte 420 µg/l, Prüfwert 50 µg/l, vgl. Abb. 14). Auch wenn die Werte tendenziell leicht rückläufig sind, liegen sie auch am Ende des Versuchszeitraumes noch deutlich über dem Prüfwert. Die Werte für Kupfer liegen ebenfalls über dem Prüfwert von 50 µg/l. Die Durchschnittswerte betragen hier anfangs bis 400, maximal 430 µg/l. Während des letzten Versuchsjahres sind die Werte insgesamt leicht rückläufig, liegen aber immer noch um 50 bis 100% über dem Prüfwert. Nickel ist bei der zweiten Analyse mit durchschnittlich bis 120 µg/l vertreten (Maximalwert 150 µg/l). Anschließend fallen die Konzentrationen unter den Prüfwert von 50 µg/l ab. Nach der sommerlichen Trockenperiode 2003 steigen die Werte jedoch wieder an und pendeln sich im Bereich des Prüfwertes ein. Auch die Werte für Molybdän liegen über dem zugehörigen Prüfwert (50 µg/l). Ausgehend von 100-120 µg/l (maximal 140 µg/l) zeigen die Werte eine gleichmäßig fallende Tendenz und unterschreiten bei der vorletzten Beprobung den Prüfwert. Bei der letzten Analyse liegen die Ergebnisse jedoch wieder geringfügig über dem Prüfwert.

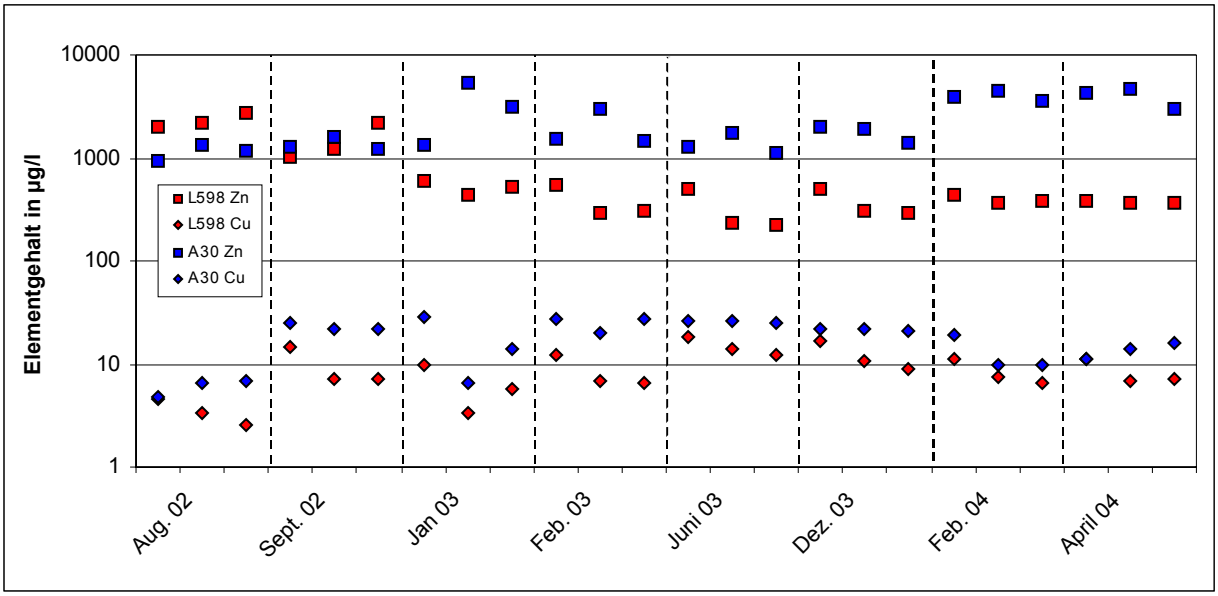


Abb. 13: Zeitliches Lösungsverhalten von Kupfer und Zink bei Bankettschälgut Landstraße L598 und Autobahn A30. Dargestellt sind jeweils nebeneinander die Mittelwerte der drei Parallelen mit Wald-, Sand- und Lößboden zu den Terminen 1 und 2 sowie 5 bis 10

Beim Referenzmaterial Hausmüllverbrennungsasche (RM HMVA) überschreiten ebenfalls einige Elemente im Sickerwasser die Prüfwerte deutlich. Von anfänglich niedrigem Niveau steigen die Werte für Chrom bei der Beprobung im Januar 2003 stark an und erreichen im Durchschnitt Werte bis 200 µg/l bei einem Maximalwert von 220 µg/l (vgl. Abb. 14). Im weiteren Verlauf bleiben die Werte zunächst relativ stabil auf hohem Niveau. Bei den Untersuchungen im Februar und April 2004 ist jedoch ein deutlicher Abfall der Konzentrationen zu verzeichnen. Die Kupfergehalte sind schon anfänglich sehr hoch und erreichen im Januar 2003 ihr Maximum (durchschnittlich bis 2000 µg/l, maximal 2200 µg/l). Sie bleiben danach nach leichtem Abfall zunächst relativ konstant bei Werten um oder etwas unter 1000 µg/l, erst bei der letzten Beprobung ist ein deutlicher Abfall zu verzeichnen. Im Gegensatz zu den Kupfergehalten erreichen die Molybdängehalte mit 1150 µg/l bereits im September 2002 den höchsten Durchschnittswert. Nach deutlichem Abfall der Gehalte bis zum Sommer 2003 steigen sie zum Winter wieder sprunghaft an, so dass im Dezember mit 1600 µg/l der höchste Einzelwert erreicht wird. Die Werte bleiben im Februar 2004 zunächst hoch und fallen erst bei der folgenden Analyse deutlich ab. Die Konzentrationen bleiben jedoch weiterhin über dem Prüfwert. Bei der Müllverbrennungsasche liegt auch der Gehalt an Quecksilber zeitweise über dem Prüfwert von 1 µg/l. Bis zu 9 µg/l werden in den Sickerwässern erreicht. Zwei weitere Elemente überschreiten ihren Prüfwerte von je 10 µg/l. Zum Einen Arsen, das im Januar 2003 durchschnittlich 15 µg/l und maximal 30 µg/l aufweist, zum Anderen Antimon. Nach lange stabilen Gehalten von 10-15 µg/l steigen diese im Dezember 2003 auf durchschnittlich 30 µg/l (maximal 34 µg/l) an und fallen danach wieder leicht ab.

Das Kehrgut (KG) weist drei Elemente mit Prüfwertüberschreitungen auf. Die Zinkgehalte der Sickerwässer liegen anfangs bei durchschnittlich bis zu 1300 µg/l (maximal 2200 µg/l), danach durchgängig unterhalb des Prüfwertes, auch wenn zum Ende des Versuchszeitraumes wieder ein leichter Anstieg der Werte zu verzeichnen ist. Lediglich im Januar 2003 wird der Prüfwert bei einem Lysimeter noch überschritten. Ein langfristigeres Problem stellt der Austrag an Molybdän dar. Die Werte liegen ab Januar 2003 durchschnittlich gleichmäßig knapp über dem Prüfwert. Der Höchstwert beträgt 70 µg/l. Erst ab Februar 2004 werden die Konzentrationen geringer und der Prüfwert wird nicht mehr ganz erreicht. Einen recht konstanten Anstieg zeigen die Gehalte an Antimon im Sickerwasser. Ab Dezember 2003 sind durchschnittlich etwa 25 µg/l im Sickerwasser nachweisbar.

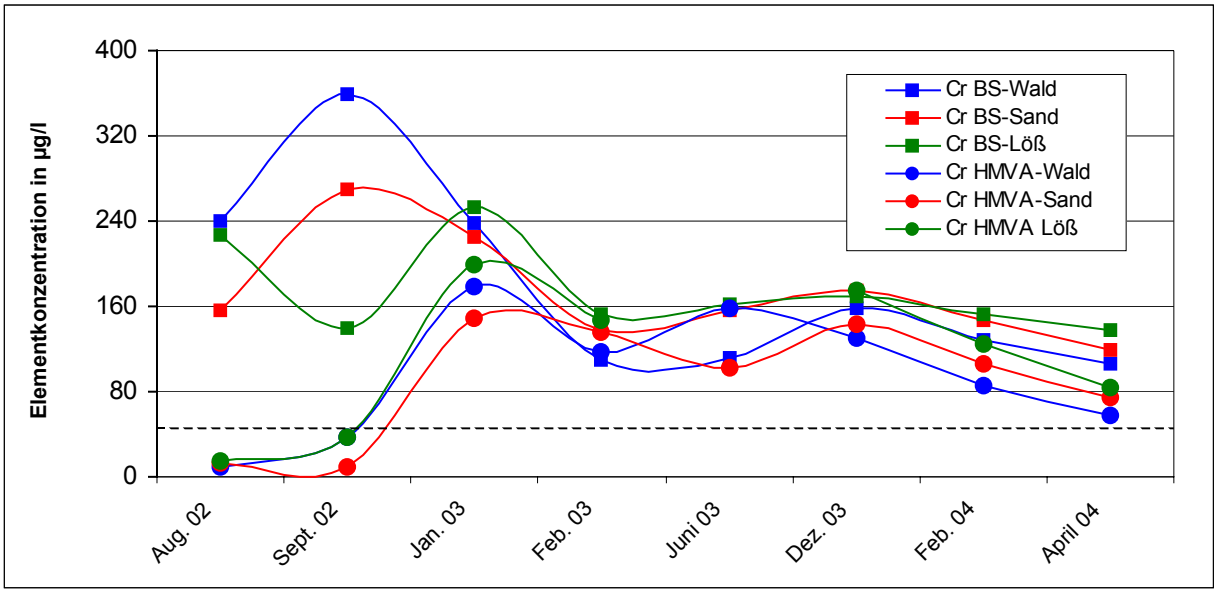


Abb. 14: Zeitliches Lösungsverhalten von Chrom bei Bauschutt und Hausmüllverbrennungsasche (Mittelwerte der drei Parallelen, Prüfwert gestrichelt)

Wenig Probleme ergeben sich beim Referenzmaterial Boden (RM Bo). Lediglich Zink weist anfangs erhöhte Werte auf. Im Durchschnitt werden bis 820 µg/l gemessen, maximal sogar 1100 µg/l. Beim Element Kupfer gibt es bei den letzten beiden Analysen eine starke Steigerung bei den mit Waldboden überdeckten Lysimetern. Im April 2004 wird hier der Prüfwert erreicht und in einem Fall sogar überschritten.

Gänzlich ohne Prüfwertüberschreitungen bleiben die Sickerwässer des Pochsandes (PS). Trotz der hohen Gesamtgehalte sind auch beim Blei keine erhöhten Werte nachzuweisen.

Ebenfalls recht unproblematisch verhält sich der Auelehm (Auel.). Nur bei der ersten Beprobung weisen einzelne Lysimeter hohe Zinkgehalte mit einem Spitzenwert von 1100 µg/l auf.

Der Gießereirestsand (GRS) weist bei seiner ersten Beprobung erhöhte Konzentrationen von Molybdän im Sickerwasser auf. Durchschnittlich bis 80 µg/l, maximal 100 µg/l sind enthalten. Im weiteren Verlauf gehen die Gehalte zunächst auf Werte um bzw. knapp unter den Prüfwert zurück. Nach dem Sommer 2003 steigen sie jedoch bei mit Waldboden bedeckten Lysimetern noch einmal auf etwa 60 µg/l an. Nachfolgend gehen die Konzentrationen dann deutlich zurück. Auch Quecksilber liegt anfangs über den Prüfwerten. Durchschnittlich sind Werte von bis zu 6 µg/l, maximal sogar 9 µg/l nachweisbar. Ab der zweiten Beprobung liegen die Werte durchweg unter der Bestimmungsgrenze.

Sehr hohe Werte sind beim Bleihüttengranulat (BHG) für das Element Antimon messbar (vgl. Abb. 18, Kap. 3.3.11). Schon bei der Probenahme im Januar 2003 weisen die mit Waldboden abgedeckten Lysimeter durchschnittlich 620 µg/l im Sickerwasser auf. Im weiteren Verlauf ist eine kontinuierliche Steigerung bis auf durchschnittlich 930 µg/l, maximal sogar 1400 µg/l im Sommer 2003 zu beobachten. Die Lysimeter mit Ackerboden-Abdeckung weisen dagegen zunächst nur geringe Antimongehalte auf. Erst bei der Beprobung im Dezember 2003 ergeben sich auch hier durchschnittlich bis zu 210 µg/l. In der darauffolgenden Beprobung steigen die Werte allgemein noch einmal sprunghaft an, so dass Durchschnittswerte bis 3000 µg/l (bei Einzelwerten bis 3660 µg/l) gemessen werden. Die Unterschiede zwischen den Abdeckmaterialien sind in Gegensatz zur Anfangsphase nur noch gering. Die Beprobung im April 2004 zeigt erstmals einen leichten Rückgang der Antimongehalte in den Sickerwässern mit Waldbodenbedeckung. Die Konzentrationen in den restlichen Sickerwässern steigen weiter deutlich. In einer nur bei den Lysimetern mit Bleihüttengranulat durchgeführten Beprobung im Juni 2004 stagnieren die Sickerwasserkonzentrationen der Waldboden-Varianten, die anderen Varianten zeigen weiter deutlich steigende Gehalte. Durchschnittlich enthalten die Sickerwässer der Sandboden-Varianten bereits 3500 µg/l Antimon (vgl. Abb. 18). Wie schon beim Gießereirestsand tritt auch beim Bleihüttengranulat das Quecksilber bei der ersten Analyse mit maximal 7 µg/l in Erscheinung, um danach durchgängig unter 1 µg/l zu bleiben. Bei der Analyse im Februar 2004 überschreitet erstmals ein Lysimeter mit Waldbodenbedeckung den Prüfwert für Arsen. Diese Tendenz setzt sich im April bei zwei Lysimetern fort. Der Höchstwert beträgt 50 µg/l bei einem Prüfwert von 10 µg/l.

<u>Betrachtung längerfristiger Mittelwerte</u>

Um eine allgemeine Abschätzung der Problematik eines Materials vorzunehmen, ist die Betrachtung von einmaligen oder kurzzeitigen Extremwerten nur bedingt sinnvoll. Der Entwicklung über einen längeren Zeitraum kommt eine größere Bedeutung zu. Betrachtet man keine Einzelwerte oder Mittelwerte von Parallelen, sondern mittelt zwischen allen Abdeckungen

und über mehrere Termine, ergibt sich ein verändertes Bild (s. Tab. 16 im Anhang). Durch die Mittelung über 18 bzw. 27 Werte der Anfangs- Mittel- und Endphase des Versuchszeitraums treten Spitzenwerte nicht mehr in Erscheinung. Während die Betrachtung von Einzelwerten den Blick für spezifische Probleme schärft, entspricht die Betrachtung von Mittelwerten eher der langfristigen Prognose des Auswaschungsverhaltens deponierter Materialien. Im Folgenden sollen daher die beiden Betrachtungsweisen verglichen werden.

Der Quarzsand (QS) weist bei Betrachtung von Mittelwerten lediglich noch bei Zink Prüfwertüberschreitungen in der Anfangs- und Mittelphase auf. Mit 2200 µg/l liegt der Durchschnittswert jedoch markant unter dem maximalen Einzelwert von 7400 µg/l. Die Prüfwertüberschreitungen einzelner Lysimeter bei Chrom, Nickel und Cadmium sind nicht mehr erkennbar.

Beim Bankettschälgut der Landstraße (BSG 1) ist die sinkende Tendenz der Zinkgehalte im Sickerwasser nach der anfänglichen Prüfwertüberschreitung deutlich zu sehen. Während die Werte durch die Mittelung in der Anfangsphase deutlich „entschärft“ werden, werden in der Endphase die Werte der Varianten durch den gemeinsamen Mittelwert von 383 µg/l gut repräsentiert. Das ist beim Bankettschälgut der Autobahn (BSG 2) nicht der Fall. Hier werden die hohen Werte im Januar 2003 (Einzelwerte bis 6400 µg/l) und bei den letzten beiden Beprobungsterminen nicht abgebildet. Die Tendenz steigender Gehalte kommt aber zum Ausdruck.

Beim Bauschutt (RM BS) kommt es durch die Mittelung in der Endphase zu einer Überschätzung bei Chrom und Kupfer, da deren Sickerwassergehalte rückläufig sind. Die Ergebnisse der Elemente Molybdän und Nickel werden zufriedenstellend abgebildet.

Die Sickerwässer der Hausmüllverbrennungsasche (RM HMVA) weisen eine hohe Schwankung im Zeitgang und auch zwischen den Varianten auf. Die tatsächlichen Konzentrationen werden daher nur unzureichend durch die Mittelwerte repräsentiert. Beispielsweise enthält der Mittelwert der Kupferkonzentrationen von 711 µg/l Werte für die einzelnen Varianten, die zwischen 275 und 1100 µg/l liegen. Hierin sind wiederum Ergebnisse einzelner Lysimeter enthalten, die zwischen 150 und 402 bzw. zwischen 956 und 1252 µg/l schwanken. Ähnliches gilt für Molybdän. Dem gemittelten Wert über die letzten drei Termine von 455 µg/l liegen Ergebnisse der Varianten von 127 bis 866 µg/l zugrunde. Die Einzelergebnisse schwanken zwischen 70 und 217 µg/l bzw. zwischen 358 und 1557 µg/l. Bei den Elementen Chrom und Antimon sind die Schwankungen deutlich geringer. Die Prüfwertüberschreitungen des Arsens treten durch die Mittelwertbildung nicht mehr in Erscheinung.

Im Unterschied zur Müllverbrennungsasche sind die Schwankungen im Zeitverlauf und zwischen den Varianten beim Kehrgut (KG) recht gering. Daher werden die zwischenzeitlichen Prüfwertüberschreitungen beim Molybdän sowie der kontinuierliche Anstieg der Werte beim Antimon gut dargestellt. Lediglich die anfänglich zu hohen Zinkgehalte verschwinden durch die Mittelwertbildung.

Beim Referenzmaterial Boden (RM Bo) werden die anfänglich erhöhten Zinkgehalte geglättet dargestellt. Selbiges gilt für die Molybdängehalte beim Gießereirestsand (GRS). Beim Auelehm (Auel.) verschwinden die hohen Zinkgehalte zu Beginn der Beprobung, da aufgrund der geringen Probenanzahl die Anfangstermine nicht betrachtet wurden.

Die mit bis zu 3600 µg/l Anfang 2004 sehr hohen Einzelwerte von Antimon im Sickerwasser des Bleihüttengranulates (BHG) werden durch die geringeren Werte im Dezember 2003 überlagert, so dass das Mittel über alle Proben um 2000 µg/l geringer ausfällt. Auch die neu aufgetretenen Prüfwertüberschreitungen bei Arsen treten noch nicht in den Mittelwerten zutage.

Abschließend lässt sich sagen, dass eine ausschließliche Betrachtung längerfristiger Mittelwerte immer dann problematisch ist, wenn stark schwankende Einzelwerte in die Berechnung eingehen und bzw. oder wenn ein eindeutiger Trend vorhanden ist, wie z.B. bei Hausmüllverbrennungsasche oder Bleihüttengranulat.

Einfluss der Anfangsphase

Insgesamt ist festzustellen, dass es in der Einstellungsphase größere Schwankungen im zeitlichen Verlauf der Elementgehalte gibt. Dies betrifft sowohl die Gehalte selbst als auch die Unterschiede zwischen den Abdeckungen. Im weiteren Verlauf ist eine Einpendelung festzustellen, die mit einer tendenziell sinkenden prozentualen Standardabweichung innerhalb der Parallelen einhergeht. Die Entwicklung hat jedoch bei einigen Lysimetern noch keine konstanten Werte erreicht. Zudem können z.B. Trockenphasen wie im Sommer 2003 die Entwicklung beeinflussen. Die Standardabweichungen steigen zum Teil wieder an. Auch hier ist das Verhalten nicht einheitlich. Während bei einigen Elementen und Materialien auch die Schadstoffkonzentrationen ansteigen, ist bei anderen Lysimetern keine Änderung oder ein weiteres Absinken der Gehalte zu verzeichnen. Auffällig ist jedoch der bei fast allen Materialien zu beobachtende tendenzielle Anstieg der Antimon-Konzentrationen über die gesamte Versuchslaufzeit (vgl. Tab. 16 im Anhang). Eine jahreszeitliche Abhängigkeit der Sickerwasserkonzentrationen, wie Lysimeterversuche von SCHEITHAUER & BERGER (2004) ergaben, konnte hier nicht bestätigt werden. Möglicherweise wäre für eine derartige Aussage eine längere Laufzeit der Lysimeter erforderlich gewesen.

Statistik

Eine statistische Auswertung ergab häufige Standardabweichungen zwischen 20 und 50% vom Mittelwert der jeweils drei identischen Lysimeter. Zwischen der absoluten Höhe der Elementgehalte im Sickerwasser und der prozentualen Standardabweichung ist kein Zusammenhang feststellbar. Im zeitlichen Verlauf nimmt die Standardabweichung tendenziell ab, steigt jedoch nach der langen Trockenphase im Sommer zum Winter 2003 wieder an und erreicht hier teilweise die bisher höchsten Werte. Zum Teil liegen diese über 100% im Vergleich zum Mittelwert. Die starke Schwankung der Standardabweichung zeigt sich sowohl im Zeitverlauf, als auch zwischen den verschiedenen Abdeckungen und den einzelnen Elementen.

Bei Mittelung über alle Termine und Betrachtung der Elemente über alle Materialien zeigt sich eine leichte Tendenz zu höheren prozentualen Standardabweichungen bei den Lößvarianten (vgl. die Tab. 17 im Anhang). Der höchste Wert ergibt sich mit durchschnittlich 43,6% Standardabweichung vom Mittelwert für die Zinkgehalte der Lößboden-Lysimeter. Lediglich 14,5% errechnen sich für das Element Chrom, ebenfalls für die Lößboden-Varianten. Die Auswertung nach einzelnen Elementen über alle Abdeckungen bringt prozentuale Standardabweichungen zwischen 17,3% vom Mittelwert für Nickel und 42,9% für Zink. Mittelt man über alle Prüf-Elemente eines Materials, zeigen die Waldboden-Varianten des Auelehmes die geringste prozentuale Standardabweichung (12,9%). Die Sand- und Lößboden-Varianten des Gießereirestsandes hingegen liefern bei dieser Betrachtung jeweils knapp 35%.

3.3.9 Frachten

Zur Auswertung der Frachten wurden die Sickerwasserkonzentrationen der einzelnen Lysimeter mit der jeweiligen Sickerwassermenge multipliziert. Die Sickerwasserkonzentrationen der Termine 3 und 4 wurden durch Mittelung der Werte von Termin 2 und 5 geschätzt. Aus den Einzelfrachten wurden die Mittelwerte der Varianten und die zugehörigen Standardabweichungen errechnet. Die Frachten wurden auf die eingebaute Masse des Materials bezogen.

Makronährstoffe

Im Vergleich zu den Spurenelementen (s.u.) sind bei den Makroelementen die Schwankungen innerhalb der Parallelen geringer (vgl. Tab. 18 im Anhang). Im Durchschnitt über alle Materialien beträgt die prozentuale Standardabweichung bei Kalium als Maximum 15,8%, bei Natrium nur 10,3% vom Mittelwert. Wie bei den Spurenelementen liegt die Standardabweichung bei den Lysimetern mit Gießereirestsand und Hausmüllverbrennungsasche am höchsten, die geringsten Standardabweichungen wurden bei Pochsand beobachtet. Im Vergleich zu den Spurenelementen liegen die Beträge mit 24,2 % bzw. 23,6 % und 5,7 % aber niedriger. Die

Abweichungen zwischen den Varianten sind - über alle Materialien betrachtet - mit durchschnittlich 11,8 % (Lößboden-Varianten) bis 16,0 % (Waldboden-Varianten) recht gering, innerhalb eines Materials gibt es jedoch große Unterschiede zwischen den Varianten. Als Beispiel kann wiederum die Müllverbrennungsasche dienen. Die prozentuale Standardabweichung vom Mittelwert schwankt zwischen 6,2 % bei den Sandboden-Varianten und 37,7 % bei den Lößboden-Varianten. Letzteres kommt vor allem durch eine Schwankung bei Magnesium zwischen 2,9 % und 110 % (Wald- bzw. Lößboden-Lysimeter) zustande.

Die freigesetzten Frachten sind bei den einzelnen Materialien und Elementen sehr unterschiedlich. Das Kehrgut gibt im Durchschnitt aller Varianten insgesamt 306 mg Calcium pro kg Festsubstanz an das Sickerwasser ab, das Bankettschälgut der Landstraße sowie Bauschutt setzen jeweils ca. 280 mg/kg frei. Der Gießereirestsand bringt es hingegen nur auf 8 mg/kg. Bei der Abgabe von Kalium nimmt der Bauschutt die Spitzenposition ein. 319 mg/kg werden im Schnitt mit dem Sickerwasser ausgetragen. Die Müllverbrennungsasche folgt mit 227 mg/kg, das Schlusslicht bildet Pochsand mit 2 mg/kg, der Gießereirestsand gibt mit 5 mg/kg jedoch nur unwesentlich mehr Kalium ab. Wiederum Kehrgut führt mit durchschnittlich 119 mg/kg die Liste bei der Freisetzung von Magnesium an. Mit 42 mg/kg folgt Pochsand mit großem Abstand. Bauschutt und Müllverbrennungsasche geben nahezu kein Magnesium an das Sickerwasser ab. Demgegenüber beträgt die Fracht an Natrium bei der Müllverbrennungsasche zum Teil mehr als 1 g/kg. Das Kehrgut gibt immerhin im Mittel noch 393 mg/kg ab. Auf lediglich 3 mg/kg kommen die Lysimeter mit Pochsand und Quarzsand.

Die Schwankung zwischen den Varianten ist unterschiedlich stark. Während bei der Müllverbrennungsasche mit fast 1,3 g/kg von den Waldboden-Lysimetern deutlich mehr Natrium freigesetzt wird als von den Lößboden-Lysimetern (735 mg/kg), sind die Unterschiede beim Gießereirestsand (ebenfalls bei Natrium) sehr gering. Alle Varianten geben im Mittel 330-335 mg/kg ab. Insgesamt geben entweder die Sand- oder die Waldboden-Lysimeter die größten Mengen an Makroelementen ab, die Lößboden-Varianten liegen selten an der Spitze.

Spurenelemente

Die Betrachtung der Spurenelementfrachten (vgl. Tab. 19 im Anhang) zeigt einige Auffälligkeiten.

Bei Betrachtung der einzelnen Prüfelemente (über alle Materialien und Varianten) fällt das Element Zink durch die mit Abstand höchste Standardabweichung im Verhältnis zum Mittelwert auf. Diese beträgt durchschnittlich annähernd 40%. Die Werte schwanken jedoch stark zwischen 6 (Bankettschälgut Landstraße, Löß) und über 110% (Gießereirestsand, Sand).

Chrom weist dagegen nur eine mittlere Standardabweichung von 13,4% auf. Die einzelnen Materialien (gemittelt über alle Elemente und Varianten) weisen ebenfalls stark unterschiedliche Standardabweichungen auf. Pochsand (PS) besitzt im Schnitt nur eine Standardabweichung von 12,6% (die ohne die hohen Werte für Zink sogar unter 10% läge), demgegenüber ergeben sich für Hausmüllverbrennungsasche (RM HMVA) und Gießereirestsand (GRS) jeweils gut 27%. Der niedrige Wert bei Pochsand ist umso auffälliger, da aufgrund der geringen Sickerwasserkonzentrationen eher höhere Abweichungen zu erwarten wären. Weniger groß ist der Unterschied zwischen den Varianten (Mittel über alle Elemente und Materialien). Hier liegt das Maximum der Standardabweichung mit 21,4% bei den Waldboden-Varianten nur vergleichsweise geringfügig über dem Minimum, das von den Sandboden-Varianten eingenommen wird (16,7%). Erwähnt werden muss auch, dass die gemittelten Standardabweichungen der Elementfrachten über den ganzen Versuchszeitraum deutlich größer sind als die Standardabweichung der Sickerwassermengen des Versuchszeitraumes. Die Erklärung der hohen Standardabweichungen der Frachten über Unterschiede in der Sickerwasserspende ist somit (allein) nicht möglich.

Die Auswertung der quantitativen Frachten ergibt deutliche Unterschiede zwischen den Materialien und Elementen. Die Austräge an Cadmium sind relativ gering, die Unterschiede zwischen den Materialien nicht groß. Lediglich die Lysimeter mit Quarzsand und hier bevorzugt die Lysimeter mit Sand- und mit Waldbodenbedeckung geben mit 7,5 bzw. 6,6 µg/kg Festsubstanz etwas höhere Mengen ab. Beim Element Kobalt setzen die Lysimeter mit Bauschutt die größten Mengen frei (bis 15 µg/kg). Lediglich die Quarzsand-Lysimeter mit Wald- und Sandboden bringen mit bis zu 18,8 µg/kg noch etwas höhere Austräge. Chrom wird sowohl von Bauschutt als auch von der Müllverbrennungsasche in größerem Umfang freigesetzt. Der Spitzenwert liegt bei knapp 200 µg/kg, wobei die Waldboden-Lysimeter gegenüber den anderen Varianten deutlich höhere Freisetzungen aufweisen. Die Referenzmaterialien Bauschutt (RM BS) und Müllverbrennungsasche zeichnen ebenfalls für die höchsten Austräge an Kupfer verantwortlich. Mit maximal 162 µg/kg gibt jedoch der Bauschutt lediglich ein Zehntel der Mengen der Müllverbrennungsasche (1,6 mg/kg, Waldboden-Variante) an das Sickerwasser ab. Wiederum Müllverbrennungsasche führt die Austräge an Molybdän an. Der Höchstwert liegt hier bei 580 µg/kg. Mit noch etwa 70 µg/kg folgen die Lysimeter mit Bauschutt und Kehrgut (KG). Nickel wird von Bauschutt (max. 52 µg/kg) und Kehrgut (max. 37 µg/kg) verstärkt abgegeben. Nur sehr geringe Mengen an Blei werden während der Versuchsperiode an das Sickerwasser abgegeben. Von den Prüfmaterialien werden durchweg nicht mehr als ca. 0,7 bis 2,2 µg/kg freigesetzt. Die Lysimeter der Blindvariante mit Quarzsand bringen dagegen

Frachten von 17 bzw. 14 µg/kg bei den Varianten Wald- bzw. Sandboden. Die Lößboden-Variante zeigt keine erhöhten Austräge. Wie bei den Sickerwasserkonzentrationen dominiert das Bleihüttengranulat die Freisetzung von Antimon. Während die anderen Materialien maximal 33 µg/kg (Kehrgut) abgeben, kam das Bleihüttengranulat (BHG) trotz der verkürzten Versuchsdauer (spätere Verfügbarkeit des Materials) auf 930 µg/kg (Waldboden-Variante) und nähert sich damit mengenmäßig den Kupferausträgen der Müllverbrennungsasche (s.o.) an. Die quantitativ größten freigesetzten Mengen verzeichnet das Element Zink. Die Bankettschälgüter nehmen hier die Spitzenplätze ein. Das Bankettschälgut der Autobahn (BSG 2) gibt insgesamt zwischen 2,7 und 4,2 mg/kg an das Sickerwasser ab. Mit 720 bis 870 µg/kg liegen die Werte des anderen Schälgutes niedriger. Mit bis zu 1,7 mg/kg sind aber auch wiederum hohe Mengen bei der Waldboden-Variante des Quarzsandes (QS) zu verzeichnen.

Bei der Betrachtung der absoluten und der prozentualen Frachten (s.u.) muss berücksichtigt werden, dass die hier errechneten Frachten auch die Mengen an Spuren- und Makroelementen enthalten, die von dem aufgebrachten Bodenmaterial abgegeben werden. Um die Frachten des Prüfmaterials zu erhalten, müssten die Frachten des Bodenmaterials abgezogen werden. Diese sind jedoch nicht bekannt und könnten nur geschätzt werden. Eine Heranziehung der Frachten der Quarzsand-Lysimeter würde keine genauen Ergebnisse liefern, weil die Sickerwassermengen zwischen diesen Lysimetern und denen mit Prüfmaterial zum Teil nicht unerheblich schwanken. Zudem wäre eine eventuelle Pufferung in den Prüfmaterialien zu beachten (siehe Kap. 3.3.15). Im Quarzsand ist dieser Effekt wesentlich unwahrscheinlicher, aber nicht ganz auszuschließen. Ein weiteres Problem stellt die Verdunstung dar. Aus dem Bodenmaterial an die Bodenlösung abgegebene Stoffe werden bei den Quarzsand-Lysimetern bei Verlassen des Bodenmaterials zum Großteil direkt mit dem Sickerwasser abgeführt. Bei einigen Prüfmaterialien besteht aber die Möglichkeit, dass aus größerer Tiefe Wasser mittels kapillarem Aufstieg wieder an die Oberfläche gelangt und verdunstet. Gerade vor dem Hintergrund des übermäßig trockenen und warmen Sommers 2003 ist dies zu erwähnen. Ein Teil bereits aus dem Boden- oder sogar dem Prüfmaterial gelöster Stoffe könnte demnach wieder nach oben befördert und eventuell sogar ausgefällt werden.

Es muss ebenfalls erwähnt werden, dass die errechneten Frachten auch die zum Teil erhöhten Frachten der Anfangsphase enthalten. Dies bedeutet für eine Schätzung der langfristigen Austräge aus den oben beschriebenen Werten eine weitere Unsicherheit.

Da die Lysimeter bewusst unbewachsenen blieben, dies aber bei Deponien normalerweise nicht der Fall ist, stellt sich die Frage, wie sich eine eventuelle Vegetation auf zu erwartende

Schadstofffrachten auswirken würde. Die Sickerwassermenge würde sich verringern, was sinkende Frachten erwarten ließe. Dieser Effekt könnte jedoch durch längere Kontaktzeiten des Sickerwassers mit dem Problemmaterial und damit verbundene eventuell höhere Konzentrationen verringert werden.

3.3.10 Löslichkeiten

Ein Vergleich der Frachten mit den Gesamtgehalten des in den Lysimetern eingebauten Materials erlaubt eine Aussage über die Löslichkeit einzelner Elemente bei den verschiedenen Prüfmaterialien (vgl. Tab. 18 und 19). Dabei wird hier nicht die Löslichkeit einzelner Verbindungen eines Elementes betrachtet, sondern deren Summe als Gesamtlöslichkeit eines Elementes. Dies liegt darin begründet, dass die genaue chemische und mineralogische Zusammensetzung der Materialien unbekannt ist.

Makronährstoffe

Von dem im Substrat enthaltenen Calcium werden beispielsweise beim Auelehm zwischen 3,4 % (Lößboden-Lysimeter) und 4,9 % (Sandboden-Lysimeter) gelöst. Beim Bankettschälgut der Landstraße sind es noch 2,5 bis 3 %. Hausmüllverbrennungsasche und Bleihüttengranulat geben hingegen mit 0,03 bis 0,05 % nur einen sehr geringen Teil ihres Calciumgehaltes ab. Bei den Quarzsand-Lysimetern werden sehr hohe prozentuale Freisetzungen erreicht, die entsprechenden Mengen können jedoch nur aus der Boden-Auflage stammen. Im Vergleich zum Calcium ergibt sich für Kalium ein anderes Bild bei den Prüfmaterialien. Hier geben Bauschutt und Müllverbrennungsasche mit 2,9 bis 3,7% bzw. 1,9 bis 3,3 % den vergleichsweise größten Anteil ihres Reservoirs ab. Der Auelehm liegt im Gegensatz zu den Verhältnissen beim Calcium mit 0,07 % freigesetztem Kalium am Ende der Liste, nur Pochsand gibt einen noch geringeren Teil (0,02 %) ab. Wieder andere Verhältnisse bei Magnesium: Bauschutt und Müllverbrennungsasche setzen nur maximal 0,002 % des Feststoffgehaltes frei, das Referenzmaterial Boden kommt immerhin auf 1,7 % bei den Lößboden- und 3 % bei den Sandboden-Lysimetern. Natrium weist im Vergleich zum Feststoffgehalt die größten Frachten auf. Der Gießereirestsand gibt während der Versuchsperiode bereits ein Drittel seines Gehaltes an das Sickerwasser ab. Mehrere andere Materialien (Bankettschälgut Autobahn, Bauschutt, Hausmüllverbrennungsasche, Kehrgut) verlieren zwischen 2,3 und 4,7 % Natrium. Lediglich 0,1 % werden demgegenüber aus dem Natrium-Reservoir des Auelehmes freigesetzt.

Spurenelemente

Die Löslichkeiten der untersuchten Spurenelemente sind erwartungsgemäß verbreitet geringer als bei den Makroelementen. Auffällig sind jedoch durchweg hohe prozentuale Austräge an

Molybdän. Besonders ist dies bei den Referenzmaterialien der Fall. Ausnahmen bilden die stark bleihaltigen Materialien Pochsand und Bleihüttengranulat. Bei Bauschutt werden demnach rund 5-7%, bei der Müllverbrennungsasche knapp 4-5% und bei Referenzmaterial Boden etwa 3% des enthaltenen Molybdäns abgeführt. Im Vergleich mit den anderen Materialien gibt der Bauschutt insgesamt im Verhältnis zu den Gesamtgehalten einen recht großen Teil an Spurenelementen an das Sickerwasser ab. Dies betrifft die Elemente Kobalt, Chrom, Kupfer, Nickel und Molybdän. Beachtenswert ist die insgesamt geringe Löslichkeit des Bleis. Die Frachten sind bei fast allen Materialien ähnlich (s.o.), so dass die Löslichkeit proportional zu den Gehalten sinkt. Die höheren Austräge der Quarzsand-Lysimeter deuten sogar auf eine Filterwirkung der Prüfmaterialien hin.

3.3.11 Einfluss der Art der Abdeckung auf das Lösungsverhalten

Der Einfluss der Überdeckung auf die Schadstoffgehalte der Sickerwässer ist anhand der analysierten Proben insgesamt als gering zu bezeichnen. Dies gilt jedoch nicht uneingeschränkt. Es gibt durchaus Materialien und Elemente, die auf die Art der Überdeckung – wenn auch nur in geringem Umfang - reagieren. Zudem ist der Einfluss der Überdeckung nicht einheitlich und schwankt zum Teil im Laufe der Zeit. Die Lysimeter mit Referenzmaterial Boden liefern zunächst mit Sandboden-Überdeckung die höchsten Zinkgehalte. Im weiteren Verlauf gleichen sich die Gehalte an. Die letzten beiden Analysen zeigen bei den Lysimetern mit Waldboden-Überdeckung die höchsten Konzentrationen (Abb. 15).

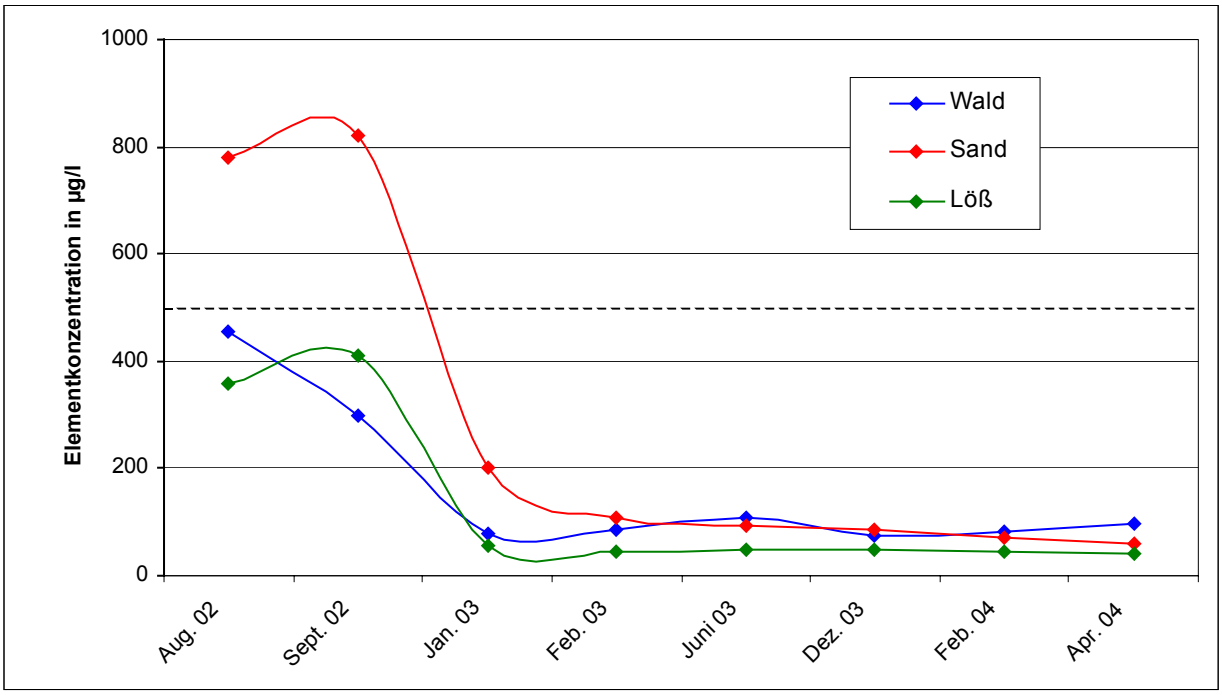


Abb. 15: Zeitliches Lösungsverhalten von Zink bei Referenzmaterial Boden bei unterschiedlicher Abdeckung (Mittelwerte der drei Parallelen, Prüfwert gestrichelt)

Bei den Lysimetern mit Bauschutt ist das Ergebnis beim Element Kupfer umgekehrt. Zunächst ergeben die Waldboden-Varianten die höchsten Gehalte. Ab Januar 2003 ist jedoch mit Ausnahmen eine Dominanz der Lysimeter mit Lößboden festzustellen (Abb. 16).

Auch einige Fälle, in denen Lößboden-Lysimeter die höchsten Konzentrationen eines Elementes zeigen, wurden beobachtet. Dies ist beispielsweise bei Kobalt und Kehrgut durchgehend – wenn auch zum Ende der Versuche auf niedrigem Niveau - der Fall (Abb. 17). Zum Teil zeigen Lysimeter mit Lößboden verzögertes Lösungsverhalten, so z. B. bei Kobalt und Kupfer bei Bauschutt sowie Molybdän und besonders Antimon bei Bleihüttengranulat (s.u.).

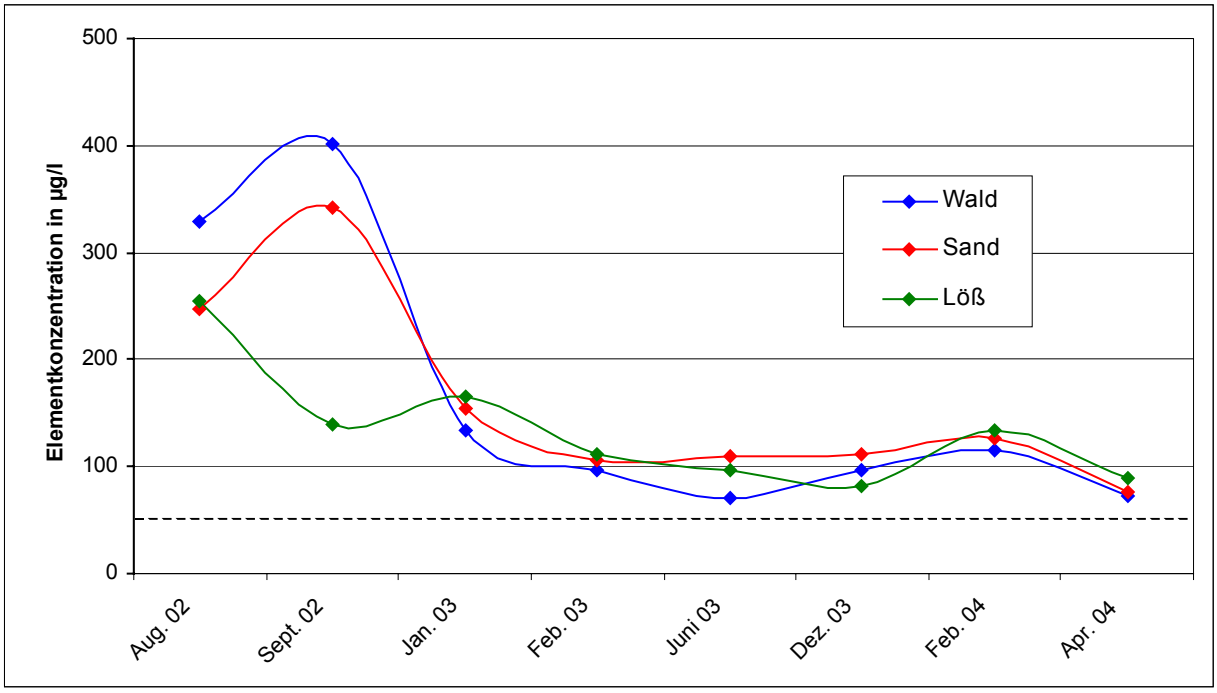


Abb. 16: Zeitliches Lösungsverhalten von Kupfer bei Referenzmaterial Bauschutt bei unterschiedlicher Abdeckung (Mittelwerte der drei Parallelen, Prüfwert gestrichelt)

Insgesamt treten jedoch in den meisten Fällen, in denen Abhängigkeiten zu beobachten sind, die Waldboden-Lysimeter mit den höchsten Elementkonzentrationen hervor (u.a. Kupfer bei Bankettschälgut Landstraße). Besonders deutlich ist dies bei den Antimon-Konzentrationen im Sickerwasser des Bleihüttengranulates (Abb. 18). Die Konzentrationen liegen schon bei der zweiten Analyse bei Waldboden über 600 µg/l, während die anderen Lysimeter unter 10 µg/l liefern. Erst bei der Analyse im Dezember 2003 beginnt eine Annäherung an die Waldboden-Lysimeter die aber noch immer ein Vielfaches an Antimon ins Sickerwasser abgeben. Erst beim vorletzten Termin geben die Waldboden-Lysimeter - nach einem insgesamt allgemeinen sprunghaften Anstieg auf bis zu 3000 µg/l - ihre Spitzenposition an die Sandboden-Lysimeter ab (Abb. 18).

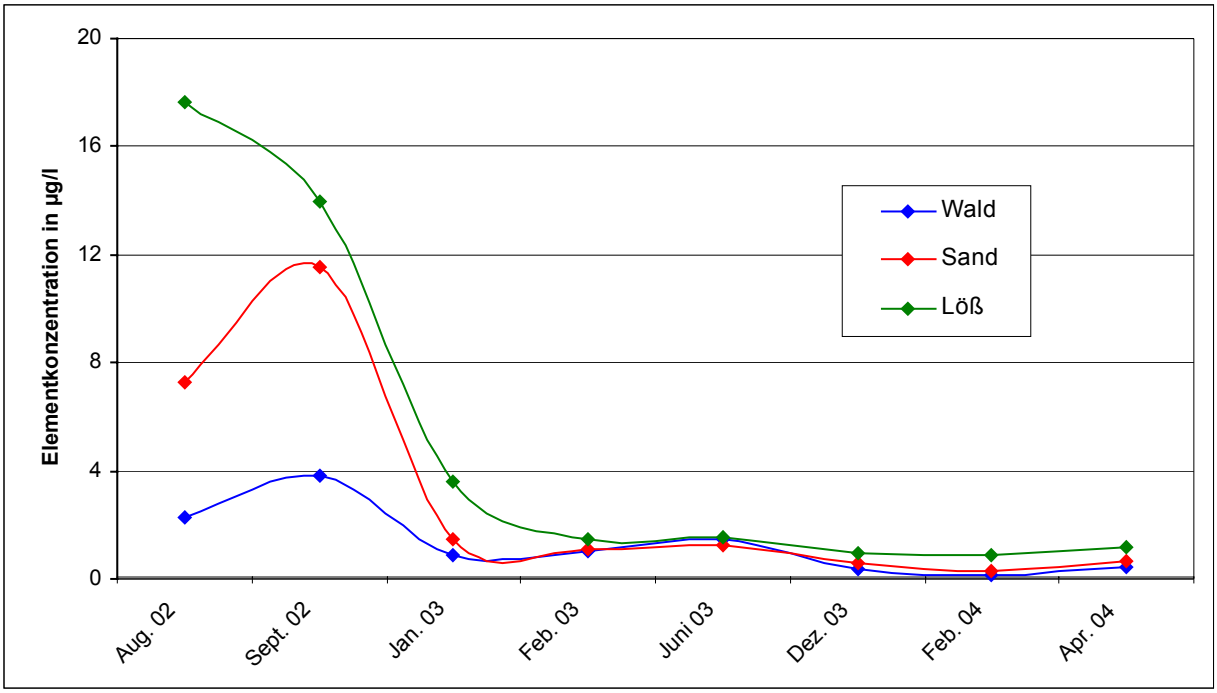


Abb. 17: Zeitliches Lösungsverhalten von Kobalt bei Kehrgut bei unterschiedlicher Abdeckung (Mittelwerte der drei Parallelen, Prüfwert außerhalb des Darstellungsbereiches)

Während die Antimonkonzentrationen im Sickerwasser der Sand- und Lößboden-Lysimeter weiter ansteigen, findet bei den Waldboden-Lysimetern ein Rückgang mit anschließender Stabilisierung bei gut 2000 µg/l statt. Abgesehen von diesem Fall tritt eine Abhängigkeit von der Art der Überdeckung bei den Lysimetern der Blindvariante am deutlichsten auf. Auffällig ist hier, dass bei den ersten beiden Probenahmen meist noch die Sandboden-Lysimeter, danach dann die Waldboden-Lysimeter den Schadstoffaustrag anführen. Bei den Spurenelementgehalten im Sickerwasser handelt es sich hier höchstwahrscheinlich um Bestandteile der Überdeckung, da es bisher keine Hinweise auf den Quarzsand als Quelle für die Schadstoffe gibt. Damit deckt sich auch die leichte Tendenz zu höheren Schadstoffgehalten bei Waldbodenüberdeckung, die besonders an Materialien mit geringer eigener Pufferkapazität gebunden ist.

In Fällen mit insgesamt geringen Werten sind etwaige Abweichungen zwischen den einzelnen Abdeckungen nicht aussagekräftig, da sie nur schwer von der natürlichen Schwankung zu unterscheiden sind.

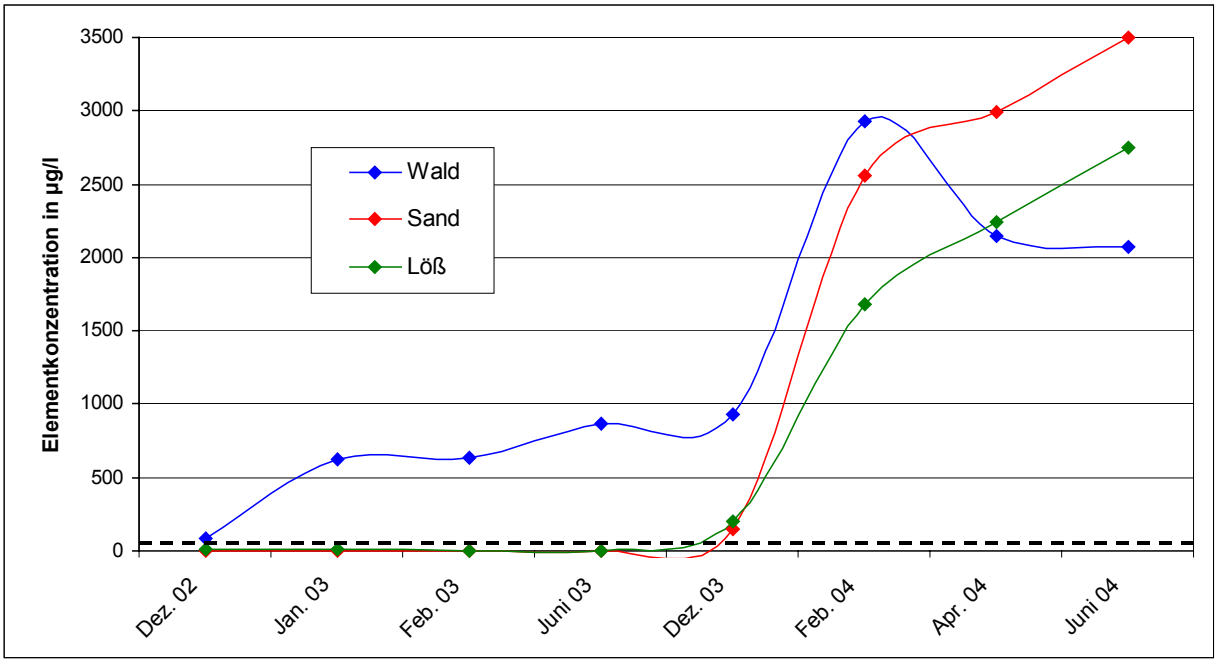


Abb. 18: Zeitliches Lösungsverhalten von Antimon bei Bleihüttengranulat in Abhängigkeit unterschiedlicher Abdeckung (Mittelwerte der drei Parallelen, Prüfwert gestrichelt)

3.3.12 Auswirkung von DOC-Gehalt, pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit auf die Elementkonzentrationen im Sickerwasser

Aus den Korrelationskoeffizienten (vgl. Tab. 20 im Anhang) ist kein eindeutiger Zusammenhang zwischen DOC-Gehalt und den Elementkonzentrationen im Sickerwasser ableitbar. Die Werte schwanken stark und wechseln häufig das Vorzeichen. Knapp 40% der Werte sind negativ. Lediglich bei den Elementen Kupfer und Blei tritt jeweils nur bei einem Material ein negativer Korrelationskoeffizient auf. Die höchste Anzahl negativer Korrelationskoeffizienten tritt bei den Elementen Calcium, Zinn und Strontium auf. Bei Betrachtung der Materialien zeigt das Bankettschälgut der Autobahn insgesamt bei 14 der 18 betrachteten Elemente negative Korrelationskoeffizienten. Bei Bauschutt hingegen sind 15 Werte positiv. Nur gut 10% aller Korrelationskoeffizienten liegen über 0,6, 2% über 0,8. Bis auf zwei Ausnahmen sind diese Werte alle positiv. Die eindeutigste Korrelation trat mit einem Koeffizienten von 0,92 bei der Kupferkonzentration des Referenzmaterials Boden auf. Insgesamt ergibt sich eine ganz schwache Tendenz zu einem positiven Zusammenhang zwischen DOC-Gehalt und Elementkonzentration.

Die Auswertung der pH-Werte ergibt ebenfalls keinen eindeutigen Bezug zu den Sickerwassergehalten. Die Korrelationskoeffizienten sind meist niedrig, lediglich 8% der Werte liegen oberhalb von 0,6. Der höchste Korrelationskoeffizient ergibt sich mit –0,77 bei der Hausmüllverbrennungsasche beim Element Strontium. Insgesamt sind positive und negative Werte fast gleichverteilt. Die Elemente Zink und Barium weisen mit 10 bzw. 9 von 11 negativen Werten

tendenziell eine negative Korrelation auf. Arsen sowie Kupfer, Blei und Antimon, sind tendenziell positiv korreliert (nur 2 bzw. 3 negative Werte). Bezüglich der einzelnen Materialien geht die Tendenz bei Quarzsand sowie Müllverbrennungsasche und Bleihüttengranulat in Richtung negativer Korrelation (14 bzw. 13 negative Korrelationskoeffizienten). Das Bankettschälgut der Landstraße sowie Pochsand weisen hingegen jeweils 14 positive Werte auf. Aufgrund der meist sehr niedrigen Werte lassen sich jedoch keine Abhängigkeiten ablesen.

Erwartungsgemäß fallen die Korrelationskoeffizienten zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und den Elementkonzentrationen deutlicher aus. Für die Elemente Barium, Calcium, Kalium, Magnesium, Natrium und Strontium mit ihrem meist dominierenden Anteil an der Ionenfracht ergeben sich fast durchweg (> 90%) positive Korrelationskoeffizienten. Hiervon liegen mehr als 70% über 0,6, 44% sogar über 0,8. Besonders deutlich fällt die positive Korrelation von Calcium und Strontium auf. Beim Vergleich der Materialien fällt der Auelehm mit den höchsten Korrelationskoeffizienten auf. Bei Calcium und Magnesium wird sogar ein Wert von 1,0 erreicht.

Bei den relevanten Spurenelementen ist das Bild weniger klar. 40% der Werte sind negativ, lediglich 12% liegen über 0,6. Bei Kobalt, Molybdän, Nickel, Zinn und Zink deutet sich eher eine positive, bei Kupfer und Antimon eine negative Korrelation zur elektrischen Leitfähigkeit an. Besonders der Auelehm fällt bei den Spurenelementen durch häufig negative Werte auf.

Insgesamt zeichnen sich somit die Elemente der ersten und zweiten Hauptgruppe erwartungsgemäß durch eine hohe positive Korrelation zur elektrischen Leitfähigkeit aus, bei den Spurenelementen sind keine Gesetzmäßigkeiten erkennbar.

3.3.13 Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Lösungsverhaltens einzelner Elemente bei verschiedenen Materialien

Das Lösungsverhalten eines Elementes ist bei den verschiedenen Materialien nicht einheitlich. Zwar sind die Tendenzen häufig ähnlich, aber der zeitliche Verlauf variiert zum Teil recht stark. Während beispielsweise Kobalt in den Sickerwässern der Lysimeter mit Bankettschälgut Landstraße langsam und mehr oder weniger kontinuierlich ansteigt, bleiben die Kobaltgehalte der Lysimeter mit Kehrgut zunächst stabil auf niedrigem Niveau um dann zum Ende der Versuchsphase sprunghaft anzusteigen. Ein weiteres Beispiel ist hier Kupfer bei den Materialien Bankettschälgut Autobahn und Kehrgut. Beide Materialien weisen ähnliche Anfangs- und Endwerte der Kupfergehalte auf, der zeitliche Verlauf der Konzentrationen unterscheidet sich jedoch. Während das Bankettschälgut der Autobahn die Endwerte nach zwischenzeitlichem

starken Anstieg und nachfolgendem Rückgang erreicht, zeigen die Konzentrationen der Kehrgut-Lysimter einen mehr oder weniger kontinuierlichen Anstieg.

Es lassen sich aber auch Fälle gegenläufiger Tendenzen finden. Die Gehalte an Molybdän im Sickerwasser des Auelehms oder des Pochsandes steigen im Laufe der Zeit an, beim Gießereirestsand sind die Konzentrationen deutlich rückläufig. Eine gegenläufige Tendenz ergibt sich auch bei den Zinkgehalten der Sickerwässer der beiden Bankettschälgüter. Das Bankettschälgut der Landstraße zeigt von hohen Anfangswerten deutlich fallende Gehalte, während beim Bankettschälgut der Autobahn zunächst vergleichsweise niedrige Werte gemessen werden. Erst im weiteren Verlauf des Versuches zeigt sich ein insgesamt deutlicher Anstieg der Werte (vgl. Abb. 13, Kap. 3.3.8).

Insgesamt sind die Schadstoffgehalte überwiegend rückläufig. Im Gegensatz dazu muss neben den bereits beschriebenen Beispielen jedoch noch das Element Antimon erwähnt werden. Hier steigen die Werte im Laufe der Zeit überwiegend an (vgl. auch Tab. 16 im Anhang).

Eine weitere Auffälligkeit ist der verbreitete Anstieg der Elementkonzentrationen während (z. B. bei Nickel) oder nach (z. B. bei Chrom) der sommerlichen Trockenphase des Jahres 2003.

3.3.14 Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Lösungsverhaltens einzelner Materialien bei verschiedenen Elementen

Bei einigen Materialien zeigen verschiedene Elemente ähnliches zeitliches Lösungsverhalten. Dies sind beispielsweise beim Bankettschälgut der Landstraße die Gruppen Cadmium, Kobalt, Molybdän und Nickel sowie gegenläufig Chrom und Antimon. Ein durchgehend bei allen Materialien ähnliches Verhalten bestimmter Elemente ist jedoch nicht festzustellen.

3.3.15 Pufferkapazität

Da, wie beschrieben, die Lysimeter der Blindvariante mit Quarzsand hohe Schadstoffgehalte liefern, stellte sich die Frage nach deren Herkunft. Der regelmäßig untersuchte Niederschlag scheidet als Quelle aus. Zur Kontrolle wurde nachträglich ein weiteres Lysimeter nur mit Quarzsand ohne Überdeckung eingebaut. Dieses zeigte keine erhöhten Schadstoffgehalte im Sickerwasser. Somit müssen die mit dem Sickerwasser der Quarzsand-Lysimeter ausgetragenen Schadstoffe aus der Abdeckung stammen. Weiteres Indiz hierfür ist die Tatsache, dass in jedem Lysimeter unter dem Prüfmaterial jeweils 20 cm Quarzsand als Filterstrecke für Schwebstoffe eingebaut wurden, was sich entsprechend auf alle Sickerwässer auswirken müsste, sollte der Quarzsand als Quelle für die gemessenen Schadstoffgehalte fungieren.

Aufgrund der teilweise höheren Austräge der Quarzsand- im Vergleich zu den Abfallstoff-Lysimeter muss also bei letzteren eine Pufferung der aus dem Abdeckmaterial eingetragenen Schadstoffe erfolgen. Um näherungsweise eine Aussage über das Ausmaß der Pufferung bzw. der Freisetzung von Schadstoffen bei den einzelnen Abfallmaterialien machen zu können, wurden die Lösungs-Einträge aus der Abdeckung von den Gehalten am Lysimeterauslauf abgezogen. Dazu wurde über die drei Parallelen eines Materials mit demselben Bodenmaterial sowie über die drei letzten Termine gemittelt. Als Einträge aus der Abdeckung sind als Näherung entsprechend die gemittelten Ausläufe aus den Quarzsand-Lysimetern verwendet worden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 21 im Anhang dargestellt.

Im Folgenden soll kurz auf das Verhalten der einzelnen Elemente und Materialien eingegangen werden.

Arsen, das mit dem Sickerwasser aus der Auflage in das Prüfmaterial eingetragen wird, wird von den meisten Materialien gepuffert, lediglich Bankettschälgut Landstraße (BSG 1), Müllverbrennungsasche (RM HMVA), Gießereirestsand (GRS) und Bleihüttengranulat (BHG) weisen bei einigen Varianten leicht positive Differenzen auf. Beachtet werden muss aber, dass die Einträge aus der Auflage bei den Varianten Waldboden und Sandboden sehr gering sind. Cadmium aus der Auflage wird von nahezu allen Materialien gepuffert. Auf die mit Lößboden bedeckten Lysimeter trifft dies teilweise nicht zu, da hier die Freisetzung aus der Auflage nur sehr gering ist. Bei Kobalt besteht bei allen Materialien eine Pufferkapazität von mindestens 20 µg/l. Das lässt sich am Beispiel des Bauschuttes (RM BS) zeigen. Alle Varianten geben 8 bis 10 µg/l Kobalt an das Sickerwasser ab. Diese stammen aus dem Material, da die Sickerwasserkonzentration unabhängig vom Eintrag aus der Auflage (0,15 bis 20,7 µg/l) ist. Das mit dem Sickerwasser freigesetzte Kobalt kann somit nur aus dem Material stammen, sonst dürften die Lysimeter ohne Eintrag aus der Auflage kein Kobalt abgeben. Bei den anderen Lysimetern wird eingetragenes Kobalt vollständig gepuffert. Das Element Chrom verhält sich etwas anders. Hier zeigen nur das Referenzmaterial Boden (RM Bo), Pochsand (PS), Auelehm (Auel.) und Bleihüttengranulat teilweise eine geringe Pufferkapazität. Alle anderen Materialien geben durchgehend mehr Chrom an das Sickerwasser ab, als eingetragen wird. Für das Element Kupfer ergibt sich bei den Materialien Pochsand, Auelehm, Gießereirestsand, Bleihüttengranulat sowie Referenzmaterial Boden eine meist geringe Pufferung. Die Gehalte an Molybdän im Sickerwasser (mit Ausnahme der Materialien Müllverbrennungsasche, Kehrgut (KG) und Referenzmaterial Boden) sind bei allen Varianten ähnlich. Bei den anderen Materialien ergeben sich zwar Unterschiede zwischen den Varianten, eine Abhängigkeit von den Einträgen aus der Abdeckung ist jedoch nicht zu erkennen. Eine Pufferung von

Molybdän findet nicht statt, alle Materialien fungieren als Quelle. Nickel wird bei einem Großteil der Materialien (Ausnahme Bauschutt) gepuffert. Dabei ist das Ausmaß der Pufferung abhängig von der Höhe des Eintrages. Je höher der Eintrag, desto höher die Pufferung. In einigen Fällen bleibt die Pufferung auch auf die Fälle hoher Einträge beschränkt. Die Konzentrationen am Lysimeterauslauf sind dabei über alle Varianten relativ konstant. Blei taucht nur im Sickerwasser des Bleihüttengranulates in geringem Ausmaß auf. Entsprechend werden die hohen Einträge (23 µg/l) aus der Waldboden-Auflage von allen Materialien gepuffert. Die Antimongehalte sind in den Ausläufen der Quarzsand-Lysimeter mit unter 1 µg/l sehr gering, so dass über eine Pufferkapazität der Materialien gegenüber diesem Element wenig ausgesagt werden kann. Nur bei Bauschutt deutet sich ein Rückhaltevermögen an. Ähnliches gilt für das Element Zinn, dessen Gehalte im Sickerwasser sowohl der Lysimeter mit Prüfmaterial als auch mit Quarzsand im Bereich der Bestimmungsgrenze liegen, so dass anhand der vorliegenden Daten keine Aussage über eine eventuelle Pufferung gemacht werden kann. Bis auf die Bankettschälgüter sind alle Materialien in der Lage, Zink aus dem Sickerwasser abzupuffern. Besonders ausgeprägt ist dieses Vermögen bei den Referenzmaterialien Bauschutt und Müllverbrennungsasche, die kaum Zink in das Sickerwasser abgeben. Bei den anderen Materialien ist das Ausmaß der Pufferung häufig abhängig vom Betrag des Eintrages. Die Sickerwasserkonzentrationen am Lysimeterauslauf sind bei Waldboden-Lysimetern mit dem höchsten Eintrag aus dem Oberboden oftmals höher als bei den anderen Varianten.

Bei Beurteilung obiger Ergebnisse muss bedacht werden, dass die Wassermengen, die aus der Auflage in das Prüfmaterial eintreten, möglicherweise größer sind, als diejenigen, die unten wieder austreten, da in bindigerem Material als dem Quarzsand kapillarer Aufstieg und damit Verdunstungsverluste auftreten können. Somit wären die Pufferkapazitäten potentiell eher größer als kleiner, da bei einer Verkleinerung der Wassermenge die Konzentrationen ansteigen. Darüber hinaus gilt das bereits am Ende von Kapitel 3.3.10 gesagte.

Zudem ist bei der Betrachtung zu beachten, dass aus den oben beschriebenen Verhältnissen zwischen Eintrag aus den Abdeckmaterialien und den Gehalten im Sickerwasser nur bedingt auf das Ausmaß einer Pufferkapazität geschlossen werden kann. Dies wäre nur möglich, wenn das jeweilige Material frei von dem betrachteten Element wäre.

Auch sind die Bedingungen im Prüfmaterial andere als in der Auflage bzw. in dem in die Prüfmaterialien eintretenden Sickerwasser aus der Abdeckung. Entscheidend für den Betrag der Pufferung und Freisetzung ist das Milieu im Prüfmaterial. Letzteres kann sich im Laufe der Zeit verändern, was zu einer Veränderung des Festsetzungs- und Lösungsvermögens

führt. Der Gehalt an Schadstoffen im Sickerwasser ist demnach abhängig vom jeweiligen Elementgehalt im Feststoff, der eingetragenen Menge in das Material sowie dem Milieu (pH, DOC- und CO_2-Gehalt, etc.) im Material, das sich aus Eigenmilieu und dem Milieu des aus dem Abdeckmaterial zugeführten Wassers ergibt.

Bei den betrachteten Mittelwerten der letzten drei Probenahmen scheinen manche Materialien ein gewisses Transportvermögen aufzuweisen (z.B. Nickel bei Pochsand ca. 2 µg/l). Höhere Gehalte aus der Auflage werden gepuffert. Der Wert muss jedoch nicht unbedingt über die Zeit konstant bleiben. An seiner Entwicklung könnten Veränderungen des Milieus sowie an der Materialoberfläche (GERTH 2001) beteiligt sein.

3.3.16 Vergleich der Gehalte im Sickerwasser der Lysimeter mit Gehalten natürlicher Grundwässer

Ein Vergleich zwischen den Sickerwassergehalten und unbelasteten Grundwässern zeigt deutlich element- und materialspezifische Unterschiede (vgl. Tab. 22 und Abb. 19a und b). Verwendet wurden Mittelwerte aus 97 (Ausnahme Arsen: 61) Grundwasserproben nach BIELERT (1999).

Alle Materialien zeigen hohe Faktoren bei den Elementen Antimon, Kupfer und Zinn. Bei den Boden- bzw. bodenähnlichen Materialien kommt noch Zink hinzu. Arsen, Cadmium und Blei hingegen fallen nur selten durch höhere Faktoren auf.

Die Materialien selbst weisen jeweils ein oder mehrere dominierende Elemente auf. Dies sind z.B. Zink beim Bankettschälgut der Autobahn, Kupfer und Chrom bei Bauschutt bzw. Kupfer und Antimon bei Müllverbrennungsasche sowie Antimon bei Kehrgut, Auelehm und Bleihüttengranulat.

Die Faktoren bei einzelnen Elementen und Materialien erstrecken sich über einen weiten Bereich. Mit einem Faktor von mehr als 26.000 überschreitet das Antimon im Sickerwasser des Bleihüttengranulates die Grundwassergehalte. Mit einem Faktor von 773 folgt Kupfer bei der Hausmüllverbrennungsasche und wiederum Antimon beim selben Material. Die Müllverbrennungsasche weist auch im Schnitt die höchsten Überschreitungen auf (Faktor 112). Lediglich das Bleihüttengranulat kommt durch den Extremwert beim Antimon auf höhere Werte. Mit im Schnitt unter 5 sind die geringsten Überschreitungen beim Referenzmaterial Boden und dem Pochsand zu verzeichnen. Die Lysimeter mit Quarzsand und der Bodenüberdeckung kommen hingegen im Schnitt immerhin auf einen Faktor von knapp 10. Bei den Elementen führt ebenfalls Antimon die Liste an. Das Element macht sich beim Vergleich mit dem Grundwasser noch stärker bemerkbar als beim Vergleich mit den Prüfwerten. Mit Ausnahme des Bauschut-

tes werden bei allen Materialien die Vergleichswerte des Grundwassers deutlich überschritten. Arsen, Cadmium und Blei weisen dagegen nur durchschnittliche Faktoren von maximal 3 auf. Bei der Betrachtung von Durchschnittswerten sind immer Ausreißerwerte (wie bei Bleihüttengranulat, s.o.) zu berücksichtigen.

Bei Verwendung der Faktoren dürfen die absoluten Gehalte im Sickerwasser nicht außer Acht gelassen werden. Bei einigen Elementen, die im Grundwasser nur in sehr geringen Konzentrationen vorhanden sind (z.B. Zinn) können auch höhere Faktoren noch unbedenkliche Gehalte repräsentieren. Zu erwähnen ist auch, dass die verwendeten Mittelwerte der Grundwässer über den jeweiligen Medianwerten liegen. Eine Verwendung der Medianwerte würde folglich zu höheren Faktoren führen.

Je nachdem, welche Werte für die Spurenelementkonzentrationen im Grundwasser verwendet werden (die Werte von BIELERT stammen aus dem pH-Bereich >6,0, lediglich für Quarzsand <5,0) erhält man leicht abweichende Faktoren. Deshalb bleibt der Vergleich exemplarisch. Das gilt auch deshalb, da je nach Beschaffenheit des Grundwasserleiters eine regional differierende Zusammensetzung des natürlichen, unbelasteten Grundwassers zu erwarten ist (vgl. z.B. NLFB 2003).

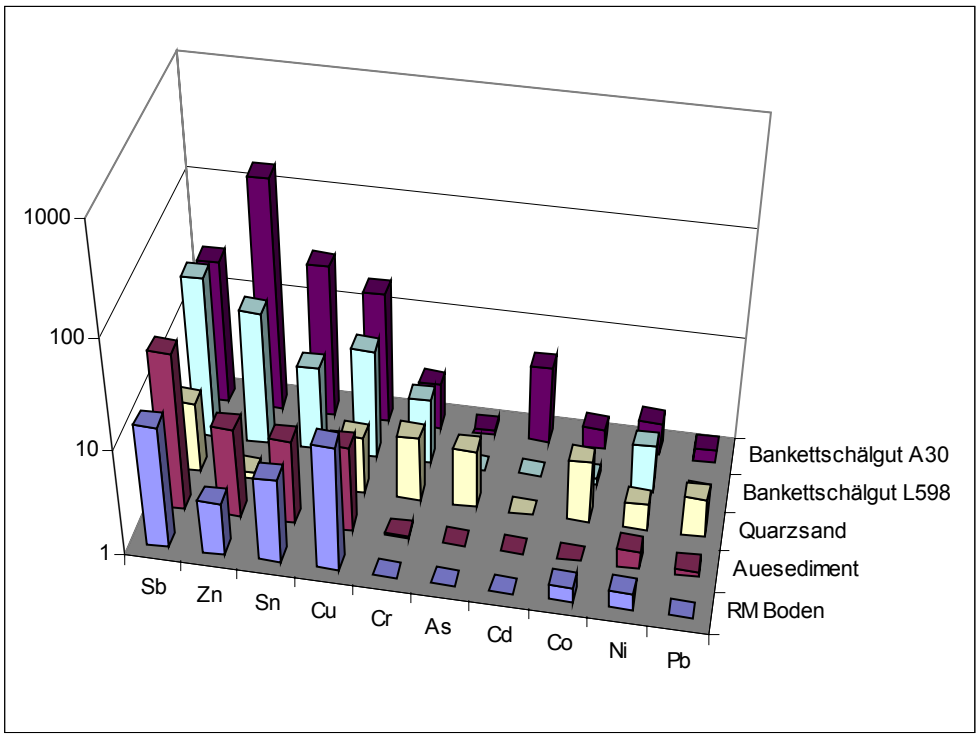


Abb. 19a: Faktoren der Elementgehalte im Sickerwasser relativ zu Konzentrationen in natürlichen Grundwässern (Daten aus BIELERT (1999))

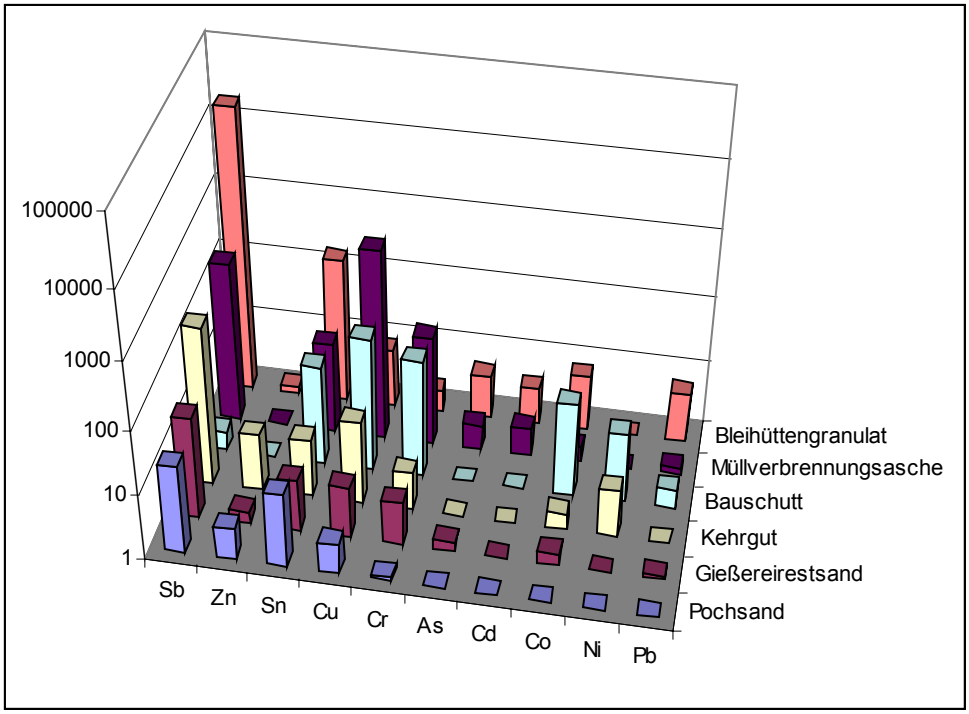


Abb. 19b: Faktoren der Elementgehalte im Sickerwasser relativ zu Konzentrationen in natürlichen Grundwässern (Daten aus BIELERT (1999))

3.4 Ermittlung der Quellstärke nach DIN

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Elutionsverfahren nach DIN vorgestellt. Bezug wird dabei auf vergleichbare Untersuchungen an verschiedenen natürlichen Böden (BIELERT 1999, BIELERT et al. 1999) genommen und, soweit vorhanden, auf die Prüfwerte der BBODSCHV (Tab. 34). Die Einzelergebnisse sind den Tabellen 23 bis 26 im Anhang zu entnehmen.

3.4.1 Eluierbarkeit mit Wasser (DIN 38414-4)

Die untersuchten Bankettschälgüter zeigen im Eluat des Schüttelversuchs (S4) teilweise erhöhte Werte (vgl. Tab. 23a im Anhang). Die Eluatwerte des Bankettschälgutes der Autobahn überschreiten zudem mit 64 bzw. 950 µg/l die Prüfwerte für Kupfer und Zink. Im Vergleich zu Eluaten natürlicher Böden sind aber auch die Werte für Cadmium, Mangan und Blei erhöht. Letztere bleiben nur knapp unter dem Prüfwert. Der Bauschutt erbringt zwar erhöhte Eluatgehalte bei Chrom und Strontium, aber lediglich der Eluatgehalt von Nickel kommt an den Prüfwert von 50 µg/l heran. Dagegen sind bei der Elution der Müllverbrennungsasche die Prüfwerte für Kupfer (134 µg/l), Molybdän (53 µg/l) sowie Antimon (16 µg/l) überschritten, erhöht ist zusätzlich der Gehalt an Chrom. Ebenfalls beim Antimon ist der Prüfwert im Eluat des Kehrgutes überschritten. Hohe Werte ergeben sich hier auch beim Mangan. Auelehm, Gießereirestsand und Referenzmaterial Boden bleiben ohne Prüfwertüberschreitungen, bei

letzterem sind jedoch die Uranwerte im Eluat vergleichsweise hoch. Blei ist ein Problemelement bei den Materialien Pochsand und Bleihüttengranulat. Der Pochsand weist 93 µg/l, das Bleihüttengranulat 204 µg/l im Eluat auf. Bleihüttengranulat zeigt zudem Prüfwertüberschreitungen bei Arsen (47 µg/l) und Antimon (144 µg/l). Ohne erhöhte Werte zeigt sich das Eluat des Quarzsandes, dafür gibt es beim A-Horizont des Waldbodens eine Prüfwertüberschreitung bei Blei.

3.4.2 Ammoniumnitratextrakt (DIN 19730)

Die Anwendung des Ammoniumnitratextraktes (ANE) auf die Prüfmaterialien liefert im Vergleich zu entsprechenden Eluaten natürlicher Böden ebenfalls erhöhte Werte (vgl. Tab. 24a im Anhang). Dies trifft sogar häufiger zu, als bei den Eluaten des S4-Versuches. Beide Bankettschälgüter weisen erhöhte Kupfergehalte im Eluat auf, beim Bankettschälgut der Autobahn kommen noch Chrom und Zink hinzu. Im Eluat des Bauschuttes sind ebenfalls die Elemente Chrom, Kupfer, Zink, sowie Molybdän mit erhöhten Werten vertreten. Besonders hohe Werte brachte die Elution der Müllverbrennungsasche. Neben den beim Bauschutt erwähnten Elementen sind hier auch noch Arsen, Cadmium und Antimon stark im Eluat vertreten. Der Kupfergehalt des Eluates ist mit 104 mg/l (!) so hoch, dass eine Blaufärbung der Lösung auftritt. Kehrgut erbringt hohe Eluatgehalte bei den Elementen Kupfer, Molybdän und Zink, Kupfer ist auch beim Referenzmaterial Boden und dem Pochsand erhöht vorhanden. Bei letzterem Material sind zudem knapp 2 mg/l (!) Blei im Eluat enthalten, verglichen mit den Werten des Bleihüttengranulates (93 mg/l (!)) aber ein eher geringer Wert. Neben Blei sind hier auch diverse andere Elemente im Eluat hoch konzentriert. Arsen, Cadmium, Kupfer, Molybdän, Nickel, Antimon sowie Zink sind zu nennen.

Sogar der Quarzsand und die verwendeten Böden liefern im Vergleich zu den Eluaten natürlicher Böden bei BIELERT (1999) einzelne erhöhte Werte. Dies sind Chrom bei Sandboden, Kupfer bei Quarzsand und Sandboden, Blei bei Quarzsand und Waldboden sowie Zink bei Quarzsand, Wald- und Sandboden.

3.4.3 Bodensättigungsextrakt (DIN V 19735, Anhang A.2)

Mit dem Bodensättigungsextrakt (BSE) lassen sich vergleichbar hohe Spurenelementgehalte in den Extrakten erreichen (vgl. Tab. 25a im Anhang). Vielfach werden auch die Prüfwerte der BBODSCHV überschritten. Das Bankettschälgut der Landstraße bereitet danach Probleme bei den Elementen Chrom, Kupfer, Nickel, Blei, Antimon und Zink. Die Werte für Kupfer und Nickel liegen dabei mit 613 µg/l bzw. 191 µg/l deutlich über dem Prüfwert. Das Bankettschälgut der Autobahn zeigt ähnliche Konzentrationen. Im Vergleich liegt die Chromkonzent-

ration im Extrakt hier zwar etwas unter dem Prüfwert, dafür ist der Prüfwert für Cadmium überschritten. Zudem ist der Gehalt an Zink mit 9,4 mg/l (!) sehr hoch. Der Bauschutt zeigt hingegen lediglich hohe Konzentrationen bei den Elementen Cadmium, Chrom, Molybdän und Kupfer. Wesentlich stärker belastet ist die Müllverbrennungsasche. Neben Kupfer mit 2,2 mg/l (!) und Molybdän (1 mg/l (!)) sind auch die Prüfwerte für Arsen, Cadmium, Chrom, Blei und Antimon überschritten. Als Problemelement erweist sich beim Kehrgut vor allem das Kupfer mit einer Konzentration von 1 mg/l (!) im Extrakt. Darüber hinaus sind die Prüfwerte für Molybdän, Nickel, Antimon und Zink überschritten. Unproblematisch verhalten sich beim Bodensättigungsextrakt das Referenzmaterial Boden, der Gießereirestsand und der Quarzsand. Vergleichsweise geringe Probleme zeigt der Auelehm, der nur bei Kupfer und Blei den Prüfwert überschreitet. Blei erweist sich wiederum als Problemelement bei Pochsand und Bleihüttengranulat. Die Konzentrationen liegen mit 3,1 bzw. 17 mg/l (!) weit über dem Prüfwert. Bei Pochsand sind zudem Cadmium, Chrom, Nickel und Antimon mit Prüfwertüberschreitungen zu nennen. Bei Bleihüttengranulat kommen noch Arsen, Kupfer und Zink hinzu und die Werte liegen noch höher als bei Pochsand.

Die verwendeten Böden zeigen teilweise ebenfalls Überschreitungen der Prüfwerte. Der lößbürtige Ackerboden weist bei Kupfer und Nickel Prüfwertüberschreitungen auf. Im Extrakt des Waldbodens werden erhöhte Werte von Blei und Zink angetroffen, im A-Horizont liegen zusätzlich die Cadmiumgehalte über dem Prüfwert. Die höchsten Konzentrationen werden jedoch im Extrakt des Sandbodens gemessen. Die Prüfwerte sind bei Cadmium, Kobalt, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei und Zink überschritten. Der Gehalt an Chrom liegt mit 508 µg/l besonders hoch.

3.4.4 Königswasser (DIN 38414-7)

Die Ergebnisse des Königswasseraufschlusses fallen bezüglich der Ausbeute im Vergleich zu den Ergebnissen des Vollaufschlusses (Kap. 3.1.2) sehr unterschiedlich aus (vgl. Tab. 26 im Anhang). Vergleichsweise hohe Ausbeuten werden mit durchschnittlich über 90% bei Kupfer, Magnesium, Thallium und Zink erzielt. Geringe Ausbeuten (unter 50%) bringen Aluminium, Cadmium, Chrom, Antimon und Strontium. Durchschnittlich sogar nur zu weniger als 20% sind Kalium, Natrium, Titan und Zirkon durch Königswasser extrahierbar. Die Schwankung der Ausbeuten ist innerhalb des Probensatzes recht hoch. Erklärt werden kann diese Schwankung der Ergebnisse nur durch die inhomogene Zusammensetzung des Materials sowohl im Hinblick auf die Gesamtgehalte und die Bindungsformen. Hinzu kommt die Schwierigkeit bei der Analytik (s. Kap. 4.3). Verwunderlich ist, dass bei den Bodenmaterialien mit ihrer ver-

gleichsweise homogenen mineralogischen Zusammensetzung bei einigen Elementen vergleichsweise sehr niedrige, bei anderen sehr hohe Ausbeuten erzielt werden. Die Ergebnisse weichen damit von denen HORNBURGS (2002) ab, der gleichmäßigeres Verhalten und abweichende Ausbeuten erzielte.

3.4.5 Vergleich der DIN-Verfahren untereinander

Ein Vergleich der DIN-Verfahren Eluierbarkeit mit Wasser (S4), Ammoniumnitratextrakt und Bodensättigungsextrakt (vgl. Tabelle 27 im Anhang für die Prüfelemente) ergibt insgesamt ein diffuses Bild. Der S4-Schüttelversuch liefert fast durchweg die geringsten Eluatkonzentrationen. Der Ammoniumnitratextrakt besitzt durchweg eine höhere Lösungsfähigkeit. Allerdings ist das Ausmaß von Element zu Element und von Material zu Material stark unterschiedlich. So liegen beispielsweise die Werte für Kupfer durchschnittlich um den Faktor 223 höher, für Cadmium ergibt sich ein Faktor von 123. Diese Durchschnittswerte kommen allerdings teilweise dadurch zustande, dass es innerhalb eines Elementes eine hohe Schwankung mit sehr hohen einzelnen Faktoren gibt. Der Kupfergehalt im Eluat des Ammoniumnitratextraktes liegt bei der Müllverbrennungsasche um den Faktor 775 über dem Wert des S4-Versuches, beim Kehrgut beträgt der Faktor 435, beim Bankettschälgut der Autobahn hingegen nur 4,1. Feststellen lässt sich auch, dass der Ammoniumnitratextrakt auf die einzelnen Materialien unterschiedlich reagiert. Während bei der Hausmüllverbrennungsasche und beim Bleihüttengranulat die Eluatkonzentrationen des S4-Versuchs oftmals um mehr als das 100-fache überschritten werden, liegen die Faktoren bei den Bankettschälgütern der Landstraße nur bei zwei Elementen über einem Faktor von 10.

Auch der Bodensättigungsextrakt ergibt höhere Konzentrationen als der S4-Versuch. Insgesamt sind die Überschreitungen regelmäßiger als beim Ammoniumnitratextrakt und die Schwankungsbreite der Überschreitungen ist nicht so hoch. Die Abhängigkeit der Werte von einzelnen Materialien ist zwar ebenfalls vorhanden, aber weniger deutlich als beim Ammoniumnitratextrakt. Durchschnittlich liegen die Konzentrationen des Bodensättigungsextraktes etwas unter denen des Ammoniumnitratextraktes. Auch hier ist das Bild aber uneinheitlich: Einige Elemente zeigen fast durchweg niedrigere Konzentrationen, dies ist zum Beispiel beim Cadmium der Fall. Hingegen liegen die Werte für Chrom im Bodensättigungsextrakt meist höher als im Ammoniumnitratextrakt.

Da die einzelnen Verfahren je nach Material bzw. Element unterschiedliche Ergebnisse erbringen, ist es deshalb schwierig, sich auf ein Verfahren zu beschränken. Der Schüttelver-

such nach DIN 38414-4 (S4) liefert meist die geringsten Eluatwerte. Der Ammoniumnitratextrakt (ANE) und der Bodensättigungsextrakt (BSE) liefern fast durchgängig höhere Werte.

3.4.6 Anwendung des Bodensättigungsextraktes im Vergleich zur Berechnung der Konzentrationen nach DIN V 19735

Bei der Berechnung der Konzentration im Bodensättigungsextrakt durch Ergebnisse des Ammoniumnitratextraktes (DIN Vornorm V 19735: „Ableitung von Konzentrationen im Bodenwasser aus ammoniumnitratextrahierbaren Gehalten oder Eluatgehalten“) findet größtenteils eine Unterschätzung der Werte statt (vgl. Tab. 28 im Anhang). Am deutlichsten fällt diese beim Element Nickel auf (Abb. 20). Tendenziell lässt sich ebenfalls feststellen, dass im niedrigen Konzentrationsbereich die Unterschätzung geringer ausfällt als im höheren Konzentrationsbereich, zum Teil findet hier sogar eine Überschätzung statt. Bei Arsen und Kupfer (Abb. 21) wird jedoch eher eine zu hohe Konzentration im BSE geschätzt. Bei Arsen wird bei der Müllverbrennungsasche mit dem Faktor 22 die höchste Überschätzung erreicht. Bei Kupfer wird das Referenzmaterial Boden um den Faktor 9 am stärksten überschätzt.

Die Errechnung der Sättigungsextrakt-Konzentrationen aus den Eluatgehalten nach S4 ergibt fast durchgehend höhere Werte als bei Anwendung des Bodensättigungsextraktes.

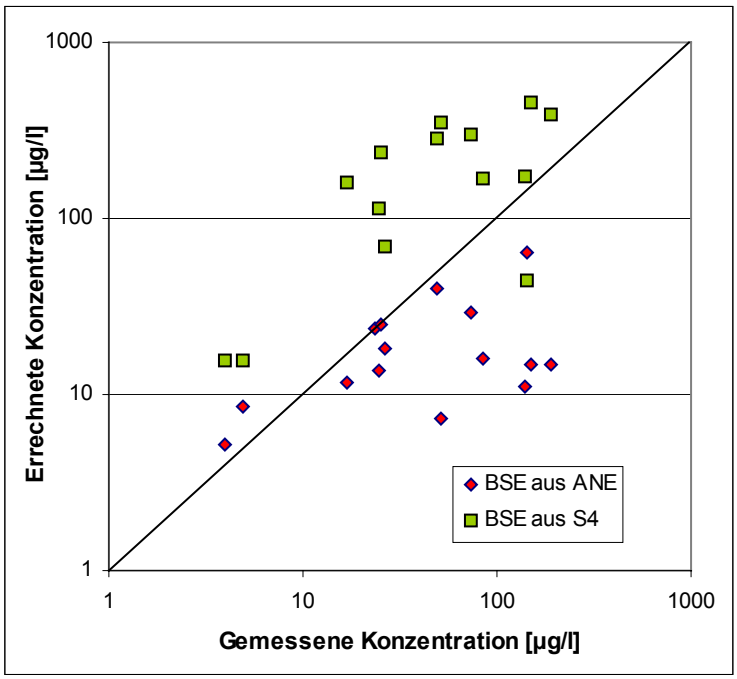


Abb. 20: Vergleich zwischen gemessenen und errechneten Konzentrationen im Bodensättigungsextrakt; Betrachtetes Element: Nickel

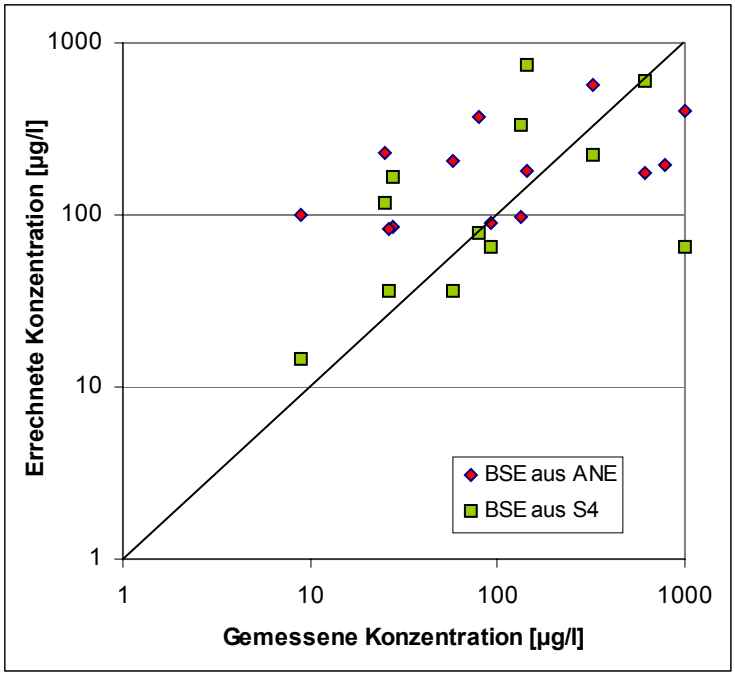


Abb. 21: Vergleich zwischen gemessenen und errechneten Konzentrationen im Bodensättigungsextrakt; Betrachtetes Element: Kupfer

Das führt dazu, dass es mit Ausnahmen überwiegend zu einer Überschätzung der tatsächlichen Konzentrationen kommt. Faktoren bis 70 (Nickel bei Bauschutt) werden erreicht. Es lässt sich somit feststellen, dass eine Berechnung der Bodenwasserkonzentrationen aus den Ergebnissen von Eluatversuchen nach DIN S4 bzw. dem Ammoniumnitratextrakt bei den untersuchten Materialien nicht zu den gewünschten Ergebnissen führt. Ähnliche Ergebnisse ergaben Versuche des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (LfW) mit Altlastmaterialien (SCHEITHAUER et al. 2003, SCHEITHAUER & BERGER 2004). Auch hier ergab eine Errechnung der BSE-Konzentrationen aus Ergebnissen des Ammoniumnitratextraktes zu große Abweichungen von den tatsächlich gemessenen Werten.

3.4.7 Vergleich der Gesamtgehalte nach Vollaufschluss mit den eluierbaren Anteilen der DIN-Verfahren

Eine Hochrechnung der Feststoffgehalte aus dem Fest-Flüssig-Verhältnis der einzelnen DIN-Verfahren (Daten im Anhang in Tab. 23b-25b) ergibt im Vergleich mit den Ergebnissen des Vollaufschlusses ein anderes Bild als bei Betrachtung der Eluat- bzw.- Extraktgehalte untereinander.

Aufgrund der unterschiedlichen Fest-Flüssig-Verhältnisse liefert hier der Bodensättigungsextrakt oftmals die geringsten Werte, wohingegen die Höchstwerte abwechselnd vom S4-Schüttelversuch und dem Ammoniumnitratextrakt erzielt werden. Anhand dieser Darstellung wird deutlich, dass es keinen erkennbaren Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der

DIN-Verfahren und den Gesamtgehalten gibt (Abb. 22 und 23). Es ist also nicht möglich, aus den Extrakt- bzw. Eluatgehalten auf das Schadstoffinventar eines Materials zu schließen.

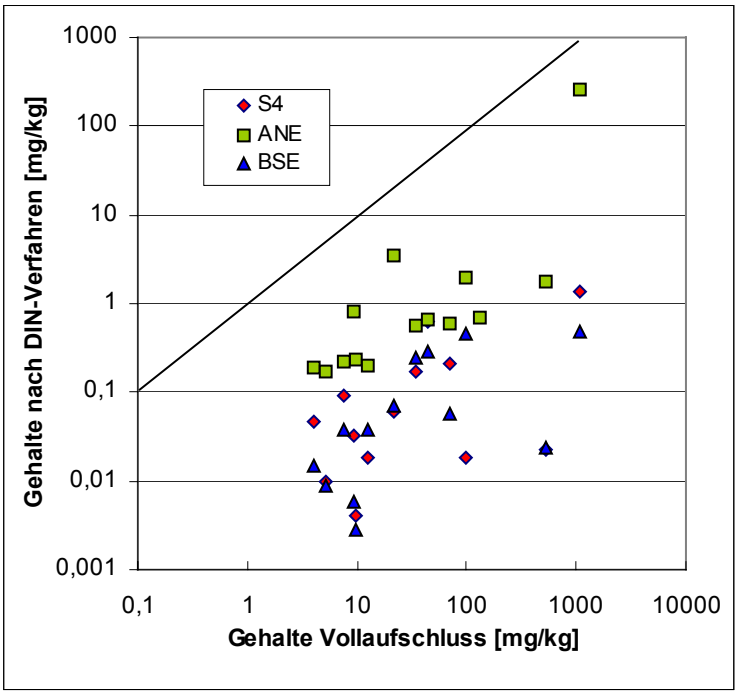


Abb. 22: Vergleich zwischen Feststoffgehalten nach Vollaufschluss und extrahierbaren Feststoffanteilen der DIN-Verfahren; Betrachtetes Element: Kupfer

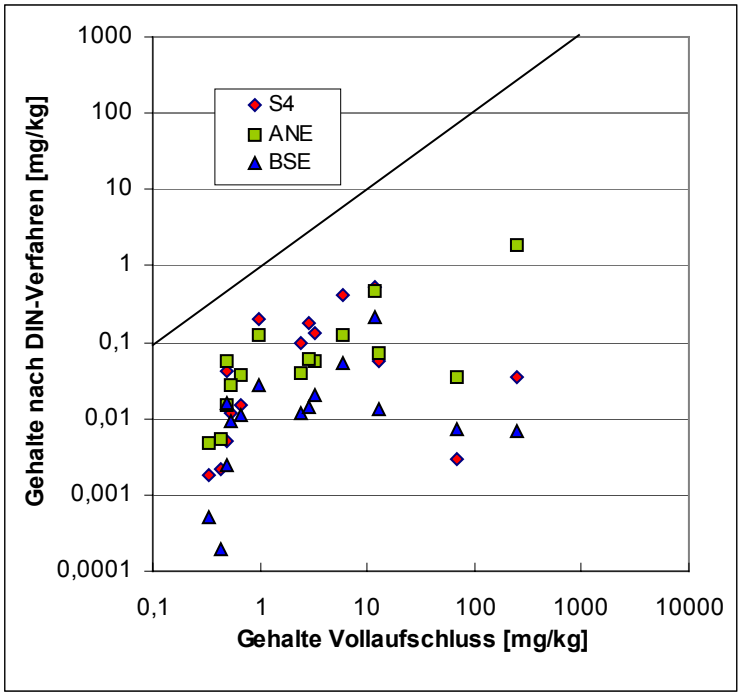


Abb. 23: Vergleich zwischen Feststoffgehalten nach Vollaufschluss und extrahierbaren Feststoffanteilen der DIN-Verfahren; Betrachtetes Element: Molybdän

BIELERT (1999) kommt bei der Untersuchung verschiedener Böden zu ähnlichen Ergebnissen, begründet dies jedoch mit geringen Spurenelementgehalten in den untersuchten Proben. Die vorstehenden Daten zeigen, dass auch bei höheren Schadstoffgehalten kein Zusammenhang besteht. Dies wird vermutlich an den sehr unterschiedlichen Bindungsformen und –stärken bei den verschiedenen Materialien liegen.

3.4.8 Vergleich der DIN-Verfahren mit Sickerwasser in der Gleichgewichtsphase

Ein Vergleich der Schadstoffgehalte im Eluat der DIN-Verfahren mit den Schadstoffgehalten im Sickerwasser der Lysimeter zeigt deutliche Unterschiede (vgl. Tab. 29 im Anhang). Als Grundlage für den Vergleich werden für die Daten der Lysimeter hier die Mittelwerte aller neun Lysimeter eines Abfallmaterials verwendet. Die verschiedenen Abdeckungen werden also nicht berücksichtigt, da ihr Einfluss auf die Elementkonzentrationen im Sickerwasser während der Messperiode eher gering sind und die betreffenden DIN-Verfahren in dieser Hinsicht nicht differenzieren. Berücksichtigt werden zudem als Mittelwert nur die Analyseergebnisse der Beprobung vom Dezember 2003 sowie vom Februar und April 2004 (Beprobungstermine 8-10), da davon auszugehen ist, dass diese den langfristig zu erwartenden Schadstoffgehalten am Nähesten kommen. Beim wässrigen Extrakt (S4) lassen sich element- und materialbedingte Unterschiede feststellen. Bei einigen Elementen (z.B. Zinn und Zink) neigt das Verfahren zu einer Unterschätzung der Sickerwasserkonzentrationen. Die Bleigehalte im Sickerwasser werden dagegen deutlich überschätzt. Im Bezug auf die Materialien lässt sich beispielsweise bei Bauschutt eine fast durchgängige Unterschätzung der hohen Sickerwasserkonzentrationen feststellen.

Bei den anderen Verfahren kommt es nur noch in Einzelfällen zu einer Unterschätzung der Sickerwasserwerte. Besonders der Ammoniumnitratextrakt ergibt teilweise sehr hohe Werte, die von den tatsächlichen Sickerwasserwerten weit entfernt liegen (z. B. das Element Blei bei Bleihüttengranulat: Im Ammoniumnitratextrakt 94 mg/l (!), im Sickerwasser nur 3,5 µg/l !!!). Verallgemeinert werden darf diese Aussage jedoch nicht, da die DIN-Verfahren abhängig von Material und Element sehr unterschiedliche Werte ergeben (s.o.) und den Sickerwassergehalt nicht annähernd richtig vorhersagen. Ansatzweise gelingt das bei den vorliegenden Materialien nur bei den Elementen Molybdän (Abb. 24) und Antimon.

Während der S4-Schüttelversuch die Sickerwassergehalte oftmals unterschätzt, ergeben die anderen beiden Methoden häufig zu hohe Ergebnisse. Als Beispiel hierfür kann das Element Kupfer dienen (vgl. Abb. 25).

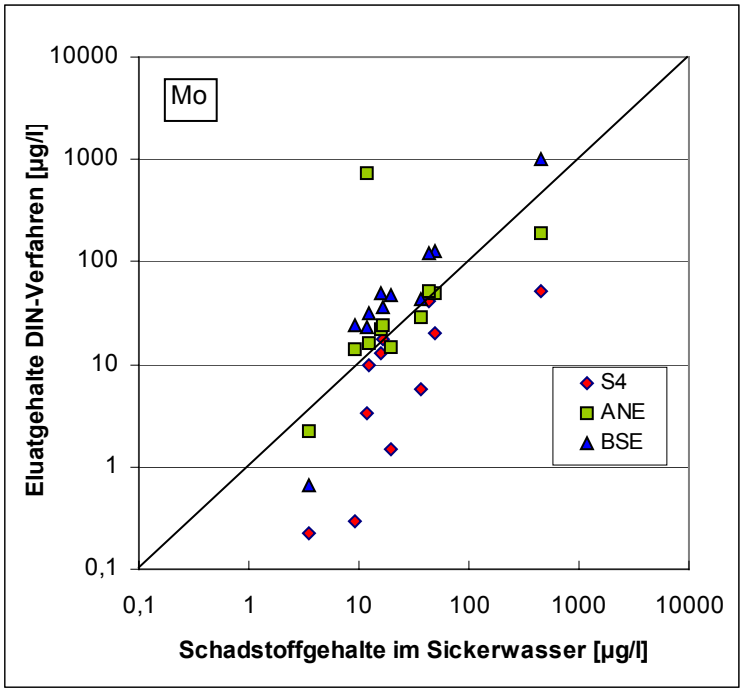


Abb. 24: Vergleich zwischen Schadstoffgehalten im Sickerwasser und Eluatgehalten der DIN-Verfahren; Betrachtetes Element: Molybdän

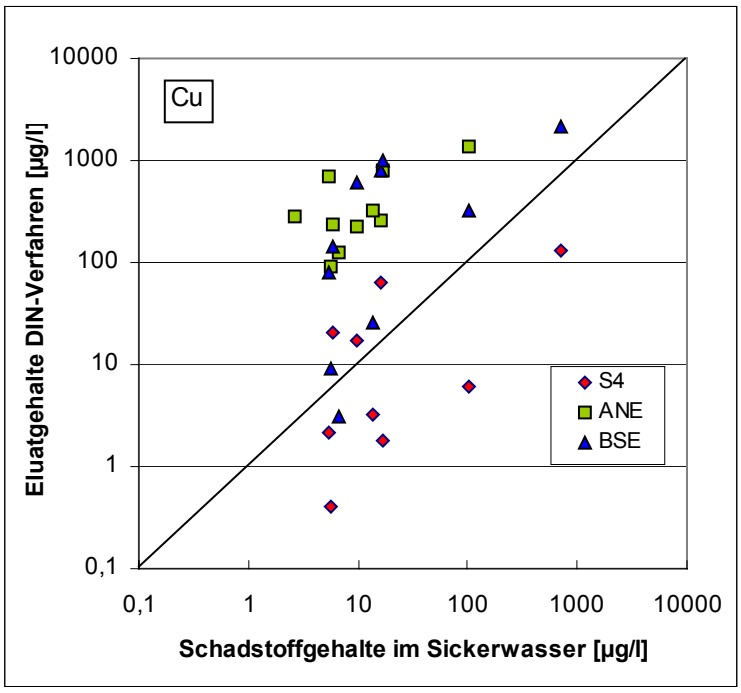


Abb. 25: Vergleich zwischen Schadstoffgehalten im Sickerwasser und Eluatgehalten der DIN-Verfahren; Betrachtetes Element: Kupfer

3.5 Quellstärkeermittlung mit alternativen Verfahren

3.5.1 Elution mit Wasser mit Fest-Flüssig-Verhältnis von 1:2

Die Konzentrationen im Extrakt des Schüttelversuchs mit einem Fest-Flüssig-Verhältnis von 1:2 liegen erwartungsgemäß meist etwas über denen des normalen S4-Versuchs (vgl. Tab. 27 und 30 im Anhang). Zwar gibt es auch Werte, die im Vergleich niedriger liegen, dies ist jedoch größtenteils an insgesamt niedrige Werte gebunden. Eine Ausnahme bildet das Element Eisen, das auch bei höheren Konzentrationen einige Fälle mit Verhältnissen unter eins aufweist. Meist liegen die Verhältnisse zwischen eins und fünf mit einzelnen Ausreißern nach oben. Leider lässt sich kein einheitliches Verhalten feststellen. Die einzelnen Elemente und Materialien reagieren unterschiedlich auf das geänderte Fest-Flüssig-Verhältnis.

Aufgrund der höheren Werte ergeben sich im Vergleich zum üblichen S4-Versuch (s.o.) zusätzliche Prüfwertüberschreitungen. Bei den Bankettschälgütern betrifft dies die Elemente Kupfer (Bankettschälgut Landstraße) sowie Antimon (Bankettschälgut Autobahn). Das Referenzmaterial Bauschutt zeigt zusätzliche Prüfwertüberschreitungen bei Kupfer und Molybdän. Ebenfalls Kupfer sowie Nickel liegen im 1:2-Extrakt des Kehrgutes oberhalb der Prüfwerte. Arsen stellt ein Problem im Eluat des Waldoberbodens dar, Cadmium ist beim sandbürtigen Ackerboden erhöht.

Ein Vergleich der Ergebnisse des 1:2-Extraktes mit dem Bodensättigungsextrakt ergibt, dass eine Herabsetzung des Fest-Flüssig-Verhältnisses eine Annäherung der Ergebnisse beider Verfahren bewirkt. Die Werte im Bodensättigungsextrakt liegen jedoch weiterhin fast durchweg über denen des wässrigen Extraktes.

Eine Methode zu einer hinreichend genauen Abschätzung der Sickerwassergehalte stellt auch die Elution mit einem Fest-Flüssig-Verhältnis von 1:2 nicht dar.

Im Vergleich zum herkömmlichen S4-Versuch kommt es zwar bei einigen Elementen zu einer leichten Verbesserung der Prognosegenauigkeit, wie bei Chrom und Molybdän (Abb. 26). Bei anderen Elementen ist keine nennenswerte Verbesserung feststellbar (z.B. bei Blei, Abb. 27). Positiv anzumerken ist jedoch, dass die Tendenz zur Unterschätzung der Sickerwassergehalte abgeschwächt bzw. teilweise umgekehrt wird.

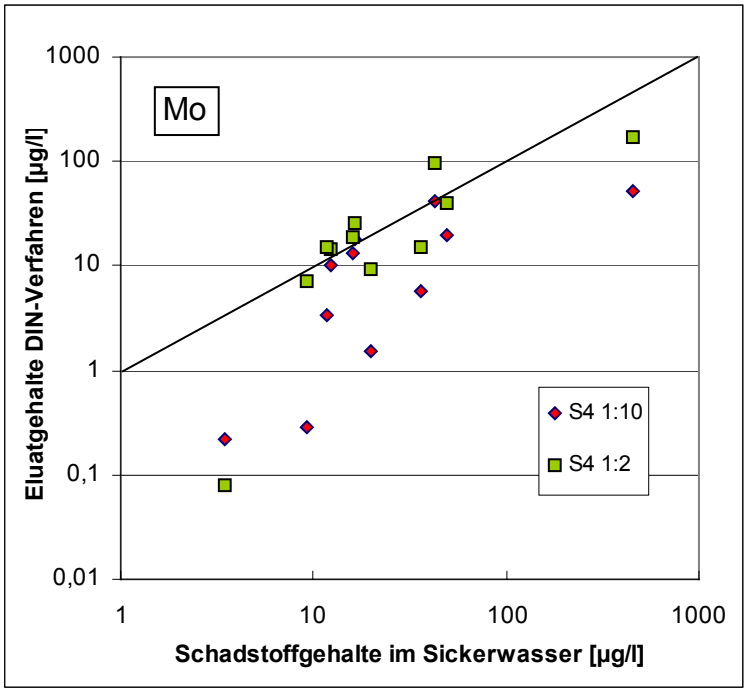


Abb. 26: Vergleich zwischen Schadstoffgehalten im Sickerwasser und Eluatgehalten der Extraktion mit Fest-Flüssig-Verhältnissen von 1:10 und 1:2; Betrachtetes Element: Molybdän

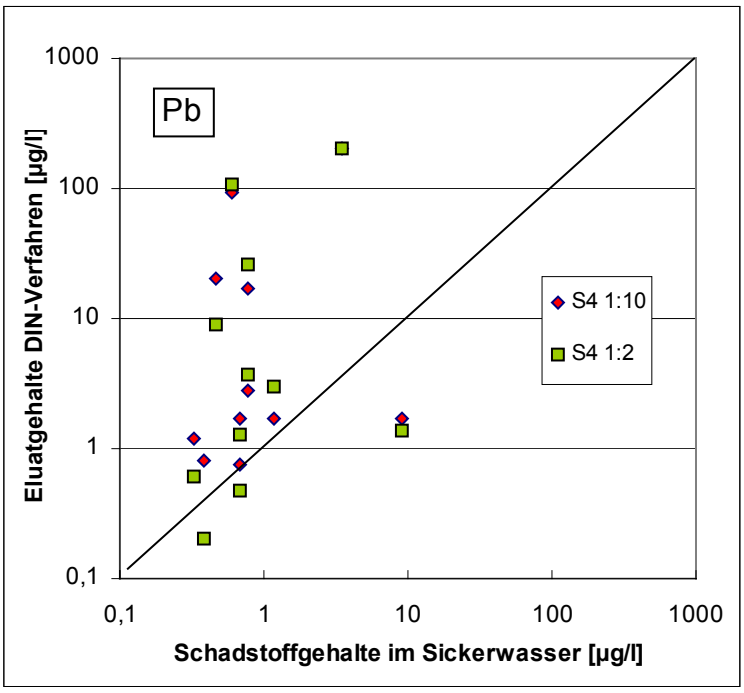


Abb. 27: Vergleich zwischen Schadstoffgehalten im Sickerwasser und Eluatgehalten der Extraktion mit Fest-Flüssig-Verhältnissen von 1:10 und 1:2; Betrachtetes Element: Blei

3.5.2 EUF-Verfahren

Als weitere Alternative zu den herkömmlichen DIN-Verfahren wurde in Zusammenarbeit mit der Justus-Liebig-Universität Gießen das EUF-Verfahren (Elektro-Ultra-Filtration) auf die Prüfmaterialien angewandt.

Das Verfahren wurde in 3 Parallelen durchgeführt, behandelt werden zunächst die Mittelwerte. Dabei zeigt sich, dass dieses Verfahren ebenfalls keine geeignete Methode ist, um die Sickerwasserkonzentrationen realistisch zu prognostizieren (vgl. Tab. 31 im Anhang). In einer Vielzahl der Fälle werden die Ergebnisse der Sickerwasseranalytik (Mittelwerte der letzten drei Termine) überschätzt. Es treten jedoch auch etliche Fälle auf, die zu einer Unterschätzung führen. Dies geht bis zu einem Verhältnis von 1:30 (Anode-Antimon-Bleihüttengranulat). Die Überschätzung geht bei Einzelwerten bis zum Faktor 100.000. Hier ist besonders das Element Blei betroffen, wo der höchste Faktor an der Kathode bei Pochsand festzustellen ist. Bei Bleihüttengranulat liegt der entsprechende Wert immerhin noch bei 10.000. Die Faktoren an der Anode sind deutlich geringer, erreichen bei Pochsand 2750 und bei Bleihüttengranulat 235. Die Materialien Pochsand und Bleihüttengranulat weisen insgesamt im Vergleich zu den geringen Sickerwasserkonzentrationen sowohl an Anode als besonders auch an der Kathode recht große Überschätzungen auf. Ausnahme bildet bei Bleihüttengranulat das Element Antimon, das mit einem Verhältnis von über 1:20 unterschätzt wird. Bei den Referenzmaterialien Bauschutt und Müllverbrennungsasche liegen vergleichsweise viele Extraktkonzentrationen unter den Sickerwasserkonzentrationen. Dies betrifft bei beiden Materialien sowohl an Anode, als auch an Kathode die Elemente Kobalt, Chrom und Kupfer sowie Molybdän. Bei der Müllverbrennungsasche wird zudem jeweils die Arsenkonzentration unterschätzt, bei Bauschutt trifft dies auf Nickel zu.

Bei Betrachtung der einzelnen Elemente fällt die durchgehende deutliche Unterschätzung der Molybdänkonzentrationen an der Anode auf. An der Kathode wird diese Tendenz durch eine, zum Teil deutliche, Überschätzung bei den Materialien Pochsand, Bleihüttengranulat und Quarzsand unterbrochen. Eine häufige Unterschätzung ist noch bei Antimon zu beobachten. Dies tritt jedoch besonders an der Kathode auf, wo sich in 7 von 11 Fällen im Vergleich zu den Sickerwassergehalten zu niedrige Werte ergeben.

Auch aus dem Verhältnis der Ergebnisse der Anode zu denen der Kathode lässt sich keine allgemeingültige Aussage ableiten (vgl. Tabelle 32 im Anhang). Lediglich bei den Materialien Pochsand und Bleihüttengranulat weist die Kathode durchweg Verhältnisse über 1 auf. Die Faktoren schwanken jedoch zwischen etwa 2 und 50. Mit Ausnahmen gibt es bei den Elemen-

ten Cadmium, Kobalt und Zinn eine ähnliche Tendenz zu höheren Kathodenwerten. Die Verhältnisse sind hier jedoch niedriger als im vorher beschriebenen Fall. Ansonsten wechselt die Führerschaft der beiden Elektroden ohne einen erkennbaren Zusammenhang.

Statistik

Die statistische Betrachtung zeigt eine Schwankung der Standardabweichung innerhalb einzelner Elemente (über alle Materialien) von durchschnittlich 30-45% vom Mittelwert (vgl. Tabelle 33 im Anhang). Innerhalb eines Materials (über alle Elemente) liegen die Werte zwischen knapp 20 und 50%. Eine eindeutige Beziehung zur Elektrode ist nicht feststellbar. Die Materialien mit den extremen Mittelwerten der Elektroden ergeben auch bei der Mittelung beider Elektroden die Extremwerte.

Die Einzelwerte der prozentualen Standardabweichung reichen von 0% (Kupfer, Kathode, Gießereirestsand) bis zu knapp 150% (Kupfer, Kathode, Referenzmaterial Boden). Vergleichsweise häufig weisen die Elemente Calcium und Magnesium sowie Barium niedrige Einzelwerte auf, im Gegensatz dazu häufen sich hohe Einzelwerte bei Chrom, Nickel, Blei und Antimon. Besonders viele Extremwerte (<10% oder >50% Standardabweichung vom Mittelwert) finden sich bei Chrom, Kalium, Molybdän und Nickel. Bei Betrachtung der Materialien fällt nur das Bankettschälgut der Autobahn mit häufig geringen Standardabweichungen an der Kathode auf, negativ machen sich die Referenzmaterialien Bauschutt und Boden sowie Gießereirestsand und Quarzsand (Kathode) sowie der Auelehm (Anode) bemerkbar.

In der derzeitigen Form ist das EUF-Verfahren keine Alternative zu den gängigen Extraktionsverfahren. Zur Zeit wird an einer Verbesserung der Methodik gearbeitet. Ob dies auch zu einer Einsetzbarkeit des Verfahrens für die Sickerwasserprognose führt, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

4. Diskussion

4.1 Witterung

2003 mussten die Probenahmetermine wegen geringer Sickerwassermengen gegenüber der Planung reduziert werden. Im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt von ca. 650 mm Niederschlag in Göttingen fielen nur 495 mm. Hinzu kamen überdurchschnittlich hohe Temperaturen. Niederschläge wurden in den Abdeckmaterialien zwischengespeichert und ohne Beitrag zur Sickerwasserspende wieder verdunstet. Wegen des fehlenden Pflanzenbewuchses fielen im gesamten Versuchszeitraum noch zwischen 60 und 80% des Niederschlages als Sickerwasser an (vgl. Kap. 3.2). Die geringen Niederschläge können auch von Vorteil gewesen sein. Durch die längere Kontaktzeit des Sickerwassers mit den Prüfmaterialien ist eine erhöhte Schadstofflösung denkbar, die Gefahr einer Unterschätzung langfristig zu erwartender Sickerwasserkonzentrationen dadurch geringer.

4.2 Lysimeterproblematik

Die Verlagerung des Sickerwassers mit der Bodentiefe erfolgt nicht kontinuierlich im Zeitgang mit den Niederschlägen. Besonders neigen sandige Materialien zu einem sehr unregelmäßigen Abfluss. Wasser wird zwar kapillar schnell eingesogen, im Material bilden sich jedoch Lufteinschlüsse und Wasserlamellen, deren Anzahl und Größe mit abnehmendem Korndurchmesser des eingefüllten Materials zunehmen (GERNANDT 2003). Durch nachströmendes Wasser baut sich ein Druck auf, der erst ab einem gewissen Betrag die eingeschlossene Luft verdrängen kann und dabei das zwischengespeicherte Wasser schlagartig nach unten verlagert. Es kann sich dann auf der tieferliegenden Lamelle sammeln oder über vertikale Wege kurzfristig zum Grundwasser fließen (vgl. auch SIEBNER 1995 und SIEBNER et al. 1997). Es findet damit kein kontinuierlicher, sondern wellenförmiger, stossweiser Abfluss statt. Zu nennen ist auch das Modell des Kaskadenflusses nach MEYER & BECKER (2001, Abb. 28). Dieser Effekt konnte gut bei den Lysimetern mit Quarzsand beobachtet werden, die ein unregelmäßiges Abflussverhalten zeigten. Auch andere Materialien wie das Referenzmaterial Boden und der Gießereirestsand sind durch ihre Korngrößenverteilung von den oben beschriebenen Phänomenen betroffen. Ein weiteres Modell unterschiedlicher Fließ- und Transportregime findet sich bei FLÜHLER et al. (1996).

Verstärkt wird der Effekt der Lamellenbildung und der Zwischenspeicherung bei Inhomogenitäten im abgelagerten Material, deren Ausbildung sich bei der Schüttung von Korngrößengemischen weder im Deponie- noch im Versuchsmaßstab ganz verhindern lässt. Als Veranschaulichung diene Abb. 10 mit dem Beispiel des von der BAM sorgfältig homogenisierten

Bauschuttes. Auch bei den kurzen Fallstrecken von hier maximal 80 cm kam es schnell zu einer Sortierung der Korngrößen. Beim Bauschutt kam noch verstärkend hinzu, dass er Komponenten unterschiedlicher Dichte enthält. An jedem Übergang von feinen zu gröberen Schüttanteilen kommt es zum sprunghaften Anstieg der Größe der Poren. Da die Saugspannung im feineren Material größer ist als im gröberen, bilden sich hängende Menisken aus, die für nachströmendes Wasser einen Widerstand bedeuten. Die beobachtete Verfestigung innerhalb der Bauschutt-Lysimeter dürfte den gleichmäßigen Sickerwasserfluss zusätzlich gestört und auf Bereiche mit gröberen Poren konzentriert haben. Auf das Problem des präferentiellen Transportes von Schadstoffen geht auch die Arbeit von SCHWARZ & KAUPENJOHANN (2001) ein.

Eine gravierend heterogene Kontaktzeit der Lösung mit den eingelagerten Materialien mit all seinen Auswirkungen auf Lösungs- und Fällungsprozesse ist also systembedingt. Das gilt in noch stärkerem Ausmaß für größere Deponien, die häufig in großen Einheiten, ohne vorherige Homogenisierung geschüttet werden.

Als weitere Ursache für präferenzielles Fließen ist die Bildung von Makroporen zu nennen. Sie bilden sich durch Quellung und Schrumpfung bei Austrocknen und Wiederbefeuchten, Frosteinwirkung sowie Regenwürmer und Wurzeln. Im hier ausgewerteten Versuch dürfte der Einfluss von Makroporen jedoch aufgrund der Versuchsanordnung und der kurzen Versuchsdauer gering sein. Im größeren Maßstab ist er jedoch zu beachten. DURNER (2001) gibt zu bedenken, dass derartige Effekte aufgrund verminderter Kontaktzeit sogar zu verringerter Schadstoffkonzentration im Sickerwasser führen können und verwendet den Begriff „best case“. Entsprechend werden lange Kontaktzeiten als „worst case“ bezeichnet.

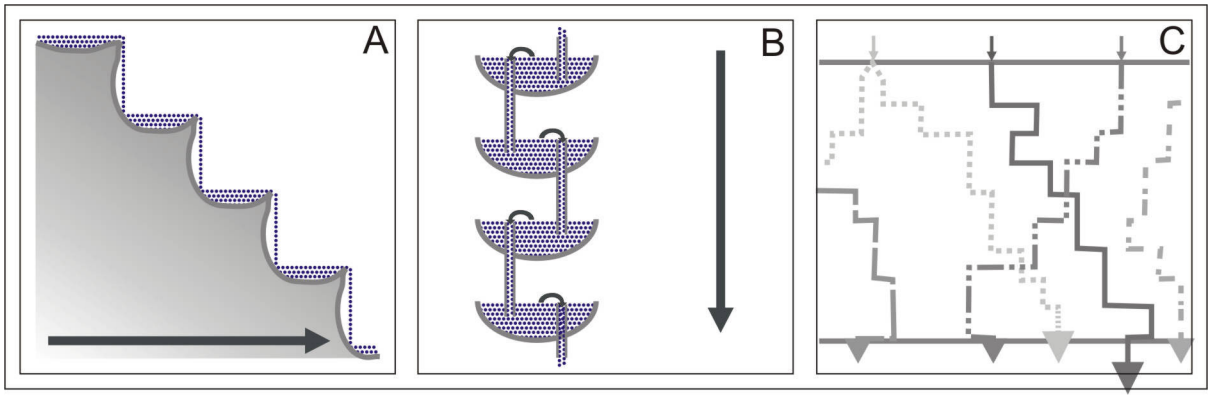


Abb. 28: Modell des Kaskadenflusses nach MEYER und BECKER (2001) aus GERNANDT (2003)

4.3 Analytik

Analysegenauigkeit (Interferenzen / Matrix)

Die Analytik besonders der Aufschlusslösungen erwies sich verfahrenstechnisch wegen der ungleichmäßigen Zusammensetzung der Probelösungen teilweise als problematisch. Bei der ICP-OES können hohe Gehalte einzelner Elemente durch Interferenzen der Spektrallinien überhöhte Gehalte anderer Elemente vortäuschen. Konzentrierte Elemente können zudem verschleppt werden oder die Düsen der Geräte verstopfen. Besonders bei der ICP-MS können einzelne dominierende Elemente das Ergebnis der folgenden Proben durch Verschleppen beeinflussen.

Verdünnungen

Die Lösungen der Voll- und die Königswasseraufschlüsse mussten für die ICP-MS bis zu 1:10.000 verdünnt werden. Hinzu kommt der für die Analysegeräte schädliche hohe Chloridgehalt bei den Königswasseraufschlüssen. Beim Sickerwasser reichte anfangs eine Verdünnung von 1:5. Später mussten die Proben der Lysimeter mit Bleihüttengranulat aufgrund der hohen Antimon-Gehalte teilweise mit dem Faktor 50 verdünnt werden. Durch das Verdünnen werden einzelne Elemente in einen ungünstigeren Messbereich oder sogar unter die Bestimmungsgrenze gedrückt.

Bestimmungsgrenzen

Die Bestimmungsgrenze wird durch das Fest-Flüssig-Verhältnis bei den Aufschlüssen und durch die Verdünnung der Messlösungen (s.o.) variiert und ist nicht für alle Proben einheitlich. So kann die Konzentration für einzelne Elemente in der Ausgangslösung über, in der Messlösung aber unter der Bestimmungsgrenze liegen. In der Regel wurde die mit dem Verdünnungsfaktor multiplizierte Bestimmungsgrenze in die Ergebnisstabellen eingetragen. In der zweiten Spalte ist jeweils nur die Bestimmungsgrenze für unverdünnte Proben (vgl. auch Tab. 34) angegeben. Die Bestimmungsgrenze berechnet sich aus dem Nulldurchgang und der Steigung der Eichkurve sowie einem Korrekturfaktor für die Irrtumswahrscheinlichkeit. Normalerweise wird mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% gerechnet.

Materialprobleme beim Königswasseraufschluss

Bei den Königswasseraufschlüssen am Bleihüttengranulat behinderten heftige Reaktionen durch die Bildung von Bleichlorid einen vollständigen Aufschluss. Um verlässliche Ergebnisse zu erzielen, musste der Aufschluss daher mehrfach durchgeführt werden.

Verfahrenstechnische Probleme der Aufschlüsse

Einige Elemente können mit dem Flusssäure-Perchlorsäure-Aufschluss nicht vollständig in Lösung gebracht werden, da sich schwerlösliche Fluoride bilden. Schwefelsäure verdrängt das Fluor aus seinen Verbindungen, so dass Aluminium, Kobalt, Chrom und Molybdän deshalb im Flusssäure-Schwefelsäureaufschluss ermittelt werden. Hier kann es jedoch zur Bildung von Barium- und Bleisulfat kommen, so dass diese Elemente nur im Flusssäure-Perchlorsäureaufschluss sicher zu bestimmen sind.

Elemente wie Quecksilber, Arsen, Selen und Tellur sind leicht flüchtig und können so beim Abrauchen der Säuren der Vollaufschlüsse teilweise verdampfen. Beim Königswasseraufschluss reduziert sich das Problem durch den Einsatz eines Rückflusskühlers etwas. In den Aufschlüssen werden diese Elemente somit nicht unbedingt vollständig erfasst.

Bei den Königswasseraufschlüssen können Chloridionen durch Bildung von Clusterionen die Analyse verfälschen. Bei der ICP-MS können nach dem Plasmadurchgang Oxide entstehen und so z. B. aufgrund der Massengleichheit von Chloroxid und Vanadium überhöhte Vanadiumgehalte vortäuschen.

Ein weiteres Problem beim Königswasseraufschluss stellen schwerlösliche Zirkonoxide dar. Im Gegensatz zum Vanadium kommt es hier eher zu einem Minderbefund.

4.4 Bewertung und Diskussion der Quellstärkebestimmung im Labor

Die vorliegenden Ergebnisse aus der Anwendung der gängigen DIN-Verfahren sowie des EUF-Verfahrens zeigen, dass diese nicht geeignet sind, die Quellstärke der untersuchten Materialien akzeptabel vorherzusagen. Auch eine regelhafte Abweichung zwischen Labor- und Lysimeterergebnissen ist nicht ersichtlich. Eine Hochrechnung zu erwartender Schadstoffausträge unter Freilandbedingungen scheidet damit aus.

Damit decken sich die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen mit denen anderer Autoren (u.a. KARNUTH 2003, SCHEITHAUER & BERGER 2004). Eine Prognose, welches Verfahren die unter natürlichen Gegebenheiten zu erwartenden Konzentrationen im Sickerwasser schadstoffhaltiger Materialien am besten vorhersagt, kann danach aufgrund bisher vorliegender Forschungsergebnisse nicht gemacht werden. Problematisch ist auch, dass neben einer häufig auftretenden Überschätzung der Gefährdung auch Fälle auftreten, in denen trotz Unterschreitung der Prüf- und Vorsorgewerte das reale Gefährdungspotential unterschätzt wird (NARIMANIDZE et al. 2003).

Der Aussage von GERTH (2001:306), der die „nach BBODSCHV zur Bestimmung der Quellkonzentration für anorganische Schadstoffe vorgesehenen Laborverfahren als nicht ausgereift“ ansieht, kann somit zugestimmt werden.
Die Erklärungsansätze für ein Versagen der Verfahren sind vielfältig, ebenso die Vorschläge für Alternativen. Neben der zum Teil fehlenden Praktikabilität der Verfahren (BSE bei groben Materialien) wird häufig die fehlende Naturnähe der Laborverfahren bemängelt (LANG & KAUPENJOHANN 2003). Die Einflussfaktoren auf die Löslichkeit eines Stoffes sind zahlreich.

VAN DER SLOOT (1996) sieht das W/F-Verhältnis und den pH-Wert als Haupteinflussgrößen auf die die Lösung bestimmenden Prozesse. Für GERTH (2001) spielen ebenso die Temperatur und das Redox-Potenzial und dabei besonders der CO_2-Partialdruck eine bestimmende Rolle. Hinzu kommt die Fließgeschwindigkeit bzw. die Verweilzeit des Sickerwassers. Diese wird wiederum von Größe und Verteilung der Poren eines Materials beeinflusst (DURNER 2001). Diese genannten Faktoren sind jedoch zum Großteil zeitlich nicht konstant, was eine Simulierung im Labor zusätzlich erschwert. Zudem tragen die Probenvorbehandlung sowie die mechanische Beanspruchung während der Extraktion nicht zur Abbildung natürlicher Verhältnisse bei und wirken sich negativ auf das Ergebnis aus. Gleiches gilt für die unterschiedliche Dauer der Extraktionen. Im Freiland sind „Ungleichgewichtsbedingungen ... von großer Bedeutung für die Freisetzung vieler Schadstoffe“ und die Löslichkeit vieler Stoffe unterliegt „einer hohen zeitlichen und räumlichen Dynamik“ (LANG & KAUPENJOHANN 2003:81). Zudem seien mit den gängigen Verfahren keine Aussagen über die Freisetzungskinetik eines Stoffes möglich. Damit kann nichts über dessen Nachlieferbarkeit gesagt werden.

Ein weiteres Problem stellt die fehlende Berücksichtigung des kolloidalen Transportes dar (KRETZSCHMAR et al. 1999). Dieses stellt sich jedoch allgemein, auch bei den hier ausgewerteten Lysimeterversuchen, da Kolloide bei der vor der Analyse vorgenommenen Filtration zurückgehalten werden. Hier wäre möglicherweise eine wie auch immer geartete Untersuchung des Filterinhaltes zu entwickeln.

Alternativen

Zur Behebung der angesprochenen Defizite werden von verschiedenen Autoren alternative Verfahren vorgeschlagen.

SCHEITHAUER & BERGER (2004) favorisieren eine Extraktion mit einem Fest-Flüssig-Verhältnis von 1:1, methodisch angelehnt an den Bodensättigungsextrakt. Damit soll dessen relative Naturnähe und der Vorteil geringer mechanischer Beanspruchung genutzt werden und

das Verfahren auch auf grobe Materialien anwendbar sein. Zudem soll die Reproduzierbarkeit verbessert werden.

Um zu naturnäheren Ergebnissen zu kommen, schlägt GERTH (2001:306) eine Säulenelution vor. Das zu prüfende Material soll unter wasserungesättigten Verhältnissen in fester Position gehalten werden, nur das Elutionsmittel soll bewegt werden. Zudem soll der CO_2-Partialdruck kontrollier- und anpassbar sein. Durch die Einleitung von künstlicher Bodenluft soll eine typische CO_2-Konzentratioen im Material gehalten werden. Das Eluat wird dabei kontinuierlich am Säulenende über eine Membran abgesaugt.

Um sowohl eine Aussage über das Auslaugverhalten unter naturnahen Verhältnissen als auch über das Mobilisationsverhalten treffen zu können, entwickelten OBERMANN & CREMER (1990) bzw. CREMER (1991) das pH-stat-Verfahren. Bei einer 24-stündigen Elution ähnlich dem S4-Versuch wird der pH-Wert auf einem konstanten Wert gehalten. Es sollen dadurch die sich langfristig auf einer Deponie einstellenden Verhältnisse simuliert werden. Jedoch wird bei dieser Methodik keine Aussage über Kinetik und Schadstoffmobilisierbarkeit gemacht, da sich Schadstoffe anreichern. Dies wird von LANG & KAUPENJOHANN (2003:81) bemängelt und gleichzeitig gefordert, ein Konzept des „Mobilisierungspotentials“ zu verfolgen mit dem Ziel, die „Nachlieferbarkeit aus der Festphase“ zu ermitteln. Diesen Ansatz verfolgt die „infinite Sink-Extraktion“, die mit einer Ionensenke arbeitet: Durch Adsorption an einen Austauscher werden freigesetzte Ionen der Boden-Wasser-Suspension entzogen. Eine Weiterentwicklung bzw. Verknüpfung mit der pH-stat-Methode kommt von KAUPENJOHANN & WILCKE (1995). Neben dem ständigen Entzug freigesetzter Ionen wird die Lösung durch Titration ständig auf konstantem pH-Wert gehalten.

GERTH (2001) erwähnt mit dem Schweizer TVA-Test eine weitere Möglichkeit, das Mobilisierungspotential zu erfassen. Das erwähnte Verfahren arbeitet unter ständig CO_2-gesättigten Bedingungen.

Die Vielfalt der Prozesse und Faktoren, die die Lösung und Freisetzung von Schadstoffen steuern, machen es wenig wahrscheinlich, dieses komplexe System durch ein einziges Labor-Verfahren simulieren zu können. Das zeigt auch schon die große Anzahl bisher entwickelter und angewandter Verfahren, die alle einzelne Stärken aber auch jeweils Defizite aufweisen. Die Anwendung mehrerer Methoden, die einzeln auf initiales sowie dauerhaftes Lösungsverhalten und das Mobilisierungspotenzial ausgerichtet sind, scheint daher sinnvoll.

4.5 Mögliche Wechselwirkungen zwischen Sicker- und Grundwasser

In den durchgeführten Versuchen wurden Schadstoffkonzentrationen in Sickerwässern ermittelt, die deponierte Abfall- oder Altlastmaterialien verlassen. Anhand dieser Werte wird das Gefährdungspotential eines Stoffes beurteilt. Entscheidend sind jedoch die aus den Einträgen resultierenden Auswirkungen auf das Grundwasser und seine Nutzbarkeit für den Menschen. Neben den Reaktionen in den die Abfallstoffe unterlagernden Schichten (Pufferung, Lösungs- und Fällungsreaktionen etc.) sind mögliche Wechselwirkungen der Sickerwässer mit dem Grundwasser zu berücksichtigen. Hierauf soll im Folgenden eingegangen werden.

Die untersuchten Sickerwässer besitzen größtenteils pH-Werte um 8, höhere Werte weisen nur die Sickerwässer von Bauschutt und Müllverbrennungsasche auf (vgl. Kap. 3.3.1, Tab. 10). Teilweise werden die in natürlichen Grundwässern üblichen Spurenelementgehalte im Sickerwasser deutlich überschritten (vgl. Kap. 3.3.16, Tab. 22), gleiches gilt für die Salzgehalte einiger Wässer.

Chemische Reaktionen in Grund- und Sickerwässern sind sehr vielschichtig. Dies liegt an der großen Zahl möglicher Reaktionen und Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Komponenten. Dies trifft sowohl auf die Lösungsfracht als auch auf kolloidal transportierte Stoffe sowie eventuelle Suspensionen zu.

Als Einflussfaktoren sind neben der Temperatur der Gehalt an Sauerstoff, CO_2, Elektrolyten sowie anorganischen und organischen Komplexbildnern und suspendierten Stoffen zu nennen. Weitere wichtige Parameter sind pH-Wert, Redox-Potential und eine eventuelle mikrobiologische Aktivität. Rückreaktionen mit angrenzenden Festphasen sind ebenfalls zu beachten. Weitere Schwierigkeit bereitet der zeitliche Faktor, da Reaktionen nicht konstant und je nach Fließgeschwindigkeit unvollständig ablaufen (vgl. u.a. PLEßOW et al. 1997).

Die Löslichkeit, vor allem von Metallverbindungen, hängt stark von ihrer Oxidationsstufe ab (Voigt 1990). Diese wird u.a. durch den pH-Wert beeinflusst. Ein Großteil der Spurenelemente zeigt eine höhere Lösungsfähigkeit bei geringen pH-Werten. Dazu gehören u.a. die Elemente Arsen, Blei, Cadmium, Kobalt, und Zink. Ein Eintrag von basischen Sickerwässern in das Grundwasser würde somit die Löslichkeit dieser Elemente verringern. Da jedoch der Gehalt im eingetragenen Sickerwasser höher ist, hätte dies keine Auswirkung. Gleiches gilt für Elemente wie Nickel, die über einen weiten pH-Bereich löslich sind. Im Gegensatz dazu steigt jedoch die Löslichkeit einzelner Elemente mit dem pH-Wert an (u.a. Titan), da sich nach PLEßOW et al. (1997) wasserlösliche Hydroxokomplexe $[Me(OH)_4]^-$ bilden können. Im Grund-

wasser stiege deren Löslichkeit somit an, insgesamt wäre jedoch aufgrund der Verdünnung eher eine Reduzierung der erhöhten Sickerwassergehalte zu erwarten.

Der pH-Wert wirkt sich auch auf die Bildung von Komplexen aus organischen Verbindungen aus, deren Stabilität mit dem pH-Wert steigt. Bei sinkendem Protonenangebot werden vermehrt Metallkationen gebunden. Neben organischen Verbindungen (Huminstoffe) gilt dies auch für Suspensionsfracht sowie Aluminium- und Manganverbindungen. (vgl. u.a. DAVIS 1984, SLAVEK & PICKERING 1988, CAMBRELL et al. 1991). Insgesamt kommt dem Vorhandensein von Kolloiden eine große Bedeutung für das Lösungsverhalten von Spurenelementen zu, da neben einer direkten Bindung oder Adsorption auch die Bildung von Eigenkolloiden z. B. von Blei, Eisen oder Mangan möglich ist. Ein erheblicher Teil gelöster Spurenelemente ist auch an die gelöste organische Substanz (DOC) gebunden (PLEßOW et al. 1997 nach DUFFY et al. 1989).

Mit dem Sickerwasser eingetragende kolloidal gebundene Spurenelemente könnten demnach im Grundwasser bei niedrigerem pH-Wert freigesetzt werden. Somit könnten die Spurenelementkonzentrationen im Grundwasser eventuell sogar höher liegen als im Sickerwasser gemessen, da hier durch die Filtration vor der Analyse gebundene Spurenelemente entfernt wurden. Besonders scheint das bei den Sickerwässern des Gießereirestsandes denkbar, die durch freigesetzte Tonteilchen stark getrübt waren.

Zu der pH-bedingten Freisetzung von Spurenelementen käme ein weiterer Anteil aus dem mikrobiellen Abbau des im Sickerwasser befindlichen DOC. Dieser Vorgang würde zu einer Erhöhung des CO_2-Partialdruckes und unter reduzierenden Bedingungen zur Erhöhung des CH_4-Gehaltes führen. Der CO_2-Partialdruck hat wiederum Auswirkungen auf den pH-Wert. Zusammen mit der organischen Substanz könnte Nitrat im Grundwasser abgebaut werden, da gelöste organische Substanz als Energielieferant für die Denitrifikation genutzt werden kann. Deren Ausmaß kann jedoch nicht quantifiziert werden (ULRICH 1997). Auch ist die genaue Zusammensetzung der gelösten organischen Substanz in den Sickerwässern unbekannt. In natürlichen Wässern liegt DOC zu großen Teilen als Säure vor. Humin- und Fulvosäuren gehören zu den wichtigsten Komplexliganden der DOC-Fraktion. „Organische Komplexliganden“ können „bei ausreichender Reaktionsgeschwindigkeit die Löslichkeit von Spurenmetallen steigern“ (PLEßOW et al. 1997:402). Sollte es sich bei den organischen Stoffen im Sickerwasser um Komplexliganden wie Humin- oder Fulvosäuren handeln (was v.a. bei den Sickerwässern aus Lysimetern mit Waldbodenbedeckung möglich wäre), kann im Grundwasser die Lösung von Spurenelementen (z.B. aus der mineralischen Substanz des Grundwasserlei-

ters) erhöht werden. Auch wäre ein Auffangen von durch Abbauprozesse oder Auflösung von Kolloiden freigesetzten Spurenelementen denkbar. Voraussetzung für derartige Prozesse im Grundwasser wäre jedoch, dass die organischen Säuren nicht bereits während der Sickerung durch das Abfallmaterial ihre Reaktionsfähigkeit (durch „Aufsättigung“ mit Spurenelementen) verloren haben.

Einfluss auf die organische Substanz und deren Löslichkeit hat auch der Salzgehalt einer Lösung. Untersuchungen an Bodenlösungen und Oberflächenwässern (u.a. von KEREKES et al. 1986, DRISCOLL et al. 1989, GOBRAN & CLEGG 1992) zeigen oft eine negative Korrelation zwischen dem Gehalt an Sulfat und organischen Verbindungen. Dies wird auch als „Aussalzeffekt“ bezeichnet. Bei einer Übertragung dieser Ergebnis auf Grundwässer könnten durch Eintrag von Sickerwässern mit hohem Salzgehalt (z.B. von Bauschutt und Müllverbrennungsasche) hiernach organische Kolloide und Makromoleküle, soweit diese im Grundwasser vorhanden sind, ausfallen.

Ungeachtet dessen kann es auch innerhalb einzelner Salze zu Reaktionen kommen, da die Zugabe eines Salzes die Löslichkeit eines anderen Salzes verringern (z.B. $CaSO_4$ durch $CaCl_2$) oder erhöhen kann ($CaSO_4$ durch NaCl) (VOIGT 1990). Da die Salzkonzentration im Grundwasser vermutlich niedriger liegt als in einigen Sickerwässern, besteht die Möglichkeit, dass bestimmte Salze ausfallen, da andere Salze, die ihre Löslichkeit erhöhen, zu stark verdünnt werden. Zusätzlich sind Reaktionen mit der mineralischen Festphase des Grundwasserleiters oder mit Lösungsbestandteilen des Grundwassers denkbar. Ungeachtet dessen lösen sich einige Spurenelemente wie Strontium oder Zirkon verstärkt in sulfat- und chloridhaltigen Wässern (PLEßOW et al. 1997), was im Grundwasser ein Ausfallen dieser Elemente hervorrufen könnte.

Die vorstehenden Ausführungen sollen verdeutlichen, wie vielfältig mögliche Reaktionen im Grundwasser sein können. Für viele der angesprochenen Prozesse gibt es Modelle, die einzelne Reaktionen simulieren können (z. B. MERKEL & PLANER-FRIEDRICH 2002). Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf komplexe, natürliche Gegebenheiten scheint jedoch aufgrund der Vielzahl parallel verlaufender Reaktionen wenn überhaupt nur sehr eingeschränkt möglich. Einzelne Reaktionen können sich in der Wirkung aufheben oder gegenseitig verstärken. Zudem variiert der Stoffbestand des Grundwassers in Abhängigkeit von der Herkunft (vgl. z.B. NLFB 2003). Hinzu kommt die Veränderlichkeit sowohl des Grund- als auch des Sickerwassers mit der Zeit. Das Ausmaß der beschriebenen Reaktionen ist außerdem stark von dem, über die Zeit ebenfalls nicht konstanten Verhältnis zwischen Grundwasser und den ein-

getragenen Sickerwässern abhängig. Eine verlässliche Prognose der jeweiligen Beschaffenheit des Grundwassers anhand der erhobenen Sickerwasserdaten ist daher derzeit so gut wie nicht möglich. Deshalb sind Schadstoffeinträge auf ein Minimum zu beschränken bzw. möglichst ganz zu verhindern.

4.6 Bewertung der Materialien

Im Folgenden soll auf Grundlage der erzielten Ergebnisse eine Bewertung des Gefahrenpotentials einzelner Materialien vorgenommen und soweit möglich derzeitige Entsorgungswege diskutiert werden. Einige Materialien werden dabei etwas intensiver behandelt. Eine umfassende Bearbeitung aller Materialien würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Jedes einzelne Material birgt ausreichend Probleme und Diskussionsstoff und damit Ansatzpunkte für eigene Arbeiten (wie z.B. DURTH-SACHS 1999, FAULHABER 2003).

Vorab soll betont werden, dass sich die eigenen Untersuchungen nur auf das Auslaugverhalten anorganischer Stoffe beschränkten. Somit bleiben Aussagen über das Gefährdungspotential letztlich auf diesen Bereich begrenzt. Da einzelne Materialien vermutlich ebenfalls mit organischen Schadstoffen belastet sind, könnte dies die Gefahrenprognose verschlechtern und sich auf die Entsorgungs- und Verwertungsmöglichkeiten negativ auswirken.

Allgemein betrachtet sind die verschiedenen Materialien hinsichtlich der von ihnen ausgehenden Umweltgefahren sehr unterschiedlich zu bewerten.

4.6.1 Bankettschälgut

Allgemeines

Laut Schätzungen (DURTH-SACHS 1999) fallen in der Bundesrepublik jährlich 2,3 Mio t Bankettschälgüter an. Das Bankettschälgut besteht aus Einträgen aus dem Verkehr wie verlorenem Transportgut, Öl oder Treibstoff, an Reifen anhaftendes Material etc., ferner aus Materialabrieb des fließenden Verkehrs wie Straßenbelag und Fahrbahnmarkierungen, Bremsen, Reifen etc. und aus sonstigen eingetragenen Stoffen (z.B. Laub, Streugut usw.).

Der rechtliche Status des Bankettschälgutes ist indes unklar. „Es wird ... deutlich, dass die gesetzlichen Grundlagen bei der Lösung der BSG-Problematik für unauflösbare Widersprüche sorgen.“ (DURTH-SACHS 1999:26). Bei der Verwertung werden Regelungen der Klärschlammverordnung oder aus dem Altlastenbereich angewendet. Teilweise werden Vorgaben zur Verwendung von Recyclingmaterial herangezogen. Aus der „Vielzahl angewandter Beurteilungsmaßstäbe“ resultiert eine „erstaunliche Bandbreite“ an „Werten“ zur Einordnung der Verwendbarkeit des Materials (DURTH-SACHS 1999:36).

Belastung

Diverse Untersuchungen haben gezeigt, dass im Bundesgebiet anfallende Bankettschälguter vielfältig belastet sein können. Eine potentielle Schadstoffbelastung ergibt sich z.B. durch Verluste von PAK- oder schwermetallhaltigem Transportgut, durch Einwaschen gasförmiger Schadstoffe aus Autoabgasen oder Abtropfen zinkhaltiger Lösung von Leitplanken. Die Bankettschälgüter weisen daher sowohl organische als auch anorganische Belastungen auf. DURTH-SACHS (1999) hat Feststoff- und Eluat-Untersuchungen an Bankettschälgütern einzelner Bundesländer zusammengetragen und ausgewertet. Die Ergebnisse sind für die verschiedenen Schwermetalle uneinheitlich. Während Arsen und Quecksilber wenig Probleme bereiten, sind vor allem die Gehalte an Kupfer, Zink und Blei deutlich erhöht. Eindeutig zeigt sich die stärkere Belastung des Materials von Bundesautobahnen (BAB), wie dies auch in den eigenen Untersuchungen v.a. auf Blei und Zink zutrifft. Bei der ebenfalls vorhandenen Belastung mit organischen Schadstoffen ist das Ergebnis weniger klar. Der Zusammenhang zwischen Stärke der Belastung und Straßenart ist geringer. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Gehalt an anorganischen Schadstoffen mit der Tiefe sowie mit steigender Entfernung zur Straße abnimmt. Dies wird vor allem darauf zurückgeführt, dass die Schadstoffe überwiegend partikelgebunden eingetragen werden (DURTH-SACHS 1999). Die Schadstoffe werden dann organisch oder an Ton-Humus-Komplexe gebunden (TEGETHOF & CICHOS 1994).

Entsorgung und Verwertung

Aus der Belastung resultiert eine unterschiedliche Praxis der Entsorgung und Verwertung. Die Möglichkeiten sind je nach Bundesland (Niedersachsen, Hessen, Bayern, Nordrhein-Westfalen nach DURTH-SACHS 1999) unterschiedlich, es gelten verschiedene, von den Zuordnungswerten der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) abweichende Richtwerte, auch differieren die Vorgaben für durchzuführende Untersuchen. Gemeinsam ist den Regelungen eine vorherige Beprobung des zu schälenden Materials sowie ein Verwertungsverbot für Wasserschutzgebiete. Da der genaue rechtliche Status des Bankettschälgutes unklar ist (s.o.), existiert eine Vielzahl von Bewertungsmaßstäben. Als Beispiel können die sog. Richtwerte für Blei dienen. Diese betragen in Niedersachsen 100 und 300 mg/kg Trockensubstanz, in Hessen 100 und 900 mg/kg und in NRW 100 und 1000 mg/kg. Für Kohlenwasserstoffe gelten in Niedersachsen 500 und 2000, in Bayern 100 und 400 und in Hessen 300 und 5000 mg/kg TS (DURTH-SACHS 1999:56). Der erste Wert gilt dabei für „uneingeschränkte“, der zweite Richtwert für „eingeschränkte“ Verwertung.

Bankettschälgut wurde bisher im Straßen- oder Landschaftsbau (Lärmschutzwände etc.) verwertet oder diente auch zur Abdeckung oder Rekultivierung von Deponien. Eine Verwertung in der Landwirtschaft ist teilweise nach wie vor unter bestimmten Voraussetzungen erlaubt und wird auch praktiziert. Eine Absiebung von Fremdmaterial und eine Mischung mit anderem Material wie Bodenaushub oder Kompost zur Reduzierung der Schadstoffkonzentration ist ebenfalls üblich. Letztere Maßnahme war für das beprobte Schälgut der Autobahn vorgesehen. Durch diese Maßnahme ist jedoch ein erhöhter Austrag von Schadstoffen denkbar. HOFMANN (2005) stellte in Ausläufen von Lysimetern, die mit Bodenmaterial und Kompost befüllt waren, sehr hohe Gehalte an gelöster organischer Substanz fest. Da Schadstoffe von organischer Substanz komplexiert werden können, ist mit hohem Austrag an DOC auch ein erhöhter Schadstoffaustrag möglich.

Möglichkeiten zur Verbesserung der Verwertbarkeit

Zur Verbesserung der Verwertbarkeit sind einige Aufbereitungsverfahren bekannt. Bei Einhaltung der jeweiligen Grenzwerte darf Bankettschälgut laut BIOABFV (1998, Anhang 1) grundsätzlich mit Bioabfällen kompostiert werden. Liegen die Schwermetalle in vielen Bankettschälgütern schon über den zulässigen Gehalten, so führt eine Kompostierung mit Bioabfällen in der Regel jedoch zu einer weiteren Aufkonzentration der Schadstoffe (SCHEITHAUER 2001). Daher ist diese Methode, abgesehen von der Herabsetzung des organischen Anteils wenig sinnvoll. Das trifft auch auf mikrobiologische Verfahren zu, die einzelne organische Verbindungen, meist aber auch nur unvollständig, abbauen können. Eine weitere Möglichkeit stellt der Entzug von Schadstoffen (v.a. Schwermetalle) durch Pflanzen dar. Aufgrund der hohen Kosten und der benötigten Zeiträume ist aber auch dieses Verfahren wenig praktikabel. Hinzu kommt die anschließend nötige Entsorgung der Pflanzen.

Physikalisch-chemische Verfahren wie Bodenwäsche u.ä. sind aufwendig, entweder nur auf Schwermetalle oder organische Schadstoffe anwendbar und zerstören die Bodenstruktur (DURTH-SACHS 1999). Eine Fraktionierung in Korngrößenklassen bringt ebenfalls wenig Erfolg, da erst in der Feinkiesfraktion (>2 mm) die Schwermetallgehalte in der Festsubstanz merklich abnehmen (GALLENKEMPER et al. 1992).

Ein Verfahren, das schnell, wenig kostenintensiv und umweltfreundlich den Schadstoffgehalt in Bankettschälgütern spürbar senkt, ist nicht vorhanden.

Lösungsansätze und Entsorgungskonzepte

Die Schwierigkeiten bei der Verwertung und Aufbereitung von Bankettschälgut und die Ergebnisse von durchgeführten Untersuchungen haben zu anhaltenden Diskussionen über ein Entsorgungskonzept für das anfallende Material geführt. Den ausgewerteten Vorschlägen gemeinsam ist die Forderung einer Trennung unterschiedlich stark belasteter Bankettschälgüter. Als Kriterium wird häufig die Straßenart herangezogen. Banketten von Bundesautobahnen werden überwiegend als hochbelastet angesehen, eine geringe Belastung (geringer Verkehr, geringes Bankettalter) müsse durch Untersuchungen nachgewiesen werden (DURTH-SACHS 1999). Schälgut von BAB sollte deshalb nicht offen, sondern nur unter bestimmten technischen Sicherheitsbedingungen (Abdeckung etc.) eingebaut werden (DURTH-SACHS 1999, GALLENKEMPER et al. 1992, GALLENKEMPER et al. 1996). Für die Entsorgung des hochbelasteten Schälguts wird meist eine Monodeponie nach den Richtlinien der TASI empfohlen. Diese beschränkt jedoch ab Juni 2005 den Gehalt an organischer Substanz im abzulagernden Abfall auf maximal 3%. Diese Grenze wird bei den meisten Bankettschälgütern allerdings überschritten. Bankettschälgut von Bundes-, Landes- und Kreisstraßen (BLK) wird überwiegend positiver bewertet. Eine landwirtschaftliche Nutzung wird jedoch auch hier ausgeschlossen. Während BREITENSTEIN & KRIEGER (1993) noch eine Verwendung bei der Gestaltung von Park- und Freizeitanlagen für möglich halten, wird sonst ein Belassen im Straßenseitenraum vorgeschlagen. Zum Teil werden auch hier Voraussetzungen wie günstige hydrologische Verhältnisse (feinkörniger Unterboden, geringer kf-Wert, großer Grundwasserabstand) eingefordert. Unter der Belassung im Straßenseitenraum wird in der Regel ein Verschleudern des Materials im Böschungsbereich verstanden. Problembehaftet ist hierbei die Tatsache, dass gerade bei BLK, deren Material sich potenziell für dieses Verfahren anbietet, der meist nötige Böschungsraum fehlt (im Gegensatz zu BAB). Hinzu kommt die Gefahr der Verwehung belasteten Materials, Erstickung von Pflanzenbewuchs und eine sukzessive Aufkonzentration von Schadstoffen. Für die Zukunft empfiehlt DURTH-SACHS (1999:113) eine Ausweisung unterschiedlich belasteter Straßenabschnitte anhand verschiedener Kriterien (Straßenart, Verkehrsaufkommen, „wasserwirtschaftliche Empfindlichkeit des Gebietes“ etc.). Nur unter bestimmten Bedingungen soll noch auf Einzelbeprobungen zurückgegriffen werden. Problematisch erscheint hierbei, dass ein Zusammenhang zwischen Verkehrs- und Bankettbelastung einer Straße nicht immer gegeben ist (BREITENSTEIN & KRIEGER 1993). Das nach dieser Einteilung gering belastete Material soll verschleudert oder bei Baumaßnahmen im Straßenseitenraum verwertet werden (offener Einbau). Für hochbelastetes Material wird ein Einsatz bei Straßenbaumaßnahmen vorgeschlagen (Lärmschutzwälle, Gestaltung von Tank- und Rastan-

lagen, Sichtdreiecke von BAB). Voraussetzung für einen Einsatz wäre jedoch eine Ummantelung mit bindigem Material. Ist ein derartiger Einbau nicht möglich, wird eine Verbringung auf Monodeponien gefordert. Jegliche Verwertung von Bankettschälgut soll nur außerhalb von Wasserschutzgebieten zulässig sein. Bei weiteren Straßenum- und Neubauten müssten die nötigen Voraussetzungen für eine entsprechende Entsorgung anfallender Schälgüter (Deponieraum, Möglichkeiten zum Verschleudern) geschaffen werden.

Bewertung des eigenen Materials

Trotz erhöhter Feststoffgehalte bei Kupfer, Molybdän und teilweise Blei geben die untersuchten Schälgüter im Hinblick auf die Prüfwerte lediglich erhöhte Konzentrationen an Zink an das Sickerwasser ab. Während das Problem für die Landstraßenherkunft nur anfänglich besteht, verstärkt es sich bei der Autobahnherkunft zum Versuchsende. Der Prüfwert wird 6- bis 9-fach, also erheblich, überschritten. Das Zink beim Material der Landstraße dürfte hauptsächlich aus Reifenabrieb stammen (MUSCHAK 1989, PLEßOW et al. 1998). Bei der Autobahn kommt, wie auch DURTH-SACHS (1999) bei ähnlichen Fällen vermutet, die Verzinkung der Leitplanke in unmittelbarer Nähe des Entnahmeortes als mögliche Quelle hinzu.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse ist eine Verwendung der untersuchten Bankettschälgüter (vor allem des Materials der Autobahn) im Landschaftsbau ohne Sicherungsmaßnahmen kritisch zu bewerten. Dies sollte erst nach einer entsprechend langen Zwischenlagerung und Auswaschung der hohen Zinkgehalte geschehen, was jedoch mit hohen Kosten für mehrfachen Transport, Lagerung und Entsorgung der anfallenden Sickerwässer verbunden wäre. Problematisch erscheint zudem der hohe Anteil an Fremdmaterial beim Bankettschälgut der Autobahn (v.a. Verpackungsreste aus Kunststoff und Metall etc., Zigarettenkippen, Unfallreste), der entfernt werden müsste. Auch sind die „Vorsorgewerte zum Schutz des Bodens“ (BBODSCHV) bzw. die „Zuordnungswerte der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall“ (LAGA) zum Teil überschritten. Eine Anwendung im Bereich der Nahrungs- und Futtermittelproduktion sollte generell unterbleiben. Da dies ein vergleichsweise einfacher und kostengünstiger Entsorgungsweg ist, wird er immer wieder favorisiert. Laut Aussagen von Mitarbeitern des Landkreises Goslar vom 7.1.2005 wünscht die dortige Straßenbauverwaltung die Verwertung von Bankettschälgut in der Landwirtschaft. Dies ist aufgrund der eigenen Ergebnisse und Angaben in der Literatur nicht zu empfehlen. Eine Verwertung von Schälgütern sollte prinzipiell nur dort erfolgen, wo keine Verschlechterung der bisherigen Situation verursacht wird.

4.6.2 Bauschutt

Allgemeines

Bei dem in den Versuchen eingesetzten Material handelt es sich genau genommen um einen Recycling-Baustoff, der sich aus **Bauschutt** und **Straßenaufbruch** zusammensetzt. Da das Material vom Lieferanten (BAM, BERGER & KALBE 2003) jedoch vereinfachend als Bauschutt bezeichnet wurde, ist dieser Begriff bisher ebenfalls verwendet worden. Aufgrund der Vielzahl verwendeter Begriffe mahnen BILITEWSKI et al. (1993:13) eine „Vereinheitlichung der Nomenklatur der Reststoffe der Baubranche“ an. Selbst in den gesetzlichen Bestimmungen fehlt meist eine genaue Definition der angewandten Begriffe (FAULHABER 2003).

„**Bauschutt** besteht aus festen Stoffen, die bei Bauwerksabbrüchen anfallen und überwiegend mineralische Bestandteile beinhalten“ (WALKER & TRÄNKLER 1993:3 nach LAGA-Abfallkatalog). Hierzu gehören überwiegend Beton, Ziegel, Kalksandsteine, Gipse und Mörtel, Fliesen sowie Leichtbaustoffe wie Steinwolle o. Ä.. Unter **Straßenaufbruch** werden mineralische Stoffe verstanden, die gebunden oder ungebunden im Straßenbau eingesetzt werden. Es handelt sich um Teer und Asphalt, Sande, Kiese und Schotter, sowie Beton in Form von Platten, Randsteinen etc. (BILITEWSKI et al. 1993, GALLENKEMPER & REGENER 1993, KARNUTH 2003).

Bis zum Jahr 2010 wird ein Anstieg der jährlichen Abfallmenge an Baureststoffen (neben Bauschutt und Straßenaufbruch auch Erdaushub und Baustellenabfälle) auf ca. 100 bis 130 Mio. t erwartet. (KANUTH 2003:1). Die Mengenangaben differieren jedoch in der Literatur sehr stark (u.a. bei BILITEWSKI et al. 1993, KARNUTH 2003, UMWELTBUNDESAMT 2004). Die Gründe liegen laut BILITEWSKI et al. (1993) an der Existenz vieler Quellen und Senken für Baureststoffe, mangelnde Zuordnung und Mengenermittlung z.T. ohne technische Hilfsmittel.

Beton stellt meist den Hauptbestandteil in aufbereitetem Bauschutt. Bei seiner Herstellung härtet einem mineralischen Rohstoff (in der Regel Kies) zugesetztes Zementpulver durch Hydratation aus. Rohstoffe für die Zementherstellung sind „Kalkstein ($CaCO_3$) und Stoffe bzw. Stoffgemische mit einem hohen Anteil an Siliciumoxid (SiO_2), Aluminiumoxid (Al_2O_3) und Eisenoxid (Fe_2O_3)“ (KARNUTH 2003:9). Durch Brennen des Materialgemisches entstehen verschiedene Klinkerphasen, die mit zugegebenem Wasser verschiedene Minerale bilden. „Calciumsilicathydrate (C-S-H-Phasen), Calciumhydroxid (Portlandit, CH, $Ca(OH)_2$) und untergeordnet Folgeprodukte des Calciumaluminats und des Calciumaluminatferrits bilden im Wesentlichen den Zementstein“ (KARNUTH 2003:10). Mit Zusätzen wie Gipsen etc. werden die Verarbeitungseigenschaften eingestellt. Ton und Lehm, eventuell mit Zuschlägen von Sand oder anderen Materialien, sind die Rohstoffe zum Brennen von Ziegeln. Asphalt als

Grundstoff im Straßenbau und wichtiger Bestandteil des Straßenaufbruches stellt hingegen ein Gemisch aus mineralischen Stoffen und Bitumen oder bitumenhaltigen Bindemitteln dar.

Belastung

Die Klinkerphasen des Zementes können verschiedene Spurenelemente einbinden (STEPHAN 1999). Deren jeweiliger Gehalt hängt normalerweise vom Gehalt in den Ausgangssubstanzen ab. Durch den Brennprozess werden aber leichtflüchtige Elemente ausgetrieben, andere wie Chrom, Nickel und Zink verbleiben in den neu entstandenen Mineralphasen (KARNUTH 2003). Ähnliches gilt für den Brennprozess von Ziegeln. Verbliebene Schwermetalle werden in eine „stabile, schwer lösliche Matrix eingebunden“ (KARNUTH 2003:12). Problematisch erscheint ein Einsatz von Filteraschen aus der Müllverbrennung und der Steinkohleverbrennung bei der Zementherstellung. Grundsätzlich ist eine Verarbeitung dieser Stoffe möglich (GALLENKEMPER et al. 1993:76) und wird auch praktiziert (KIPKA et al. 1994:1). Ähnliches gilt für Hochofenschlacke.

Bei der Verwitterung von Zement bzw. Beton ist die Carbonatisierung ein wichtiger Prozess. Daneben kommt es zur Bildung verschiedener Sekundärminerale u. a. den sog. C-S-H-Phasen (s. Kap. 4.6.3). Diese sind in der Lage, durch Sorption oder Substitution in den Zwischenschichten diverse Stoffe zu immobilisieren. Hierzu gehören u.a. auch Schwermetalle wie Cadmium, Kobalt, Chrom, Quecksilber, Nickel, Blei und Zink. Erst nach Erschöpfung des Carbonatpuffers kommt es zur Auflösung der C-S-H-Phasen und damit zur Freisetzung der gespeicherten Schwermetalle (KARNUTH 2003:18). Eisenoxide sind ebenfalls in der Lage, Schwermetalle zu adsorbieren und bei Neubildungen auch zu inkorporieren (GERTH 2001). Bei einer Auflösung der Oxide, z. B. unter reduktiven Bedingungen bei Wiederbefeuchtung nach Austrocknung, werden die Schadstoffe freigesetzt.

Als Schadstoffquellen im Bauschutt kommen umweltgefährdende Baustoffe in Frage. Es handelt sich dabei u.a. um Klebstoffe, Farben, Spachtel- und Vergussmassen, die bei einem Abbruch nicht oder nur teilweise von den mineralischen Baustoffen getrennt werden können. Besonders ältere Farben gehören aufgrund giftiger Schwermetallverbindungen (Bleichromate, Chrom-VI-Verbindungen) zu den Problemstoffen. Auch Beton, Mörtel und Putze enthalten mittlerweile eine Vielzahl von Zusatzstoffen (Bindemittel, Porenbildner, Erstarrungsverzögerer etc.), deren Verwendung „in Hinblick auf die Wiederverwertbarkeit der mineralischen Fraktion ... als kritisch anzusehen“ ist (WALKER & TRÄNKLER 1993:41). Ausführliche Informationen zu der gesamten Problematik finden sich ebenfalls bei WALKER & TRÄNKLER (1993).

Teerhaltige Materialien aus Straßenaufbruch weisen häufig hohe Gehalte an Phenolen und PAKs auf. Diese sind z.T. gut wasserlöslich und gasen bei höheren Temperaturen aus (GALLENKEMPER & REGENER 1993). Versuche von GALLENKEMPER & REGENER (1993) mit Straßenaufbruch zeigten bei Kupfer und Zink in einzelnen Proben z.T. deutliche Überschreitungen der Prüfwerte der BBODSCHV im S4-Eluat. Probleme bereiteten zudem die hohen PAK-Gehalte in Eluat und Feststoff.

Entsorgung und Verwertung

Nicht aufbereitetes Material wird nach WALKER & TRÄNKLER (1993) hauptsächlich im Deponiewegebau oder als Abdeckung verwendet.

Eine Aufbereitung von Bauschutt und Straßenaufbruch findet in mobilen oder stationären Anlagen statt. Für Produkte minderer Qualität (Tragschichtmaterial im untergeordneten Straßenbau) reicht meist Zerkleinern und Abscheiden von Fe-Metallen, für höherwertige Materialien ist eine aufwendigere Aufbereitungstechnik nötig (BILITEWSKI et al. 1993). Hierzu gehört eine maschinelle Aufbereitung mit Sortierung (Abscheiden großer und sperriger Teile), Klassierung (Trennung nach Korngrößen) und anschließender Zerkleinerung (Überführung in kleinere Kornstruktur). Abschließend folgt eine nochmalige Entfernung von Störstoffen (Eisen-/ Nicht-Eisen-Metalle, Kunststoffe, Holz) (WALKER & TRÄNKLER 1993).

Die Abfälle sollen nach der Aufbereitung natürliche Baustoffe wie Sande, Kiese und Schotter ersetzen. Das recyclierte Material kommt vorwiegend im Straßenbau zum Einsatz. Es wird im Ober- und Unterbau für „Frostschutzschichten, ungebundene Tragschichten, hydraulisch oder bituminös gebundene Tragschichten sowie in Binderschichten“ verwendet (BILITEWSKI et al. 1993:50). Weitere Verwendungsmöglichkeiten sind Lärmschutzwälle, Bauwerkshinterfüllungen, Verfüllung von Leitungsgräben, Bodenverfestigung, Untergrundverbesserung sowie Park- und Sportplätze (KARNUTH 2003). Das Material muss dabei je nach Einsatzzweck bestimmten Qualitätsansprüchen genügen. Hierzu gehören u.a. die stoffliche Zusammensetzung, Frost-, Verwitterungs- und Raumbeständigkeit, Korngröße und Korngrößenverteilung, mechanische Festigkeit sowie Umweltverträglichkeit etc. (BILITEWSKI et al. 1993). Als Zuschlag für Beton ist recyclierter Bauschutt bisher wenig gebräuchlich, da die Qualitätsanforderungen (Reinheit, Festigkeit) hier sehr hoch sind.

Die Einrichtung von Verwertungsquoten und ein Ablagerungsverbot für verwertbare Baureststoffe soll zukünftig die weitere Steigerung der Verwertungsquote von Baureststoffen ermöglichen (WALKER & TRÄNKLER 1993).

Voraussetzung für eine spätere Verwertung ist eine Trennung verschiedener Baureststoffe (BILITEWSKI et al. 1993, MAREK 1993). Eine Trennung sollte deshalb bereits auf der Baustelle

erfolgen. Das setzt einen recyclinggerechten Abbruch d.h. einen kontrollierten Rückbau voraus. Wünschenswert wären bei zukünftigen Bauvorhaben der Einsatz wiederverwertbarer Bauelemente (WALKER & TRÄNKLER 1993).

Bewertung des eigenen Materials

Trotz vergleichsweise geringer Feststoffgehalte weist der untersuchte Bauschutt hohe Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser auf. Die anfängliche Löslichkeit der Elemente Chrom, Kupfer, Molybdän und Nickel ist hoch, die Prüfwerte der BBODSCHV werden z.T. deutlich überschritten. Zum Ende der Versuchsperiode gehen die Schadstoffgehalte jedoch zurück und pendeln sich auf einem geringeren Niveau ein. Die genaue Zusammensetzung des untersuchten Materials ist leider nicht bekannt. Dies betrifft sowohl die Mengenanteile von Bauschutt und Straßenaufbruch, als auch die Zusammensetzung des Bauschuttes selbst. Somit kann über die Herkunft der Schadstoffe und den Grund ihrer hohen Löslichkeit nur spekuliert werden. Ausgangsstoffe für die Kontaminationen des Sickerwassers könnten bevorzugt Zusätze wie Abbindebeschleuniger u.ä. in Zement- und Betonresten, Glasuren auf Fliesen, Farben und Lacke, Reste von Wasser- und Abwasserrohren und Kupferkabel mit PVC-Ummantelung sein (s.o.). Die Löslichkeit wird vermutlich durch den Feinheitsgrad des Materials (überwiegend Mittelsand) begünstigt. Die Korngröße stellt für KARNUTH (2003) eine wichtige Größe dar. Er gibt jedoch zu bedenken, dass neben einer erhöhten Löslichkeit infolge der größeren Oberfläche auch gegenteilige Effekte durch verstärkte Sorption von Schadstoffen denkbar seien.

Aus Ergebnissen von pH-stat-Versuchen schließt KARNUTH (2003) auf eine Pufferkapazität von mehreren 10.000 Jahren, ehe sich in Bauschutt unter natürlichen Niederschlagsverhältnissen ein pH-Wert unterhalb von 5 einstellt und damit eine verstärkte Schwermetalllösung beginnt. STEPHAN (1999) konnte jedoch bereits im S4-Versuch eine vergleichsweise hohe Löslichkeit von Chrom aus Zement feststellen, da dieses Element auch oberhalb niedriger pH-Werte löslich ist. Auch KARNUTH (2003:II) gibt zu bedenken, dass „eine durch weitere Einflussgrößen (CO_2-Vorkommen, Temperatur) gesteuerte signifikante Stofffreisetzung bereits vor Erschöpfung der Pufferkapazität stattfinden kann“. Bei Freilandversuchen konnte er im Sickerwasser von Bauschutt Arsen-Konzentrationen von bis zu 112 µg/l feststellen. Im eigenen Versuch wurden die Prüfwerte bei diesem Element nicht überschritten. Die von KARNUTH (2003) gemessenen Überschreitungen der Prüfwertes für Chrom decken sich hingegen mit den eigenen Ergebnissen. Als Lieferant des Chroms könnte belasteter Beton bzw. Zement in Frage kommen (s.o.).

Im Hinblick auf den Schadstoffgehalt des Sickerwassers ist auch das Vorkommen von „huminstoffähnlichen Substanzen“ zu beachten (KARNUTH 2003:51ff, 103f). Diese tragen durch

Sorption und Bindung letztlich auch zum Transport einiger Schwermetalle bei. Als Quelle dieser Substanzen konnte Asphalt identifiziert werden. Bei der üblichen, standardisierten Vorgehensweise werden größere Huminstoffe und huminstoffähnliche Substanzen vor der Analyse abfiltriert. Dadurch kommt es zu einem Minderbefund bei den Schwermetallen. Auch der sonstige partikelgebundene Transport spielt bei Bauschutt eine Rolle (KARNUTH 2003). Vor diesem Hintergrund ist nicht auszuschließen, dass auch den untersuchten Sickerwässern Schadstoffe durch die Filtration entzogen wurden.

Aufgrund der Ergebnisse der Sickerwasseranalysen sollte das untersuchte Material trotz der vergleichsweise geringen Schadstoffgehalte im Feststoff nur in Bereichen verwertet werden, in denen ein Zutritt von Sickerwasser oder Niederschlag ausgeschlossen ist. Zudem wurde nur auf anorganische Schadstoffe untersucht, aufgrund des enthaltenen Straßenaufbruchs ist aber auch mit einer Belastung durch organische Schadstoffe zu rechnen.

4.6.3 Hausmüllverbrennungsasche

Allgemeines

Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle wurden noch vor wenigen Jahren überwiegend unbehandelt auf Deponien abgelagert. Da dies ab Juni 2005 nicht mehr möglich ist, wird zunehmend auf eine thermische Vorbehandlung der Abfälle gesetzt. Durch die Verbrennung wird eine Reduzierung des Müllvolumens um den Faktor 10-20, des -gewichtes um etwa den Faktor 3 erreicht (SCHÜTTELKOPF & KÖSTER 1996). In der Hausmüllverbrennung sind verschiedene Technologien einsetzbar (u.a. Rostfeuerungen, Wirbelschichtverfahren, Schwelbrennverfahren; GALLENKEMPER et al. 1993). In der Praxis haben sich die Rostfeuerungen verschiedener Bauart bewährt. Die Verbrennung findet meist bei 850-1200°C statt, die Rost-Asche oder -Schlacke wird anschließend über einen Nassentschlacker (Wasserbad bei 70°C) ausgetragen. Eisen- und zunehmend auch Nichteisenschrott werden nachträglich abgetrennt, Überkorn wird gebrochen oder entfernt (KLEIN 2002, SPEISER 2001). Anschließend erfolgt eine Zwischenlagerung der Schlacke, die mit mehreren Wochen, meist aber mit 3 Monaten angegeben wird (u.a. FÖRSTNER & HIRSCHMANN 1997).

Aus der Art der verbrannten Abfälle resultiert die Zusammensetzung und das Schadstoffpotential der verbleibenden Aschen und Schlacken. In den Schlacken treten sehr unterschiedliche Schadstoffe auf, „die einer Vielzahl von Mobilisierungs- und Immobilisierungsmechanismen unterliegen“ (HIRSCHLAG 1999:23).

Neben der Metallfraktion sind auch Kunststoffabfälle für den Eintrag von Schwermetallen und Spurenelementen in die Schlacken und Filteraschen verantwortlich (HEINRICHS et al.

1991, GALLENKEMPER et al. 1993). Diese werden in Stabilisatoren, Pigmenten und Füllstoffen oder Flammschutzmitteln eingesetzt (HEINRICHS 1995). PVC enthält so neben rd. 57% Chlor bis zu 0,3% Cadmium (GALLENKEMPER et al. 1993): Viele Metalle wie Silber, Arsen, Bismut, Cadmium, Quecksilber, Blei, Zinn und Zink oder deren Verbindungen verdampfen beim Verbrennungsprozess und reichern sich auf Oberflächen von Filterstäuben (s.u.) an (HEINRICHS 1995, GALLENKEMPER et al. 1993). Während diese Elemente folglich in der Schlacke abgereichert werden, kommt es zu einer Anreicherung von Chrom, Kupfer, Eisen, Nickel, Vanadium etc. (HEINRICHS 1995). Beispielhaft sei die Zusammensetzung von Schlacke der MVA Ingolstadt angegeben. Diese enthält nach SPEISER (2001) durchschnittlich 42 Gew. % SiO_2, 19% CaO, 11% Al_2O_3, 15% Fe_2O_3, 3% MgO, 3% Na_2O, 1% K_2O, sowie 6% Schwermetalle. Jedoch bleiben nach der Verbrennung auch 1 bis 2 Gew.% unverbrannten Kohlenstoffs übrig (HIRSCHLAG 1999).

Neben Rostaschen und –Schlacken fallen auch Filter- und Reingasstäube sowie Abwässer und Säuren aus der Rauchgasreinigung und der Entschlackung an. Hinzu kommt häufig Gips aus der Rauchgasentschwefelung. Besonders die Filteraschen, die meist etwa 10% der Verbrennungsrückstände ausmachen, sind hoch belastet. Neben Schwermetallen sind Dioxine und Furane zu nennen. Diese bilden sich im Abgas bei Temperaturen von 250-450°C „durch katalytische Reaktion von Metallchloriden und Chlor in chemisch gebundener Form unter Beteiligung von elementarem Kohlenstoff und Sauerstoff“ (De-Novo-Synthese, GALLENKEMPER et al. 1993:175).

Problematik

Bei der Entsorgung und Verwertung von Müllverbrennungsaschen ergibt sich als Problem, dass das Material nicht inert ist. SPEISER (2001), die die Schlackendeponie Großmehring untersuchte, berichtet von Temperaturentwicklung, Verfärbung und Verfestigung der Schlacke sowie chemischer Veränderung des Sickerwassers. Zudem konnten im Inneren der Deponie Temperaturen bis 90°C gemessen werden (KLEIN 2002, SPEISER 2001). Als Ursache kommen neben den Lagerungsbedingungen wie Zwischenlagerung, Einbaugeschwindigkeit und –mächtigkeit auch atmosphärische Einflüsse wie Wassereintrag, Sauerstoff- und CO_2-Zutritt hinzu (SPEISER 2001). Laut FÖRSTNER & HIRSCHMANN (1997:16) können sich in Schlackenablagerungen in „stärkeren Mächtigkeiten“ Temperaturen von 60-80°C über „Jahre bis Jahrzehnte“ halten. Dies stellt eine Gefahr für die Basisabdeckung von Deponien dar. Frische Schlacken sind schon bei Raumtemperatur sehr reaktiv, erst in gealterten Schlacken findet in der Regel keine Änderung bei den Hauptkomponenten mehr statt. Die Chlor- und Schwefelgehalte haben sich dann durch Auswaschung deutlich verringert, während der Kohlenstoffge-

halt angestiegen ist (SPEISER 2001). Die exothermen Reaktionen setzen nach dem Austrag aus dem Nassentschlacker ein. Es kommt zu Lösungs- und Fällungsreaktionen, zu Oxidations- und Hydratationsreaktionen sowie Cabonatisierungen bei CO_2-Zutritt. CaO reagiert bei hohen pH-Werten zu $Ca(OH)_2$, mit CO_2 dann zu $CaCO_3$, jedoch auch zu Calcium(silikat)(aluminat)(ferrat)(sulfat)-Hydraten (Speiser 2001). Metallische Phasen korrodieren, es bilden sich Metalloxide, -hydroxide und –salze. Wie bei der Al-Korrosion wird hierbei Energie freigesetzt. HIRSCHLAG (1999:14) beschreibt Wasserstoffgasentwicklung und Verfestigung der Schlacke, wobei „Carbonatisierungen, Hydratisierungen und die Bildung sog. C-S-H-Phasen (Calcium-Silikat-Hydrat-Phasen)“ eine große Rolle spielen. Von einer „natürlichen Vererzung“ durch Reduktion von Sulfat zu Sulfid sprechen SCHÜTTELKOPF & KÖSTER (1996:32). GALLENKEMPER & REGENER (1993:7) machen darauf aufmerksam, dass durch den Umsatz des metallischen Aluminiums zu Aluminiumhydroxid, „eine sehr quellfähige und unbeständige Substanz entsteht“.

Nach etwa 6 Monaten gehen die exothermen Reaktionen zurück, da durch Ummantelung der korrodierbaren Schlackefragmente der Stoffaustausch mit der Lösung abnimmt. Eine Verwertung dieses Materials würde eine Beschädigung der Verkrustungen mit sich bringen und weitere Korrosionsprozesse ermöglichen. Die Eignung derartiger „Inertisierung“ für eine weitere Verwertung wird von SPEISER (2001:202) daher bezweifelt. Eine frühzeitige Abdeckung der Schlacke, wie z.B. beim Einsatz im Straßenbau, würde weitere Korrosionsprozesse verlangsamen, jedoch das hohe Reaktionspotential erhalten.

Durch Abbau der organischen Bestandteile der Schlacke entstehen organische Säuren, die den pH-Wert senken, zudem können „organische Substanzen wie Hydroxycarbonsäuren“ Schwermetalle komplexieren. Beides erhöht potentiell die Mobilisierung besonders von Kupfer (HIRSCHLAG 1999:40). In eigenen Untersuchungen konnte er jedoch keinen Effekt feststellen. FÖRSTNER & HIRSCHMANN (1997) weisen diesem Prozess ebenfalls geringe Bedeutung zu.

Durch das hohe Puffervermögen werden die Schwermetallausträge aus den Schlacken anfänglich als gering beschrieben, FÖRSTNER & HIRSCHMANN (1997) konnten jedoch zeigen, dass ab pH-Werten von kleiner 6-7 die Schwermetallfreisetzung beginnt und relativ schnell verläuft.

Entsorgung und Verwertung

Den gesetzlichen Rahmen für die Behandlung von Müllverbrennungsrückständen bilden in der Bundesrepublik Deutschland das Abfallgesetz, die TA Siedlungsabfall, die LAGA-Merkblätter und das Bundesimmissionsschutzgesetz (SCHÜTTELKOPF & KÖSTER 1996).

Nach der Gesetzeslage kommt ein Einsatz von Schlacken „im Straßen- und Wegebau und bei der Anlage gewerblich genutzter, befestigter Flächen als Tragschicht unter wasserundurchlässigen Deckschichten“ in Frage. Unter bestimmten Voraussetzungen ist eine Verwendung in Lärmschutzwällen und Straßendämmen möglich (HIRSCHLAG 1999:15). GALLENKEMPER et al. (1993) erwähnen noch Befestigung ländlicher Wege und Nebenplätze, bei GALLENKEMPER & REGENER (1993:71) werden Anwendungen als „Auffüllmaterial im Erdbau (Bauraumauffüllung, Bodenverbesserung, Bodenverfestigung)“ genannt. Sogar Anwendungen zum Landgewinn im Küstenbereich werden berichtet (SCHÜTTELKOPF & KÖSTER 1996).

„Für die Wiederverwertung ist die Einhaltung von Zuordnungswerten (Z2-Werte [*im Eluat*]) vorgeschrieben. Bei Überschreitung dieser Zuordnungswerte müssen die Abfälle unter Einhaltung der in der TA Siedlungsabfall festgelegten Zuordnungswerte für die Deponieklasse I bzw. II abgelagert werden“ (HIRSCHLAG 1999:15).

Da Filterstäube in der Regel stark belastet sind, werden diese überwiegend Untertage deponiert oder zum Teil auch zur sog. Bergsicherung eingesetzt. Häufig findet vorher eine Inertisierung der Schadstoffe mit Zement oder ähnlichen Bindemitteln statt. Für die Lagerung eignen sich aufgrund des fehlenden Wasserzutritts v.a. Salzbergwerke (CASPAR 1999). Um die Deponierung zu vermeiden, müssen Dioxine und Furane entfernt und der Schwermetallgehalt reduziert werden. Ist letzteres nicht möglich, müssen die Schwermetalle so im Material fixiert werden, dass eine Auslaugung nur in sehr geringen Maße möglich ist. Eine Verwertbarkeit z.B. als Betonzuschlag oder im Straßenbau ist damit durchaus zu erreichen (GALLENKEMPER et al. 1993). Entsprechende Versuche wurden z.B. von (KIPKA et al. 1994) beschrieben. Eine derartige Behandlung ist jedoch kostenaufwändig (GALLENKEMPER et al. 1993).

Ziel einer Aufbereitung muss in jedem Fall die Reduzierung leichtlöslicher Salze und organischer Reste sowie Reduzierung der Eluierbarkeit von Schwermetall-Verbindungen sein. Beiträge hierzu können neben einer nachträglichen Behandlung auch eine Optimierung der Verbrennungsführung und vorherige mechanische Vorbehandlung und Trennung des Mülls sein. Vor der weiteren Verwertung müssen die Verbrennungsrückstände ausreichend lange gelagert werden.

<u>Aufbereitungsmöglichkeiten</u>

Um die Qualität der erzeugten Schlacke zu verbessern, können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden. Eine Zusammenstellung findet sich bei SCHÜTTELKOPF & KÖSTER (1996). Bereits bei der Herstellung von Produkten sollte darauf geachtet werden, dass der Einsatz von Stoffen, die in der Müllverbrennung zu Problemen führen, möglichst verboten oder reduziert

wird. Bei der Verbrennung selbst ist es unerlässlich, den Brennprozess so zu optimieren, dass organische Schadstoffe weitgehend zerstört und hochflüchtige Schadstoffe größtenteils aus der Schlacke ausgetrieben werden. Nach der Verbrennung ist eine Aufbereitung der Schlacke anzuraten. Mittels Auslaugverfahren können durch chemische Reaktionen Schadstoffe verringert oder immobilisiert werden. Eine Abtrennung schadstoffhaltiger Fraktionen, vor allem der Feinstfraktion, kann sinnvoll sein, da die Korngrößenverteilung einen starken Einfluss auf die Schadstoffelution hat. Waschung und Abtrennung der Fraktion <0,5 mm (ca. 10-30 Gew.%) würde zwar zu einer Verbesserung führen, der Aufwand wäre aber hoch und der Erfolg, gemessen daran, gering (GALLENKEMPER & REGENER 1993). Eine Waschung ist v.a. geeignet, den Salzgehalt zu reduzieren, der Schwermetallgehalt ließe sich nur mit starker Absenkung des pH-Wertes verringern. Problematisch ist auch der Anfall stark salzbelasteten Wassers.

Verglasungsverfahren können die Auslaugbarkeit von Schwermetallen aus MVA-Schlacken deutlich senken. Nachgeschaltete Verfahren brauchen jedoch mehr Energie als bei dem Verbrennungsprozess zuvor entstanden ist (GOHLKE 1993). Interne Sinterprozesse (Verbrennungstemperaturen von ca. 2000°C) eignen sich ebenfalls zur Abtrennung von Schadstoffen und zur Festlegung der restlichen Schadstoffe. Dazu sind sie kostengünstiger als die nachträgliche, „externe“ Sinterung (SCHÜTTELKOPF & KÖSTER 1996). KREBS (1997) konnte in Versuchen mit Filteraschen zeigen, dass mit Mikroorganismen durchschnittlich bis zu 50% der Schwermetallgehalte auslaugbar sind. Ob dieses Verfahren jedoch auch auf gröbere Filter- und Rostaschen anwendbar und in größerem Maßstab finanziell und organisatorisch praktikabel ist, darf bezweifelt werden.

Bewertung des eigenen Materials

Die Spurenelement- und Schwermetallgehalte im eigenen Material sind geringer als Vergleichswerte bei HEINRICHS et al. (1991). Die aus der Literatur zitierten Werte bei HIRSCHLAG (1999) liegen ebenfalls meist über den eigenen Analyseergebnissen. Im Vergleich zu den Ergebnissen von SPEISER (2001) ist das eigene Material deutlich Silizium-reicher. Da es sich abgesehen von den Daten von SPEISER (2001) um Untersuchungen vom Anfang der 90er Jahre handelt, ist möglicherweise die immer besser werdende Trennung des Mülls verantwortlich für die abweichenden Ergebnisse. Allerdings zeigen die bei HIRSCHLAG (1999:24) angegebenen Schwankungsbreiten (Faktoren bis ca. 100) die Inhomogenität derartiger Materialien.

Das Alter der Schlacken zum Zeitpunkt des Einbaus in die Lysimeter ist nicht bekannt. Laut Information der BAM sollte das Material bei Auslieferung mindestens drei Monate alt sein (BERGER & KALBE 2003). Bis zum Einbau vergingen weitere drei Monate. Anfängliche Umsetzungsprozesse müssten demnach bereits zum Großteil abgelaufen sein. Unklar ist hingegen der Einfluss der intensiven Mischung (und damit mechanischen Beanspruchung)

während der Aufbereitung bei der BAM sowie die dort erfolgte Trocknung.

Über ev. Wärmeentwicklung in den Lysimetern als Hinweis auf die Reaktivität des Materials kann keine Aussage gemacht werden, bei Rückbau der Anlage wurden lediglich, besonders im oberen Bereich, leichte Verfestigungen festgestellt.

Im Sickerwasser der Lysimeter traten hohe Gehalte an Chrom, Kupfer, Quecksilber, Molybdän und Antimon auf. Dies widerspricht Angaben aus der Literatur, wo meist von anfänglich geringem Mobilisationspotential für Schwermetalle ausgegangen wird. Die von SPEISER (2001:202) untersuchten Schlacken „zeigten generell nur eine geringe Mobilisation der Schwermetalle, wobei der Auslaugungseffekt für Kupfer, Blei und Zink am stärksten war“. Die Schlacken stellen für sie „kein erhöhtes Risiko für die Umwelt infolge Korrosionsvorgängen dar“. Laut Berechnungen von FÖRSTNER & HIRSCHMANN (1997) besitzen Müllverbrennungsschlacken sogar ein Puffervermögen gegenüber natürlichem Niederschlag von mehreren Tausend Jahren. Jedoch könne noch während der Säurepufferung durch Calcit ab pH 6-7 „erhöhter Schwermetallaustrag von Zink, Nickel und Kupfer ... beginnen“ (FÖRSTNER & HIRSCHMANN 1997:181).

Aufgrund der in den Lysimeterversuchen erzielten Ergebnisse sind die für das Material derzeit gängigen Einsatzbereiche kritisch zu bewerten. Auf jeden Fall ist dafür zu sorgen, dass ausreichend abgelagertes Material verwendet wird und ein Zutritt von Niederschlag in das Material unterbleibt, um Schadstoffausträge in das Grundwasser zu verhindern. Dies bedeutet jedoch, dass nur ein geringer Teil der Alterungsvorgänge stattfinden würde. Ein hohes Reaktionspotential bleibt erhalten, zumal bereits entstandenen Verkrustungen beim Einbau beschädigt werden, was weitere Reaktionen ermöglicht (vgl. SPEISER 2001). Für einen wasserunzugänglichen Einbau spricht auch ein eventueller partikel- oder kolloidgebundener Austrag von Schadstoffen, wenngleich FERSTL (2002) dem kolloidgetragenen Schwermetallaustrag keine weitreichende Bedeutung zumisst.

Wichtig erscheint auch eine Dokumentation des Einbaus. Für den Fall, dass sich aufgrund neuer Forschungsergebnisse Handlungsbedarf ergibt, muss zudem die Rückholbarkeit gegeben sein.

Aus Sicht des Umweltschutzes wäre generell eine Verglasung der Schlacken wünschenswert. Aufgrund des hohen Energiebedarfes und der Kosten ist dies jedoch nicht praktikabel. So bleibt nur die möglichst weitreichende Vermeidung und Schadstoffentfrachtung des Mülls.

4.6.4 Kehrgut

Das Kehrgut der Göttinger Stadtreinigung wies vorübergehend erhöhte bzw. grenzwertige Molybdängehalte im Sickerwasser auf. Zudem wurden steigende Antimongehalte mit durchschnittlich 2,5 facher Überschreitung des Prüfwertes beobachtet. Mit Ausnahme der genannten Elemente sind die Sickerwasserkonzentrationen und auch die Löslichkeiten gering. Über die Herkunft der Schadstoffanreicherungen in der Festsubstanz kann nur spekuliert werden. Vermutlich stammen sie hauptsächlich aus Eintrag durch den Straßenverkehr sowie aus Straßenabrieb. Dabei dürfte Antimon vorwiegend auf Brems-, Zink auf Reifenabrieb zurückzuführen sein (PLEßOW et al. 1998).

Es ist zu bedenken, dass Kehrregion und Jahreszeit die Zusammensetzung des Kehrgutes gravierend verändern. Es kommen sein hoher Fremd- und Grobmaterialanteil als Unsicherheit hinzu. Trotz relativ geringer Schadstoffausträge (Ausnahme Antimon) eignet es sich deshalb nicht zur Verwertung im Landschaftsbau oder für ähnliche Zwecke. Lediglich als Deponieabdeckung ist es geeignet. Allerdings könnten sich der hohe Anteil an organischer Substanz und die bei dessen Umsetzung freiwerdenden Huminstoffe nachteilig auf das Lösungsverhalten von Schadstoffen im abgedeckten Material auswirken. Das Kehrgut der Stadt Göttingen wird derzeit auf die Zentraldeponie des Landkreises in Deiderode verbracht.

4.6.5 Referenzmaterial Boden

Unproblematisch hinsichtlich der Austräge anorganischer Schadstoffe verhielt sich das Referenzmaterial Boden. Es kann auf Grundlage der Messergebnisse unbedenklich verwertet werden. Überprüft werden müssen aber vorab eventuelle Austräge an Organika. Da es sich um eine Altlast eines Teerwerkes handelt, ist eine nicht unerhebliche Belastung zu erwarten. Untersuchungen laufen dazu derzeit beim Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen.

4.6.6 Altlasten des Harzer Bergbaus

<u>Pochsand</u>

Im Zuge des Bergbaus mussten die in den Gruben geförderten Erze zur Gewinnung der Metalle vorab aufgearbeitet werden. Vor allem war eine Trennung der Erzmineralien von dem sie umgebenden Gestein (der sog. Gangart) notwendig. Nach der groben Vorsortierung (der sog. „Klaubearbeit“) wurde das gebrochene Gestein zunächst überwiegend in sog. Pochwerken zerkleinert. Die Pochwerke standen häufig entlang von Bachläufen in der Nähe der Gruben, um die Wasserkraft ausnutzen zu können (LIESSMANN 1997). Schwere „Stempel“ mit eisernen „Pochschuhen“ wurden gehoben und fallen gelassen. Das Material musste je nach Art der

Erze bis in die Sandfraktion zerkleinert werden. Danach erfolgte eine Klassierung nach Korngrößen und eine anschließende Sortierung nach unterschiedlichen Erzen. Da diese Vorgänge unter Einsatz von Wasser stattfanden, gelangte auch ein Teil der Erze und der noch metallhaltigen Gangart als Trübe in die Bäche. Die nicht oder nur gering erzhaltige Gangart wurde auf Halden in der Nähe der Pochwerke abgelagert. Das Einzugsgebiet des oberen Innerstetales zwischen Clausthal-Zellerfeld und Lautenthal besitzt laut BUND GOSLAR (2005) die höchste Konzentration derartiger Altlasten. Ebenfalls hoch ist hier die Anzahl ehemaliger Schmelzplätze und Schlackenhalden (KLAPPAUF & BROCKNER 2000).

Freisetzung und Verlagerung von Schadstoffen

Durch die Verhüttung wurde eine große Menge Schwermetalle freigesetzt, über verschiedene Transportpfade in die Umwelt eingetragen und in Senken wie Böden und Sedimenten angereichert (DOBLER 1999). Durch Rauchgase war zunächst hauptsächlich die nähere Umgebung der Hütten betroffen. Später nahmen durch höhere Schornsteine und Verlagerung von Hütten ins Harzvorland auch hier die Belastungen zu. Nachdem die Lagerstätten mit hoher Erzanreicherung erschöpft waren wurden seit dem 16. und 17 Jh. zunehmend Massenerze gefördert. Aufgrund der einfachen Technik und vor allem weil man anfangs die Zinkblende nicht zu nutzen wusste, gingen bei der Aufbereitung zunächst bis zu 75% des Erzes ungenutzt verloren. Bis zum Beginn des 19. Jh. ging die Verlustquote auf 25% zurück. Das verlorengegangene Material gelangte größtenteils in die Vorfluter (BARTELS 1992). Hier wird das Materials je nach Morphologie des Gewässers und Wasseraufkommen gleichmäßig oder stoßweise flussabwärts transportiert. Dabei kommt es zu einer Sortierung nach Korngröße und Dichte. Bereits abgelagertes Material kann wieder aufgenommen und weiter verlagert werden, so dass Flussbett und Uferbereiche sowohl als Senke als auch als Quelle für Schadstoffe fungieren können (BRADLEY 1995). Da außerdem eine Mischung mit weniger belasteten Sedimenteinträgen möglich ist, nehmen die Schadstoffgehalte im Gewässer nicht notwendig gleichmäßig mit steigender Entfernung von der Quelle ab. Neben der partikelgebundenen Verlagerung kommt es beim Transport zu Lösungs- und Fällungsprozessen sowie zu mechanischer Zerkleinerung mit Bildung von Ton- oder Sekundärmineralen (MEREFIELD 1995). Nach DOBLER (1999:8) können beispielsweise Schwermetalle in „Eisen-Manganoxihydroxide als stabile Endglieder der Verwitterung“ eingebaut und bei bestimmten pH-Verhältnissen festgelegt werden. Aufgrund unterschiedlicher Lösungsgeschwindigkeiten kommt es innerhalb der Sedimentfracht zu einer Veränderung der Schwermetallanteile.

Besonders Auenbereiche in Flussabschnitten mit geringem Gefälle, wie das z.B. im Harzvorland der Fall ist, können große Sedimentmengen aufnehmen. Die Verweilzeiten sind hier zu-

dem sehr hoch. Das Ausmaß und die Verteilung der Schadstoffanreicherungen in der Aue ist u.a. abhängig von der Größe der schadstoffhaltigen Partikel (MACKLIN 1996) und der Häufigkeit der Überflutungen des jeweiligen Bereichs (LEENAERS 1989). Auenbereiche stellen damit aufgrund des mobilisierbaren Schadstoffpotentials eine Gefahr für das jeweilige Gewässersystem dar. Abgesehen von der möglichen Sedimentmobilisierung bei Hochwässern, Baumassnahmen o.ä. ist bei einer Änderung der Milieubedingungen (pH-Wert, Redox-Verhältnisse) und im Zuge der natürlichen Bodenbildung eine verstärkte Lösung und Verlagerung von Schadstoffen möglich. Dies betrifft vor allem den in Aueböden häufigen Wechsel zwischen reduzierenden und oxidierenden Bedingungen infolge eines schwankenden Grundwasserspiegels. Unter oxidierenden Bedingungen werden Schwermetalle in Eisen- und Mangan-Oxiden eingebunden. (DOBLER 1999, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Im Zuge eines Wechsels zu reduzierenden Bedingungen werden mit der Auflösung der Eisen- und Mangan-Oxide auch die Schwermetalle freigesetzt.

Belastungen in den Auebereichen der Innerste

Aufgrund der hohen Zahl an Pochsand- und Schlackehalden und ehemaligen Verhüttungsplätzen im Einzugsbereich (s.o.) ist die Innerste stark mit Schwermetallen belastet. Einen Eindruck der Situation bei Lautenthal am Ende des 19. Jh. gibt die folgende Beschreibung von HOFFMANN (1899:166): „Die Bergwerksanlagen mit ihren mächtigen Schutthalden thun durch deren grade, steife Linien und die kahlen, schmutzfarbigen Abhänge der malerischen Wirkung allerdings einigen Eintrag ... . Auch das ewige Rummeln und Poltern der Maschinen ist auf die Dauer nicht allzu erfreulich ... . Ebenfalls eine Wirkung der Bergarbeit ist die widrige, schmutzig-graue Farbe des Wassers der Innerste, die solcherart als ein rechtes ungewaschenes Proletarierweib unter den Bachnymphen des Harzes eine absonderliche Stellung einnimmt. ... Von dem Wasser zu trinken wird wohl niemand sich versucht fühlen, und das ist ein Glück, denn es ist giftig für Menschen und Vieh mit Einschluß der Fischbrut. ´Gesund wie ein Fisch im Wasser´, das Wort verliert hier völlig seine Geltung."

Schon oberhalb des Innerste-Stausees unterhalb von Wildemann konnte FYTIANOS (1978) gut 8130 mg Blei und 6250 mg Zink je kg Flusssediment nachweisen. Vergleichbare Werte ergaben seine Untersuchungen unterhalb des Stausees. An der Belastungssituation im Unterlauf der Innerste hat auch die „Inbetriebnahme der ´Sedimentfalle´ Innerste-Stausee" nichts geändert (KLAPPAUF & BROCKNER 2000:86). EGGERS (1996) konnte bei 1992 durchgeführten Untersuchungen im Flusssediment unterhalb des Stausees im Vergleich zu den Ergebnissen von FYTIANOS (1978) mit 13800 mg/kg sogar höhere Zinkgehalte nachweisen (Blei: 6130 mg/kg). Nur wenig geringer sind die Belastungen von Hochflutsedimenten im Bereich um Langels-

heim. Bis zu 11450 mg Zink und 8300 mg Blei konnten je kg Sediment gemessen werden (EGGERS 1996). LINDORFER (1997) stellte bei Untersuchungen frischer Hochflutablagerungen der Innerste die höchsten Schadstoffgehalte aller Flüsse des Niedersächsischen Harzes fest. Zum Teil sehr hohe Belastungen zeigen auch Gartenböden im Stadtgebiet von Langelsheim (RODE 1995). Laut EGGERS (1996:11) stammen die Schadstoffe aus der „ ... Verfrachtung von Pochsand und Schlacken aus dem Harz ...“, sowie deren „ ... Ablagerung in den Akkumulationsbereichen im Flusslängsprofil ...“. Die Sedimente der Innerste sowie der Nebengewässer sind demnach besonders in der gröberen Kornfraktion mit Haldenmaterial durchmischt. Ein weiterer Grund der Belastung der Innerste und ihrer Sedimente ist der Eintrag „schwermetallhaltiger Sickerwasser“ aus „angrenzenden ehemaligen Halden und Verhüttungsplätzen und der Zulauf der Grane unterhalb von Langelsheim“ (EGGERS 1996). Letztere fungiert als Lieferant von Astfelder Schlacken.

Belastungen in den Auebereichen der Oker

Für die großflächigen Belastungen der Okerauen im Landkreis Goslar sind - im Unterschied zur Innerste (EGGERS 1996) - weniger im Oberlauf der Oker betriebene Gruben und Pochwerke verantwortlich. Der Großteil der Belastungen stammt aus der Bergbautätigkeit am Rammelsberg und den daraus entstandenen Halden besonders im Bereich Oker/Harlingerode. Vermutlich schon im 3. oder 4. Jh. n. Chr. begann die Erzgewinnung am Rammelsberg, wie Funde Rammelsberger Erze auf einen entsprechend datierten Verhüttungsplatz in Düna bei Osterode belegen (KLAPPAUF & LINKE 1990). Da die Erze des Rammelsberges sehr feinkörnig waren, waren Pochwerke zur Aufbereitung der Roherze nicht einsetzbar. Es wurde deshalb am älteren Waschverfahren festgehalten, bei dem jedoch „erhebliche Mengen an Erz verloren gingen“ (V. HORN 1974:60) und in die Oker gelangten. Zur Weiterverarbeitung der gewaschenen Erze wurde das sog. Haufenröstverfahren angewandt. Erst ab 1933 setzte sich in den Hütten Oker/Harlingerode das Flotationsverfahren zur Erzaufbereitung durch (V. HORN 1974). Nähere Informationen zu den einzelnen Techniken finden sich u.a. bei LIESSMANN (1997). Zu den Schadstofffreisetzungen der Aufbereitung kamen noch die Abwässer aus den Gruben, die z. B. am Rammelsberg noch heute „große Probleme“ bereiten (LIESSMANN 1997:124). Nach Einstellung des Bergbaus fungiert das Haldengebiet Oker/Harlingerode als „Hauptemissionsquelle“ (EGGERS 1996:41) für die Belastungen der Oker. Hierzu gehören belastete Sickerwässer sowie Eintrag von Schlacken und ausgespültem Feinmaterial. Weitere Kontaminationen entstehen durch Zufluss belasteter Nebengewässer wie z.B. der Ilse. „Als Kontaminationsquelle müssen die Halden der Kupferhütte Ilsenburg angesehen werden“

(EGGERS 1996:33). Belastungen bringen auch Emissionen industrieller Betriebe sowie der Straßenverkehr mit sich (MATSCHULLAT et al. 1991, MUSCHAK 1989).

Vor der Fertigstellung der Okertalsperre im Jahre 1956 kam es teilweise mehrfach im Jahr zu großflächigen Überschwemmungen der Okeraue (V. HORN 1974). Das führte zu einer weiträumigen Verteilung feiner Erzpartikel. 80% der Gesamtjahresschwebstofffracht wird laut EGGERS (1996) von Hochwässern transportiert. Harzbürtige Schwermetallanreichungen lassen sich mittlerweile noch im Mündungsbereich der Weser nachweisen (EGGERS 1996). Die Schadstoffanreicherung im Auenbereich der Oker war so hoch, dass es zu Krankheitssymptomen bei Pflanzen und Tieren kam (Oker- oder Steinfeldkrankheit). Letzteres wird auch aus dem Tal der Innerste berichtet (DEICKE 2000, V. HORN 1974). Laut KÖSTER & MERKEL (1985) sind in der Okeraue und im Raum Oker/Harlingerode ca. 46 km^2 mit Cadmium und Blei belastet. Untersuchungen von EGGERS (1996) ergaben an der Probenahmestelle „Probsteiburg“ (ca. 2 km flussaufwärts der eigenen Probenahmestelle) ca. 13730 mg Zink, 9160 mg Blei und 1600 mg Kupfer je kg im Hochflutsediment. Bodenuntersuchungen von V. HORN (1974) ergaben mit 116 mg Zink, 850 mg Blei und 158 mg Kupfer deutlich niedrigere Werte. Allerdings ist die Ortsangabe („unterhalb Oker“) für eine Vergleichbarkeit der Untersuchungen unzureichend. Auch handelt es sich nicht um frisch sedimentiertes Material sondern um Proben aus der Ackerkrume. Allgemein ist anzunehmen, dass die Schwermetallgehalte lokal stark schwanken, je nachdem, wie häufig der Bereich überflutet wurde und ob es sich um Fließrinnen oder Stillwasserbereiche handelt (s.o.). Weitere Ergebnisse zu Untersuchungen an Flusssedimenten finden sich bei EGGERS (1996) und MATSCHULLAT et al. (1991).

Bewertung der eigenen Materialien

Beim untersuchten **Pochsand** sind keine Belastungen durch das Sickerwasser festzustellen. Die Halde am „Silbernaal“ stellt nach den eigenen Ergebnissen somit derzeit keine Gefährdung durch auslaugende Schadstoffe dar. Dem gegenüber stehen kürzlich begonnene Untersuchungen des Landkreises Goslar mit Saugkerzen. Bei ersten Probenahmen konnten an der Haldenbasis Bleigehalte von 60 µg/l nachgewiesen werden (DR. SCHMOTZ, LK Goslar, mündl. Mitt.). BERGFELDT (1985) führte Säulenversuche mit Material verschiedener Bergbauhalden des Mittleren Schwarzwaldes durch. Ebenso wie der untersuchte Pochsand zeigte das Material ein hohes Puffervermögen, so dass die pH-Werte im neutralen bis leicht basischen Bereich blieben. Trotzdem ergaben sich hohe Bleigehalte im Sickerwasser zwischen 40 und 167 µg/l. Die Gesamtgehalte lagen hier bei 10800 mg/kg im Vergleich zu fast 60000 mg/kg beim eigenen Pochsand. Unbekannt ist jeweils die Behandlung (Filtration, Ansäuern) der Proben. KARNUTH (2003:51, 103f, vgl. Kap. 4.6.2) konnte zeigen, dass bei Pb^{2+} der Sorp-

tion an Huminstoffe und der Bindung an Partikel >0,45µm eine gewisse Bedeutung zukommt. Das Ansäuern und die Filtration könnte somit Auswirkungen auf die Bleikonzentration in der Messlösung haben. Abgesehen vom unterschiedlichen Versuchsaufbau dürften die differierenden Ergebnisse auf die verschiedene Mineralisierung der Materialien zurückzuführen sein. Das bedeutet, dass aus den eigenen Ergebnissen nur bedingt auf das Auslaugverhalten anderer Harzer Pochsandhalden geschlossen werden kann. Zu beachten ist auch die jeweilige Korngrößenzusammensetzung eines Materials. Der in den Lysimetern eingebaute Pochsand der Halde „Silbernaal“ hat sein Korngrößenmaximum in der Grobsandfraktion. Der Pochsand der „Spitzkegelhalde“ zeichnet sich durch eine wesentlich feinere Zusammensetzung aus. Letzteres bedeutet eine größere Oberfläche und damit möglicherweise eine vergleichsweise höhere Lösungsfähigkeit gegenüber Schadstoffen.

Bei dem Pochsand der Halde Silbernaal sind bei einer Gefährdungsabschätzung auch die extrem hohen Bleigehalte und erhöhte Gehalte anderer Elemente im Feststoff zu beachten. Ein Augenmerk sollte deshalb auf die erhöhte Erodierbarkeit des Materials und die Nähe zum Vorfluter gelegt werden. Erosionsrinnen am Haldenfuss zeugen von einem Eintrag des Materials in die unmittelbar angrenzende Innerste (Abb. 7). Hierdurch kommt es zu einer Aufarbeitung und einer diffusen Verteilung und Anreicherung von Schadstoffen (s. o.), die es zu vermeiden gilt. Dass die Problematik auch nach Ende des aktiven Bergbaus nach wie vor akut ist, zeigen die erwähnten Untersuchungen von LINDORFER (1997). Demnach wird die „... Verlagerung von Schwermetall-kontaminierten Relikten aus der vergangenen, aktiven Bergbauphase und damit die Diskussion um den Handlungsbedarf ... noch weit in die Zukunft andauern“ (LINDORFER 1997:75). In diesem Sinne sollte, soweit möglich, zumindest eine Erosion belasteten Materials unterbunden werden. Eine darüber hinausgehende Abdeckung von Halden wäre sinnvoll, um zusätzlich eine Reduzierung des Sickerwasseranfalls zu erreichen. Die Umsetzung dürfte jedoch häufig schwierig sein.

Aussagekräftige Schlüsse zum Gefährdungspotential der Auelehme der Okeraue können aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen nicht abgeleitet werden.

Im Vergleich zu anderen Standorten im Landkreis Goslar beinhaltet der untersuchte **Auelehm** nur geringe Schadstoffmengen und wäre nach den Feststoffgehalten in das „Teilgebiet 4“ - einer vom LANDKREIS GOSLAR (2001) vorgenommenen Unterteilung - einzuordnen. Laut dieser Veröffentlichung zum „Bodenplanungsgebiet Harz im Landkreis Goslar“ liegt die Entnahmestelle jedoch im „Teilgebiet 1“ in dem wesentlich höhere Schadstoffgehalte zu erwarten wären. Deshalb wurden Bleigehalte über 1000 mg/kg angenommen. Dies würde sich auch mit

den Angaben in der Literatur decken (s.o.). Aufgrund der kurzen Projektlaufzeit konnte diese Annahmen jedoch nicht vor Einbau des Materials in die Lysimeter geprüft werden. Im Sickerwasser der Lysimeter waren so nur anfänglich überhöhte Zinkgehalte messbar. Steht das Material nach Baumassnahmen zur Verwertung an, müssen aber die Feststoffgehalte berücksichtigt werden. Eine landwirtschaftliche Nutzung scheidet dabei aus. Laut dem Konzept des LANDKREISES GOSLAR (2001) darf derartig belastetes Material nur in Gebieten mit vergleichbaren oder höheren Schadstoffkonzentrationen abgelagert werden.

Um zu verhindern, dass von kontaminiertem Auelehm Gefahren ausgehen, sollte auch hier das Problem der Erosion im Auge behalten werden (vgl. auch DOBLER 1999). Besonders zum Erosionsschutz bei Hochwässern ist eine ausreichende Uferbefestigung nötig. Um zu verhindern, dass Schwermetalle aus den Aueböden in die Nahrungskette gelangen, wird häufig vorgeschlagen, die betroffenen Flächen nur als Grünland zu nutzen (EGGERS 1996) oder auf die Nahrungsmittelproduktion ganz zu verzichten (KLAPPAUF & BROCKNER 2000:86). Um die weitere Verlagerung von Schwermetallen zu vermeiden, muss deren Mobilität begrenzt werden. Redox-Bedingungen und pH-Werte sollten sich deshalb laut DOBLER (1999:106) zukünftig „nicht negativ“ verändern. FILIUS (1993:87) konnte zeigen, „ ... dass die Mobilität der Schwermetalle durch eine Kalkung sehr stark gemindert wird“. Dies liegt u.a. daran, dass Schwermetalle mit dem Ton bei einsetzender Lessivierung verlagert werden (FLEIGE & HINDEL 1987). Ein erhöhter mikrobieller Abbau bei pH-Erhöhung reduziert jedoch die Schwermetall-Bindungskapazität der organischen Substanz (FILIUS 1993:87).

EGGERS (1996) weist darauf hin, dass die Halden, die für Oker und Innerste als Schadstoffquellen nachgewiesen wurden, gesichert werden müssen. In wieweit diesbezüglich in der Zwischenzeit Maßnahmen ergriffen wurden, ist nicht bekannt.

4.6.7 Gießereirestsand

Nur anfänglich und nach der Trockenphase im Sommer 2003 gab es beim Gießereirestsand Prüfwertüberschreitungen. Diese betrafen das Element Molybdän. Dieses stammt vermutlich aus Legierungszusätzen des in Formen aus dem Gießereisand gegossenen Stahls (Cr-Mo-Stahl). Auch wenn hinsichtlich der Lösungsgehalte wenig Bedenken gegen eine Verwendung des Materials bestehen, ist doch auf Folgendes hinzuweisen: Dem Sand wird Ton als Bindemittel zur Stabilisierung zugesetzt. Dieser ist nach Abschluss des Gießvorganges nicht mehr an den Sand gebunden, so dass ein rieselfähiges Sand-Ton-Gemisch vorliegt. Die Lysimeter-Sickerwässer waren besonders in der Anfangsphase stark getrübt und am Kanisterboden setzte sich Ton ab. Da die Sickerwässer vor der Analyse filtriert wurden, kann keine Aussage über

die Belastung des Tons gemacht werden. Möglicherweise ist dieser aus dem Gießprozess belastet oder nimmt während des Durchfließens des Materials Schadstoffe aus dem Sickerwasser auf. Dies würde bedeuten, dass Schadstoffe mit dem Ton in das den Sand unterlagernde Material (im Regelfall natürliche Böden) gelangen und langfristig hier freigesetzt werden könnten. Eine genauere Untersuchung des Tonanteils im Sickerwasser wäre demnach wünschenswert. Zu vermuten ist eine starke Belastung mit Chrom, da dieses im Feststoff mit immerhin 0,6% vertreten ist. Auch bei anderen Elementen sind die Vorsorgewerte der BBODSCHV überschritten. Eine Verwertung in Anwendungen mit Zutritt von Niederschlags- oder Sickerwasser sollte daher durch weitere Untersuchungen abgesichert werden.

4.6.8 Bleihüttengranulat

Aufgrund sehr hoher Gesamtgehalte und extrem hoher Sickerwassergehalte ist eine andere Verwertung als die Deponierung des Bleihüttengranulates kaum vorstellbar. Die Prüfwerte des Sickerwassers waren zwar nur beim Antimon überschritten, dafür wurden aber Werte bis 3,6 mg/l (!) gemessen. Zudem stiegen zum Ende der Versuche die Konzentrationen von Arsen an. Beim Element Blei wird auf die Problematik der Sorption u.a. an Huminstoffe (Kap. 4.6.6) hingewiesen. Die hohen Feststoffgehalte im Material mit 9,5 % Blei und 7,6 % Zink sind aus eigener Sicht etwas verwunderlich. Mit den Möglichkeiten der heutigen, modernen Technik waren eine bessere Ausbeutung der eingesetzten Rohstoffe und damit geringere Gehalte im Reststoff erwartet worden.

5. Schlussbetrachtung

Eine detaillierte Erklärung für das unterschiedliche Lösungsverhalten und die Sickerwasserzusammensetzung der einzelnen Materialien ist kaum möglich. Bei der Auslaugung von Schadstoffen aus Abfallmaterialien handelt es sich um ein komplexes Wirkungsgefüge. Hierbei spielen sicher die Bindungsformen und damit verbundene Löslichkeitsunterschiede eine zentrale Rolle. Das zeigt sich an dem stark unterschiedlichen Lösungsverhalten der einzelnen Materialien. Der Bauschutt z.B. gibt trotz vergleichsweise geringer Feststoffgehalte hohe Schadstoffmengen an das Sickerwasser ab. Beim Pochsand ist es hingegen umgekehrt. Als weitere Faktoren kommen die Bedingungen innerhalb der Lysimeter (und im natürlichen Boden bzw. Deponiekörper) hinzu. Je nach Material variieren pH-Wert, Kornzusammensetzung sowie der Gehalt an organischer Substanz, Tonmineralen und Makroelementen. Klimatische Parameter wie Temperatur und Niederschlag und damit Wasser-, CO_2- und Sauerstoffgehalt (Redox-Potential) usw. kommen hinzu. Damit verbunden kommt es in unterschiedlichem Ausmaß zu Mobilisierung und Fällung von organischem Material, Komplexbildung zwischen Spurenelementen und organischer Substanz, Oxidation oder Reduktion etc. Die zeitliche Inkonstanz dieser Parameter erschwert die Vorhersage der weiteren Entwicklung zusätzlich. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Heterogenität vieler Materialien (u.a. LANG & KAUPENJOHANN 2003). Wechselwirkungen zwischen einzelnen Materialien und Elementen sind zu erwarten.

Folglich muss auch das Langzeitverhalten der untersuchten Materialien offen bleiben. Setzt sich die Tendenz steigender Chromgehalte im Sickerwasser des Bankettschälgutes der Landstraße fort, oder kommt es auch hier zu einer Einpendelung oder einem Abfall der Konzentrationen? Steigen die Zinkausträge aus dem Bankettschälgut der Autobahn mit einer Absenkung der pH-Werte weiter an? Wie verhält sich das Bleihüttengranulat mit seinen Austrägen an Antimon und den zuletzt steigenden Arsengehalten im Sickerwasser? Wie verhält sich der verfestigte Bauschutt? Kommt es bei Auflösung der Kittsubstanzen wieder zu verstärkter Freisetzung von Schadstoffen? Diese und ähnliche Fragen konnten aufgrund der begrenzten Versuchszeit nicht beantwortet werden.

Ein Einfluss der Abdeckung auf die Sickerwasserkonzentrationen war nur teilweise und dann meist vorübergehend feststellbar. Bei Betrachtung der Elementfrachten zeigt sich jedoch ein größerer Effekt. Durch die geringere Wasserhaltefähigkeit der Waldböden geben diese Lysimeter tendenziell größere Beträge an Schadstoffen ab. Eine eindeutige Korrelation zwischen Schadstoffaustrag und Art der Abdeckung konnte jedoch nicht festgestellt werden. Gleiches gilt bisher für den pH-Wert und den Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff im Sicker-

wasser. Auch hier stellt sich die Frage nach der zukünftigen Entwicklung. Nach FÖRSTNER & HIRSCHMANN (1997) und KARNUTH (2003) müsste der Einfluss dieser Parameter mit abnehmender Pufferkapazität der Materialien ansteigen.

Die Untersuchungsergebnisse geben nur einen Aufschluss über das initiale, kurzfristige und wahrscheinlich auch mittelfristige Lösungsverhalten der untersuchten Materialien. Eine verlässliche Langfristprognose scheint auch mit hohem technischen Aufwand schwierig und unsicher, wie u.a. auch LANG & KAUPENJOHANN (2003) vermuten. Als ein Ergebnis der Untersuchungen kann auch festgehalten werden, dass eine vorhergehende Klassifizierung eines Materials (die vermutlich auf Interpolation von Einzelergebnissen beruht) ohne eingehende Analysen sein Gefährdungspotential erheblich unter- oder überschätzen kann. Dies zeigte sich bei dem untersuchten Auelehm, der nach der Kartierung des LANDKREISES GOSLAR (2001) weit höhere Schadstoffbelastung haben müsste. Aber auch die Kenntnis der stofflichen Zusammensetzung reicht zur Gefährdungsabschätzung nicht aus. Erst eine genaue Kenntnis der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung dürfte die Prognosegenauigkeit verbessern. In diesem Zusammenhang muss auch davor gewarnt werden, die Analyse auf ein eingegrenztes Elementspektrum zu reduzieren. Das Beispiel Bleihüttengranulat zeigt, dass auch Elemente ein unerwartetes Gefahrenpotential zeigen können, die im Vorfeld nicht im Blickpunkt des Interesses standen und im allgemeinen nicht immer zum Standardrepertoir von Routinetests gehören. Des Weiteren ist auf den kolloid- und partikelgebundenen Schadstoffaustrag hinzuweisen, der in den vorliegenden Untersuchungen nicht betrachtet wurde, der aber bei einigen Abfallstoffen beim Schadstoffaustrag vermutlich eine Rolle spielt.

6. Fazit

Sowohl das Aufkommen als auch die Entsorgung und Verwertung von Abfällen bringt Gefahren für unsere Umwelt mit sich. Alle bisher praktizierten Maßnahmen der „Verwertung“ erscheinen vor dem Hintergrund der durchgeführten Untersuchungen und der Literaturrecherche Verlegenheitslösungen zu sein. Die vorhandenen Probleme werden dadurch nicht gelöst, sondern in die Zukunft verschoben. Der Umgang beispielsweise mit Bankettschälgut, Bauschutt oder Müllverbrennungsasche führt zu einer zunehmenden Vermüllung unserer Landschaft. Es handelt sich bei dessen Einsatz z.T. lediglich um eine getarnte Entsorgung (z.B. beim Einsatz von Filteraschen bei der Zementherstellung) und bestenfalls um ein Sekundärrecycling. Zur Lösung des Problems kann nur eine umfassende Reduzierung des Abfallaufkommens beitragen. Hierunter fällt im Baubereich auch die Entwicklung wiederverwendbarer Baustoffe, die nach Ablauf ihrer Nutzungsfrist zur Herstellung gleichwertiger Materialien genutzt werden können (Primärrecycling). Dies würde auch zu einer Schonung der natürlichen Recourcen ohne gleichzeitige Umweltgefährdung beitragen. Sekundärrecycling zum Ersatz von primären Rohstoffen ist zwar prinzipiell sinnvoll, aber nur, wenn keine neue Umweltgefährdung entsteht, die ev. gravierender ist als der Schaden durch die Nutzung der primären Rohstoffe.

Unumgänglich sind in Hinblick auf die beschriebene Problematik einfache und klar verständliche, zugleich aber hinreichend strenge gesetzliche Regelungen im Umgang mit Abfall und dessen Folgeprodukten. Hier scheint einiges an Nachholbedarf bezüglich Vereinfachung, Vereinheitlichung und Präzisierung vorhandener Bestimmungen gegeben. Dies zeigt die Praxis in Umgang mit Bankettschälgut (Kap. 4.6.1) und Bauschutt (Kap. 4.6.2). Als Beispiel können die Ausführungen von FAULHABER (2003:196) dienen, der die beim Umgang mit Bauschutt zu beachtende große Zahl an Vorschriften und Normen beklagt: „Die einschlägigen gesetzlichen und sonstigen Bestimmungen sind schwer zu überschauen: Die Regelungen auf Europa-, Bundes-, Landes- und Kommunalebene greifen nicht lückenlos ineinander und sind teilweise nicht aufeinander abgestimmt; sie sind unübersichtlich, uneinheitlich und zum Teil auch widersprüchlich. ... Es besteht eingehender Klärungsbedarf“. Wünschenswert ist bei zukünftigen Regelungen auch eine eindeutige Behandlung der Haftungsfrage. Eine Dokumentation und Überwachung des Einsatzes von Abfallstoffen wird ebenfalls für sinnvoll gehalten, um bei Bekanntwerden neuer Erkenntnisse entsprechend handeln zu können.

Wie sich in den Versuchen gezeigt hat, besteht dringender Bedarf an neuen, verlässlicheren Testverfahren, um für den Einsatz von Abfallmaterialien zu einer einigermaßen befriedigenden Sickerwasserprognose zu kommen. Die bestehenden Verfahren weisen allesamt Defizite auf. Dies bestätigt Ergebnisse anderer neuerer Untersuchungen. KARNUTH z.B. (2003:IIf)

stellt ebenfalls fest, „ dass weder Ammoniumnitrat-Extraktion, pH-stat-Versuch bei pH 4 noch S4- und Modifizierter S4-Test genauere Prognosen zum Stoffaustrag aus den Recycling-Materialien unter Freilandbedingungen ermöglichen. ... Daher sind diese Verfahren für eine Abschätzung der Stofffreisetzung aus den Recycling-Materialien als ungeeignet anzusehen. ... Es ist demzufolge nicht möglich, aus einem einzelnen der angewandten Laborversuche eine umfassende und präzise Prognose zum Stoffaustrag aus Recycling-Materialien unter Freilandbedingungen abzuleiten.“ Aus eigener Sicht muss mindestens ein Test zur Simulation des initialen Gefährdungspotentials und ein weiterer zur Langzeitabschätzung entwickelt werden.

7. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Auslaugverhalten anorganischer Schadstoffe aus verschiedenen Abfall- und Altlastmaterialien. Neben einer Gewinnung von Sickerwässern unter quasinatürlichen Verhältnissen war der Vergleich mit bekannten Verfahren zur Sickerwasserprognose weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen.

Eingesetzte Materialien

Ausgewählt wurden insgesamt zehn Materialien, die mengenmäßig von Bedeutung sind. Sie fallen regelmäßig in größerem Umfang an, oder sind bereits entsprechend angefallen und bereiten bei der Entsorgung und Verwertung aufgrund ihres Schadstoffgehaltes Probleme. Untersucht wurden Bankettschälgüter einer Landstraße und einer Autobahn, Kehrgut der Stadt Göttingen, Pochsand als Altlast des Harzer Bergbaus, belasteter Auelehm der Oker sowie Gießereirestsand und Bleihüttengranulat. Hinzu kamen die von der Bundesanstalt für Materialforschung im Zuge des BMBF-Förderschwerpunktes „Sickerwasserprognose“ bereitgestellten Referenzmaterialien Bauschutt, Müllverbrennungsasche und Boden. Als Blindvariante diente gewaschener Quarzsand.

Versuchsaufbau

Die Materialien wurden in einer Mächtigkeit von 50 cm in Kleinlysimeter eingebracht und mit drei Oberböden verschiedener pH-Verhältnisse (Waldboden, sandbürtig; Ackerboden sand- und lößbürtig) überdeckt. Je Variante wurden drei Parallelen erstellt. Zum Bau der Lysimeter dienten PVC-Kanalrohre, die zur Vermeidung von Kontaminationen innen mit PE-Folie ausgekleidet wurden. Die Sickerwässer wurden mittels Teflonschläuchen in einen angrenzenden Bunker geführt und in PE-Kanistern aufgefangen. Knapp zwei Jahre waren die Lysimeter dem natürlichen Niederschlag ausgesetzt. Die Beprobung der Sickerwässer erfolgte in unregelmäßigen Abständen entsprechend dem Sickerwasseranfall insgesamt zehnmal.

Parallel zu den Freilandversuchen sind die Prüfmaterialien einer Charakterisierung im Labor unterzogen worden. Neben einer Bestimmung der Feststoffgehalte gehörte hierzu u.a. die Anwendung der in der BBODSCHV genannten DIN-Verfahren Eluierbarkeit mit Wasser (DIN 38414-4), Ammoniumnitratextrakt (DIN 19730), Bodensättigungsextrakt (DIN V 19735), Königswasseraufschluss (DIN 38414-7) sowie als Alternative das EUF-Verfahren.

Feststoffgehalte

Die Prüfmaterialien zeigen ein sehr unterschiedliches Schadstoffreservoir. Die Bankettschälgüter weisen erhöhte Feststoffgehalte bei Kupfer, Blei und Zink auf. Mit diesen Elementen ist auch die Müllverbrennungsasche stark belastet. Bei Kehrgut sind Chrom, Kupfer, Molybdän

und Blei in erhöhter Konzentration im Feststoff vorhanden. Der Pochsand fällt unter anderem durch 60 g/kg (!) Blei in der Festsubstanz auf. Vor allem Blei und Zink sind als Problemelemente beim Auelehm zu nennen. Der Gießereirestsand wiederum enthält mit 6,5 g/kg große Mengen an Chrom. Die höchsten Schadstoffgehalte weist das Bleihüttengranulat auf. Arsen, Cadmium, Kobalt, Chrom, Kupfer, Molybdän, Nickel, Antimon und Zinn sind zu nennen. Besonders hoch sind die Gehalte an Blei und Zink (95 g/kg (!) bzw. 76 g/kg (!)). Bauschutt und das Referenzmaterial Boden erbrachten vergleichsweise unauffällige Feststoffgehalte.

Sickerwassergehalte

Bei den Lysimetern mit Bankettschälgut werden im Sickerwasser die Prüfwerte für Zink deutlich überschritten. Das trifft auf das Bankettschälgut der Autobahn stärker zu als auf das der Landstraße. Der Bauschutt gibt vergleichsweise viele Schadstoffe an das Sickerwasser ab. Die Konzentrationen der Elemente Chrom, Kupfer, Nickel und Molybdän liegen hier – zum Teil deutlich - über dem Prüfwert der BBODSCHV. Ähnliches gilt für die Hausmüllverbrennungsasche. Neben Chrom, Kupfer, Molybdän und Antimon sind hier auch die Elemente Quecksilber und Arsen betroffen. Kupfer weist mit teilweise über 2 g/l (!) besonders hohe Konzentrationen auf. Während das untersuchte Kehrgut hauptsächlich noch durch Prüfwertüberschreitungen bei Antimon auffällt, erweisen sich das Referenzmaterial Boden, Pochsand und der Auelehm als unauffällig bezüglich der Sickerwasserkonzentrationen. Beim Gießereirestsand lassen sich nur anfänglich erhöhte Konzentrationen von Molybdän und Quecksilber nachweisen. Sehr hohe Schadstoffausträge zeigt das untersuchte Bleihüttengranulat. Teilweise über 3,5 g/l (!) Antimon waren im Sickerwasser enthalten.

In der Einstellungsphase gibt es größere Schwankungen im Zeitverlauf der Elementgehalte. Anschließend lässt sich eine Einpendelung ausmachen, die Gehalte gehen mit Ausnahmen tendenziell zurück. Der Einfluss der Abdeckung auf das Lösungsverhalten der Schadstoffe ist, mit Ausnahmen, als gering zu bezeichnen. Es ergibt sich lediglich eine leichte Tendenz zu höheren Schadstoffgehalten bei Abdeckung mit Waldboden. Aufgrund des anfangs hohen Puffervermögens der Prüfmaterialien kann aber ein stärkerer Einfluss der Abdeckung für die Zukunft nicht ausgeschlossen werden.

Ermittlung der Quellstärke nach DIN

Der Vergleich der angewendeten DIN-Verfahren untereinander ergibt ein diffuses Bild. Der S4-Versuch liefert größtenteils die geringsten Eluatkonzentrationen, die zugleich oft unterhalb der Sickerwasserkonzentrationen liegen. Ammoniumnitratextrakt und Bodensättigungsextrakt erbringen höhere Eluatkonzentrationen und überschätzen häufig die Sickerwassergehalte. Die DIN-Versuche reagieren auf die verschiedenen Materialien sehr unterschiedlich, eine befrie-

digende Vorhersage der gemessenen Schadstoffgehalte im Sickerwasser war mit keinem Verfahren möglich. Ein berechenbarer Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der einzelnen Verfahren war zudem nicht zu erkennen.

8. Literatur

BANNICK, C., EBERLE, S. H. & RUDEK, R. (2001): Sickerwasserprognose – neues Instrument zur Abschätzung der Grundwassergefährdung beim Aufbringen schwachkontaminierter Materialien auf Böden. Altlastenspektrum 1/2001: 38-40.

BARTELS, C. (1992): Vom frühneuzeitlichen Montangewerbe zur Bergbauindustrie. Erzbergbau im Oberharz 1635 - 1866. Bochum.

BBODSCHG (1998): Bundes-Bodenschutzgesetz. Gesetz zum Schutz des Bodens vom 17. März 1998. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr.16: 505-510. Bonn.

BBODSCHV (1999): Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetztes. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 36: 1554-1582. Bonn.

BERGER, W. & KALBE, U. (2003): Herstellung von Referenzmaterialien. Unveröffentlichter Beitrag der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) zur Zwischenpräsentation zum Förderschwerpunkt Sickerwasserprognose (SIWAP). Karlsruhe.

BERGFELDT, T. (1985): Untersuchungen der Arsen- und Schwermetallmobilität in Bergbauhalden und kontaminierten Böden im Gebiet des Mittleren Schwarzwaldes. Karlsruher Geochemische Hefte 6. Karlsruhe.

BIELERT, U. (1996): Lösungsverhalten und Herkunft von Spurenelementen in Grund- und Trinkwässern. Unveröffentl. Diplomarbeit Univ. Göttingen.

BIELERT, U. (1999): Hydrogeochemie von Spurenelementen in Sicker-, Grund- und Trinkwässern – von der Sickerwasserpassage bis zur Aufbereitung. Diss. Univ. Göttingen.

BIELERT, U., HEINRICHS H. & BECKER, K.-W. (1999): Validierung von Boden-Eluat-Gehalten zur Prognose von Inhaltsstoffen des Bodensickerwassers für das untergesetzliche Regelwerk / BBodSchG. Geochem. Institut der Univ. Göttingen, Forschungsbericht BMU 207 06 008/2. Umweltbundesamt Berlin.

BILITEWSKI, B., GEWIESE, A. & WAGNER, S. (1993): Recycling von Baureststoffen. In: BILITEWSKI, B. (Hrsg.): Recycling von Baureststoffen. Verlag für Energie- und Umwelttechnik. Berlin.

BIOABFV (1998): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung – BioAbfV) vom 21.09.1998. Bundesgesetzblatt I, Nr. 65: 2955-2981.

BRADLEY, S. B. (1995): Long-term Dispersal of Metals in Mineralised Catchments by Fluvial Processes. In: FOSTER, I., GURNELL, A. & WEBB, B. (Eds.): Sediment and Water Quality in River Catchments: 161-177. Chichester.

BREITENSTEIN, J. & KRIEGER, B. (1993): Untersuchung zur Schnittgutverwertung, Teil III. Erhebung und Bewertung der anorganischen Schadstoffbelastung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen V29. Bergisch Gladbach.

BUND Kreisgruppe GOSLAR (2005): Bodenschutz im Landkreis Goslar. http://www.bund-niedersachsen.de/kg/goslar/projekte/bodens.html.

CASPAR, H. (1999): Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Immobilisierung von Schadstoffen in MVA-Rückständen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Entsorgungswege. Diss. TU Clausthal.

CREMER, S. (1991): Mobilisierung von Schwermetallen in Porenwässern von belasteten Böden und Deponien: Entwicklung eines aussagekräftigen Elutionsverfahrens. Diss. Univ. Bochum.

DAVIS, J. A. (1984): Complexation of trace metals by absorbed natural organic mater. Geochimica et Cosmochimica Acta 48: 679-691.

DEICKE, M. (2000): Findings Concerning the Environmental History of the Harz Mountains and the Utilisation of Mineral Resources. In: SEGERS-GLOCKE, C. & WITTHÖFT, H.: Aspects of Mining and Smelting in the Upper Harz Mountains up to the 13th/14th Century. Beiträge zur Landeskunde Niedersachsen 22: 66-78. Scripta Mercaturae Verlag.

DOBLER, L. (1999): Der Einfluss der Bergbaugeschichte im Ostharz auf die Schwermetalltiefengradienten in historischen Sedimenten und die fluviale Schwermetalldispersion in den Einzugsgebieten von Bode und Selke im Harz. Diss. Univ. Halle/Saale. http://www.webdoc.sub.gwdg.de/ebook/tm/2002/pub/geo/99H196/of_index.htm.

DRISCOLL, C. T., FULLER, R. D. & SCHECKER, W. D. (1989): The role of organic acids in the acidification of surface waters in the eastern US. Water, Air and Soil Pollution 43: 21-40.

DUFFY, S. J., HAY, G. W., MICKLETHWAITE, R. K. & VAN LOON, G. W. (1989): Distribution and classification of metal species in soil leaches. Science of the total Environment 87/88: 189-197.

DURNER, W. (2001): Sickerwasserprognose aus naturwissenschaftlicher Sicht. TU Braunschweig. www.soil.tu-bs.de/mitarbeiter/durner/public/01_GAB.pdf.

DURTH-SACHS, I. (1999): Entwicklung eines Entsorgungskonzeptes für Bankettschälgut von Straßen. Diss. TU Darmstadt.

EBERLE, S. H. & OBERACKER, F. (2001): Die Sickerwasserprognose – Spagat zwischen wissenschaftlicher Genauigkeit und praktikablem Vollzug. Altlastenspektrum 6/2001: 281f.

EGGERS, B. (1996): Schwermetallbelastung von Schwebstoffen und Sediment an Oker und Innerste. Arbeitsgemeinschaft zur Reinhaltung der Weser (Hrsg.). Schriftenreihe Heft 4. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie. Hildesheim.

FAULHABER, R. (2003): Verantwortlichkeiten und Haftung beim Umgang mit Bauschutt. Europäische Hochschulschriften Reihe 2, Bd. 3611. Frankfurt.

FERSTL, W. (2002): Physikalisch-chemische Charakterisierung von Kolloiden in Wasser/Reststoffsystemen: kolloidgetragene Schwermetallmobilisierung in Schlacken. Diss. Univ. Regensburg.

FILIUS, A. (1993): Schwermetall-Sorption und -Verlagerung in Böden. Diss. TU Braunschweig.

FLEIGE, H. & HINDEL, R. (1987): Auswirkungen pedogenetischer Prozesse auf die Schwermetallverteilung im Bodenprofil. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 55: 313-319.

FLÜHLER, H., DURNER, W. & FLURY, M. (1996): Lateral mixing processes - A key for understanding the solute transport regimes. Geoderma 70: 165-183.

FÖRSTNER, U. & HIRSCHMANN, G. (1997): Langfristiges Deponieverhalten von Müllverbrennungsschlacken. Verbundvorhaben Deponiekörper. Abschlußbericht Teilvorhaben 1. TU Hamburg-Harburg. Hrsg.: Umweltbundesamt.

FYTIANOS, K. (1978): Untersuchungen auf Schwermetalle in Fließgewässern und Flußsedimenten des West-Harzes. Diss. Univ. Göttingen.

GABRIEL, B. & ZIEGLER, G. (1997): Natürliche und anthropogen überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Festgesteinsaquiferen. In: MATSCHULLAT, J., TOBSCHALL, H. J. & VOIGT, H. J. (Hrsg.): Geochemie und Umwelt: 343-357. Springer Verlag Berlin.

GALLENKEMPER, B., BECKER, G. & FRITSCHE, M. (1992): Schadstoffgehalte von Bankettschäl- und Kehrgut und deren umweltverträgliche Entsorgung. Forschung, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik 664. Bundesministerium für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg.

GALLENKEMPER B., FRITSCHE, M., SOWA, A. & WALTER, G. (1996): Untersuchungen zum Verhalten und zu den Auswirkungen des Einbaus von Bankettschälgut im Bereich von Erdbaumaßnahmen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen V34. Bergisch Gladbach.

GALLENKEMPER, B. & REGENER, D. (1993): Emissionsarmer Einsatz von Bauschutt, Straßenaufbruch und Rost- und Kesselasche aus der Müllverbrennung. Forschungsnetz Abfallwirtschaft und Altlasten des Landes Nordrhein-Westfalen. LWA-Materialien 10/93. Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.

GALLENKEMPER, B., WALTER, G. & EITNER, R. (1993): Verwertungsmöglichkeiten für Rückstände aus Feuerungsanlagen, insbesondere Wirbelschichtfeuerungen. Forschungsnetz Abfallwirtschaft und Altlasten des Landes Nordrhein-Westfalen. LWA-Materialien 11/93. Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.

GAMBRELL, R. P., WIESEPAPE, J. B., PATRICK, W. R. JR & DUFF, M. C. (1991): The effect of pH, redox and salinity on metal release from a continental sediment. Water, Air and Soil Pollution 57/58: 359-367.

GERNANDT, P. (2003): Transport von Wasser, Soluten und Dispersionen in wasserungesättigtem Sand. Diss. Univ. Göttingen.

GERTH, J. (2001): Quelltermermittlung für anorganische Schadstoffe unter simulierten in situ-Verhältnissen. Altlastenspektrum 6/2001: 305-309.

GOBRAN, G. R. & CLEGG, S. (1992): Relationship between total dissolved organic carbon and SO_4^{2-} in soil and waters. Science of the Total Environment 117/118: 449-461.

GOHLKE, O. (1993): Thermische Inertisierung von Rückständen der Müllverbrennung – Immobilisierung und Verdampfung von Schwermetallen. Diss. TU München.

HAHN-WEINHEIMER, P., HIRNER, A. & WEBER-DIEFENBACH, K. (1995): Röntgenfluoreszenzanalytische Methoden: Grundlagen und praktische Anwendung in den Geo-, Material- und Umweltwissenschaften. Vieweg Verlag Braunschweig.

HARTMANN, G. (1994): Late-medieval Glass Manufacture in the Eichsfeld Region (Thuringia, Germany). Chemie der Erde 54: 103-128.

HEINRICHS, H. & HERRMANN, A. G. (1990): Praktikum der Analytischen Geochemie. Springer-Verlag Berlin.

HEINRICHS, H. (1995): Umweltgeochemie von Müll. Der Aufschluss 46: 155-162.

HEINRICHS, H., BRUMSACK, H. J. & SCHULTZ, W. (1991): Analyse von Müll. Laborpraxis 9/91: 709-715.

HEINRICHS, H., HUNDESRÜGGE, T. & BRUMSACK, H. J. (1997): Siedlungsabfälle: Verwertung - Verbrennung - Deponierung. In: MATSCHULLAT, J., TOBSCHALL, H. J. & VOIGT, H. J. (Hrsg.): Geochemie und Umwelt: 189-202. Springer Verlag Berlin.

HINNERS, T. A., HUGHES, R., OUTRIDGE, P. M., DAVIS, W. J., SIMON, K. & WOOLARD, D. R. (1998): Interlaboratory Comparison of mass spectrometric methods of lead isotopes and trace elements in NIST SRM 1400 Bone Ash. Journal of Analytical Atomic Spectrometry 9/1998: 963-970.

HIRSCHLAG, H. (1999): Zum geochemischen Langzeitverhalten von Müllverbrennungsschlacken. Analytik organischer Restkomponenten und deren Einfluß auf die Schwermetallmobilisierung. Diss. Univ. Regensburg. Forschungszentrum Karlsruhe. Wissenschaftliche Berichte FZKA: 6221. Karlsruhe.

HOFFMANN, H. (1899): Der Harz. Unveränderter Nachdruck 1995. Leibzig. ISBN 3-89350-794-9.

HOFMANN, H. (2005): Die Eluate des mikrobiellen Abbaus organischer Massen in ihrer organisch-chemischen Zusammensetzung und ihrer Kopplung mit freigesetzten Ascheanteilen. Diss. Univ. Göttingen.

HORN, H.-H. VON (1974): Die Oker- oder Steinfeldkrankheit. Eine Umweltverschmutzung aus vergangenen Jahrhunderten und ihre Spätfolgen. Diss. Univ. Göttingen.

HORNBURG, V. (2002): Vergleich von Methoden zur Bestimmung der Gesamtgehalte von Haupt- und Spurenelementen in Böden, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen. http://www.gd.nrw.de/zip/a_pjb02.pdf

KARNUTH, M. (2003): Verhalten von Recycling-Materialien in der Umwelt: Labor- und Feldversuche. Diss. Univ. Mainz. http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=969939817.

KAUPENJOHANN, M. & WILCKE, W. (1995): Untersuchungen zur pH-Pufferkinetik von Böden mit einer neuen pH-stat-Technik. Mitteilungen der Dtsch. Bodenk. Gesellsch. 76: 1441-1444.

KEREKES, J. S., BEAUCHAMP, S. & TORDON, R. (1986): Sources of sulphate and acidity in wetlands lakes in Nova Scotia. Water, Air and Soil Pollution 31: 207-214.

KIPKA, A., LUCKSCHEITER, B. & LUTZE, W. (1994): Verglasung konventioneller, schwermetallhaltiger Abfälle aus Müllverbrennungsanlagen. Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Nukleare Entsorgungstechnik. Karlsruhe.

KLAPPAUF, L. & BROCKNER, W. (2000): Der Harz als frühmittelalterliche Industrielandschaft. Abschlussbericht des Forschungsprojektes Az II/70959. Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege Goslar / TU Clausthal. Unveröffentlicht.

KLAPPAUF, L. & LINKE, F.-A. (1990): Düna. I. Das Bachbett vor Errichtung des repräsentativen Steingebäudes. Materialienhefte zur Landeskunde Niedersachsens 22. Hildesheim.

KLEIN, R. (2002): Stoff- und Energiebilanz von Deponien aus Müllverbrennungsschlacken. Diss. TU München. http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=96480994X.

KÖSTER, W. & MERKEL, D. (1985): Schwermetalluntersuchungen landwirtschaftlich genutzter Böden und Pflanzen in Niedersachsen. LUFA Hameln.

KREBS, (1997): Mikrobiell induzierte Mobilisierung von Metallen aus Rückständen der Kehrrichtverbrennung. Diss. Univ. Zürich.

KRETZSCHMAR, R., BORKOVEC, M., GROLIMUND, D. & ELIMELECH, M. (1999): Mobile surface colloids and their role in containment transport. Adv. in Agronomy 66: 121-181.

KRW-/ABFG (1994): Keislaufwirtschafts- und Abfallgesetz. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherheit der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen vom 24. September 1994. BGBl. III 2129-27-2 (1994). Zuletzt geändert durch Art. 8 des Gesetzes vom 27.7.2001 (BGBl. I: 1950) und Art. 4 des Gesetzes vom 9.9.2001 (BGBl. I.: 2331).

LANDKREIS GOSLAR (2001): Information zur Verordnung des „Bodenplanungsgebietes Harz im Landkreis Goslar". Goslar.

LANDKREIS GOSLAR (2004): Bodenschutz und Bodenplanungsgebiet Harz im Landkreis Goslar. Information des Amtes für Wasser- und Bodenschutz beim Landkreis Goslar. Goslar.

LANG, F. & KAUPENJOHANN, M. (2003): Quellstärkeermittlung für die Sickerwasserprognose: Chancenlose Jagd nach dem falschen Ziel? Altlasten Spektrum 2/2003: 80-87.

LEENAERS, H. (1989): The Dispersal of Metal Mining Wastes in the Catchment of the River Geul (Belgium - The Netherlands). Netherlands Geographical Studies 102.

LFW RHEINLAND PFALZ (2001): Altablagerungen, Altlastenstandorte und Grundwasserschäden: Merkblatt ALEX 13. Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser; Sickerwasserprognose. In: HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN: Handbuch Altlasten, Teil 3.

LIESSMANN, W. (1997): Historischer Bergbau im Harz. Springer Verlag Berlin.

LINDORFER, H. (1997): Relikte ehemaliger Metallgewinnung als Quelle der Schwermetallbelastungen in rezenten Überflutungssedimenten des niedersächsichen Harzvorlandes. Unveröffentl. Diplomarbeit. Univ. Göttingen.

MACKLIN, M. G. (1996): Fluxes and Storage of sediment-associated Heavy Metals in Floodplain Systems: Assessment and River Basin Management Issues at a Time of rapid Environmental Change. In: ANDERSON, M. G., WALLING, D. E., & BATES P. D. (Eds.): Floodplain Processes: 441-460. Chichester.

MAREK, K.A. (1993): Recyclinggerechter Abbruch – Kontrollierter Rückbau. In: Bilitewski, B. (Hrsg.): Recycling von Baureststoffen. Verlag für Energie- und Umwelttechnik. Berlin.

MATSCHULLAT, J. & KRITZER, P. (1997): Atmospärische Deposition in „Reinluftgebieten". In: MATSCHULLAT, J., TOBSCHALL, H. J. & VOIGT, H. J. (Hrsg.): Geochemie und Umwelt: 3-23. Springer Verlag Berlin.

MATSCHULLAT, J., HEINRICHS, H., SCHNEIDER, J. & ULRICH, B. (1994): Gefahr für Ökosysteme und Wasserqualität. Ergebnisse interdisziplinärer Forschung im Harz. Springer Verlag Berlin.

MATSCHULLAT, J., NIEHOFF, N. & PÖRTGE, K. H. (1991): Zur Element-Dispersion an Flusssedimenten der Oker (Niedersachsen). Röntgenfluoreszenz-spektrometrische Untersuchungen. Zeitschr. d. dtsch. Geolog. Gesellsch. 142: 339-349. Hannover.

MEREFIELD, J. R. (1995): Sediment Mineralogy and the Environmental Impact of Mining. In: FOSTER, I., GURNELL, A., & WEBB, B. (Eds.): Sediment and Water Quality in River Catchments: 145-160. Chichester.

MERKEL, B. J. & PLANER-FRIEDRICH, B. (2002): Grundwasserchemie. Praxisorientierter Leitfaden zur numerischen Modellierung von Beschaffenheit, Kontamination und Sanierung aquatischer Systeme. Springer Verlag Berlin.

MEYER, B. & BECKER, K.-W. (2001): Kaskadenfluss in Böden und Folgen für die Anwendung der Lysimetertechnik. BAL-Bericht zur 9. Lysimetertagung: 205f.

MIELKE, H. W. (1997): Urbane Geochemie: Prozesse, Muster und Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. In: MATSCHULLAT, J., TOBSCHALL, H. J. & VOIGT, H. J. (Hrsg.): Geochemie und Umwelt: 169-179. Springer Verlag Berlin.

MÜLLER, R. O. (1967): Spektrometrische Analysen mit Röntgenfluoreszenz: Theorie und industrielle Anwendung. Oldenburg.

MUSCHAK, W. (1989): Straßenoberflächenwässer – eine diffuse Quelle der Gewässerbelastung. Vom Wasser 72: 267-282. Koblenz.

NARIMANIDZE, E., STEFFENS, D., SCHUBERT, S., WIECHMANN, L. & FELIX-HENNINGSEN, P. (2003): Bergbaubedingte Schwermetallbelastung und Bioverfügbarkeit der Schwermetalle in Kastanozemen eines Bewässerungsgebiets südlich von Tiflis/Georgien. Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch. 102: 219-220.

NEMETH, K. (1976): Elektro-Ultrafiltration (EUF), Allgemeiner Teil. Hannover.

NEMETH, K. (1985): Recent advances in EUF research (1980-1983). Plant and Soil 83: 1-19.

NLFB (2003): NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG: Digitaler Atlas Hintergrundwerte. Natürliche chemische Gehalte von Bachsedimenten, Böden und Grundwasser in Niedersachsen. Hannover.

NÖLTE, J. (1993): Spektrometer mit CCD-Detektoren – Neue Möglichkeiten in der ICP-Emission. LaborPraxis 6/93. Vogel Verlag und Druck KG.

NÖLTE, J. (2002): ICP-Emissionsspektrometrie für Praktiker. Grundlagen, Methodenentwicklung, Anwendungsbeispiele. Wiley NCH Weinheim.

OBERMANN, P. & CREMER, S. (1990): Entwicklung eines Routinetests zur Elution von Schwermetallen aus Abfällen und belasteten Böden. Abschlußbericht des ersten Teilprojekts. Bochum.

PAVICEVIC, M. K. & AMTHAUER, G. (2000): Physikalisch-Chemische Untersuchungsmethoden in den Geowissenschaften, Band 1. Schweizerbart Stuttgart.

PLEßOW, A., BIELERT, U., HEINRICHS, H. & STEINER, I. (1997): Problematik der Grundwasserversauerung und das Lösungsverhalten von Spurenstoffen. In: MATSCHULLAT, J., TOBSCHALL, H. J. & VOIGT, H. J. (Hrsg.): Geochemie und Umwelt: 395-408. Springer Verlag Berlin.

PLEßOW, A., PLEßOW, K. & HEINRICHS, H. (1998): Umweltrelevante Elemente in Straßenkehricht und Sedimenten der Regenwasserkanalisation aus Göttingen. Müll und Abfall 7/98: 458-464.

POTTS, P. J. (1987): Inductively coupled plasma-mass spectrometry. In: Handbook of Silicate Rock Analysis: 575-586. Chapman & Hall, London.

RICHARDS, L. A. (1969, Hrsg.): Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook 60. United States Department of Agriculture. Washington D.C..

RODE, A. (1995): Schwermetallbelastungen von Gartenböden in einem montanindustriell geprägten Raum am Beispiel Langelsheim. Unveröffentl. Diplomarbeit. Univ. Göttingen.

RUPPERT, H. (1987): Natürliche Grundgehalte und anthropogene Anreicherungen von Schwermetallen in Böden Bayerns. GLA- Fachberichte 2. München.

RUPPERT, H. (1991): Zur Problematik der Abschätzung antropogener Stoffgehalte in Böden am Beispiel von Schwermetallen. GLA- Fachberichte 6: 37-55. München.

RUPPERT, H. & JONECK, M. (1988): Anthropogene Schwermetallanreicherungen in bayerischen Böden vor dem Hintergrund der natürlichen Grundgehalte. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. München.

SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg.

SCHEITHAUER, M. (2001): Kompostierung von Bioabfällen mit anderen organischen Abfällen. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Tätigkeitsbericht 2000. http://www.bayern.de/lfu/tat_bericht/tb_200x/tb_2000/kompostierung.pdf.

SCHEITHAUER, M. & BERGER, W. (2004): Vergleich verschiedener Elutionsmethoden der BBodSchV an ausgewählten bayerischen Altlastenstandorten mit Lysimeteruntersuchungen. Altlasten-Spektrum 4/2004: 203-213.

SCHEITHAUER, M., GIERIG, M., ERHARD, L. & REXER, U. (2003): Abschlussbericht zum F&E-Vorhaben „Emissionsabschätzung/Prüfwerte“. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. München.

SCHÜTTELKOPF, H. & KÖSTER, R. (1996): Literaturrecherche zu Anfall, Eigenschaften und Nutzung von Reststoffen aus Müllverbrennungsanlagen. Wissenschaftliche Berichte des Forschungszentrum Karlsruhe FZKA: 5720. Karlsruhe.

SCHWARZ A. & KAUPENJOHANN, M. (2001): Grundwasserbelastungen durch in Böden eingetragene Schadstoffe unter besonderer Berücksichtigung des schnellen Flusses in bevorzugten Fließbahnen. Abschlussbericht des AK „Schneller Stofftransport in Böden“. ATV-DVWK.

SIEBNER, C. (1995): Lysimeterversuche zum Einfluss verschiedener Vegetationsformen auf den Wasser- und Nährstoffhaushalt von Sandböden der Colbitz-Letzlinger Heide. Unveröffentl. Diplomarbeit Univ. Göttingen.

SIEBNER, C., BECKER, K.-W. & MEYER, B. (1997): Beobachtungen zum dispersiven Wasser- und Soluttransport in Sandböden. Mitteilungen der Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 85, I: 167 - 170.

SLAVEK, J. & PICKERING, W. F. (1988): Metal ion interaction with the hydrous oxides of aluminium. Water, Air and Soil Pollution 39: 201-216.

SPEISER, C. (2001): Exothermer Stoffumsatz in MVA-Schlackedeponien: Mineralogische und geochemische Charakterisierung von Müllverbrennungsschlacken, Stoff- und Wärmebilanz. Diss. TU München. http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=963428470.

STEPHAN, D. (1999): Chrom, Nickel und Zink in Klinker und Zement - Einbau, Eigenschaftsänderung und Auslaugung. Diss. Univ.-Gesamthochschule Siegen.

TASI (1993): Technische Anleitung Siedlungsabfall. 3. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz vom 14. Mai 1993. Bundesministerium für Umwelt. BAnz. 99a.

TEGETHOF, U. & CICHOS, A. (1994): Vertikale Schwermetallverlagerung in Banketten von Bundesautobahnen. Straße und Autobahn 10/94.

ULRICH, B. (1997): Chemische Prozesse im Ökosystem-Kompartiment Boden. In: MATSCHULLAT, J., TOBSCHALL, H. J. & VOIGT, H. J. (Hrsg.): Geochemie und Umwelt: 39-51. Springer Verlag Berlin.

UMWELTBUNDESAMT (2004): Umweltdaten Deutschland Online. www.env-it.de/umweltdaten/jsp/index.jsp.

VAN DER SLOOT, H. A. (1996): Developments in Evaluating Environmental Impact from Utilisation of Bulk Inert Wastes using Laboratory Leaching Tests and Field Verification. Waste Management 16: 65-81.

VOIGT, H. J. (1990): Hydrogeochemie. Springer Verlag Berlin.

WALKER, I. & TRÄNKLER, J. (1993): Untersuchungen zur künftigen Verwertbarkeit von Bauschutt. Forschungsnetz Abfallwirtschaft und Altlasten des Landes Nordrhein-Westfalen. LWA-Materialien 7/93. Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.

9. Anhang

Tabelle 3: Niederschläge während des Versuchszeitraums von Juli 2002 bis April 2004

Datum	2002						2003												2004			
	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	April
1	3,9	17,5				28,3	8,8			3,7	1,5		2,2		2,6	2,6				3,5	2,3	
2	1,3						13,1	2,4	2,0	3,3			8,0							14,5	0,10	
3	3,1				26,2		6,3	1,5		0,8			0,4					0,2				
4		1,1			4,0	2,4		4,0									1,3					
5		2,0						8,0	0,3			7,2				11,0	9,5		0,7			3,7
6				33,6	8,0		1,6		8,6	0,3			1,4			7,3			8,6			11,3
7	1,0			3,3	15,0						0,9				3,7	6,9					4,3	3,7
8		3,5													0,7	7,2			5,8	25,9	0,1	10,6
9	2,0	4,3	3,3		8,1				0,3	0,5		12,9			0,3	1,4				1,2	1,5	
10	6,6		14,0		3,3				1,1			7,3			16,8					9,7		
11	0,3	11,8			0,15				9,8		5,0				13,9			3,2	11,6			
12		4,3			0,8		3,2		0,9		2,7	0,9							10,8	1,9		3,7
13		0,3		0,5	0,15		6,8				0,7			1,1			0,6		10,9			10,8
14	5,0			0,5							2,7				0,2			35,5	4,0			10,5
15				0,8							0,3							2,8	0,9	0,7		9,9
16	6,9			3,9	7,8	4,4							9,9				13,4	0,8		0,1		11,2
17	36,4			1,0								3,4	1,8	1,6						0,1		
18	0,8										6,2	2,7		0,6					2,1			0,7
19	0,8										4,3	5,1					0,4		10,4			
20		16,6		6,0									3,4						0,2			0,2
21	11,6			2,9						22,2	7,2		3,7			6,7		9,9			23,2	
22				8,3		18,5	1,5			0,8	0,4		0,7		3,4	0,5			0,2		5,2	24,0
23	1,0			3,2	1,4		3,7					0,5	1,2	0,7	1,1							
24	3,0		8,3										1,3							1,0		
25	5,9					4,3										7,1			1,1			6,8
26							0,5		0,3		1,7									2,8		
27		1,4	5,2	26,5		1,3	5,4			4,4	0,4		9,0				7,2					
28	0,7		3,6	0,4			5,0			1,1			15,5	5,4	6,9	0,6		0,9	3,8			
29				0,9		33,2	4,9			0,4					2,3	0,5	2,2		3,3	0,7		
30						17,4	1,9		1,6	1,5		9,1				1,0						
31						0,7	1,0				4,5			3,5								
Summe	90,3	62,8	34,4	91,8	74,9	110,5	63,7	15,9	24,9	39,0	38,5	49,1	58,5	12,9	51,9	52,8	34,6	53,3	74,4	62,1	36,7	107,1

Tabelle 4: Korngrößen-Analyse der eingesetzten Materialien

Korngrößen-Analyse mit vorheriger Carbonatzerstörung																
	$CaCO_3$	C_{org}	Humus	C/N	630 -	200 -	63 -	36 -	20 -	6 -	2 -	< 2	Sand	Schluff	Ton	Kies
					2000 µm	630 µm	200 µm	63 µm	36 µm	20 µm	6 µm	µm				
Probenbez.	[%]	[%]	[%]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
BSG 1	2,1	6,1	10,0	31,8	5,5	51,9	28,3	3,3	2,4	4,1	1,8	2,7	85,7	11,6	2,7	0,0
BSG 2	2,4	3,5	5,6	19,2	2,6	31,9	17,2	16,2	10,6	6,6	3,1	11,6	51,8	36,6	11,6	0,0
Bauschutt	8,6	1,3		146,7	33,9	49,1	7,3	0,4	0,3	2,9	0,0	6,2	90,2	3,6	6,2	0,0
HMVA	6,3	1,0		75,5	28,9	35,3	12,9	1,5	0,9	5,0	1,2	14,3	77,1	8,6	14,3	27,2
Kehrgut	6,7	5,3	7,8	27,5	24,5	27,3	16,1	7,9	7,7	10,7	3,1	2,7	67,9	29,4	2,7	23,6
RM Boden	4,6	0,7	0,3		25,5	60,5	2,7	0,4	0,2	0,7	0,0	10,2	88,7	1,2	10,2	0,0
Pochs. Spitzk.	6,8	1,5	1,2	59,5	4,8	15,6	35,5	11,7	10,0	14,2	2,5	5,8	55,9	38,4	5,8	1,3
Pochs. Silbern.	6,8	1,1	0,5	68,2	57,1	25,8	5,2	2,1	1,4	7,5	0,0	0,9	88,1	11,0	0,9	2,1
Auelehm	2,1	2,1	3,1	11,4	20,4	15,9	12,8	6,2	9,3	18,7	6,5	10,3	49,1	40,7	10,3	47,2
Wald Ae-Hor.	0,0	4,4	7,6	30,3	0,2	53,4	15,1	4,4	7,4	10,8	5,4	3,3	68,6	28,0	3,3	0,0
Wald B-Hor.	0,0	1,6	2,7	33,1	0,1	45,0	20,5	5,1	8,5	11,6	3,7	5,5	65,5	29,0	5,5	0,0
Ackerbd. Sand	0,0	0,8	1,4	8,5	0,0	35,6	32,2	4,8	7,1	9,8	2,9	7,6	67,8	24,6	7,6	0,0
Ackerbd. Löß	0,0	1,2	2,0	10,3	0,3	1,2	2,2	20,8	33,4	24,5	4,4	13,3	3,6	83,1	13,3	0,0
Korngrößen-Analyse ohne vorherige Carbonatzerstörung																
BSG 1	2,1	6,1	10,0	31,8	5,2	51,8	27,5	3,5	2,1	3,9	2,2	3,9	84,5	11,7	3,9	0,0
BSG 2	2,4	3,5	5,6	19,2	4,1	27,5	23,5	17,3	8,3	10,0	3,2	6,2	55,1	38,7	6,2	0,0
Bauschutt	8,6	1,3		146,7	21,7	54,8	20,4	0,6	0,3	0,1	0,0	2,2	96,9	1,0	2,2	0,0
HMVA	6,3	1,0		75,5	27,6	43,2	22,3	2,6	0,9	1,4	0,4	1,8	93,0	5,2	1,8	27,2
Kehrgut	6,7	5,3	7,8	27,5	22,3	30,3	14,3	8,4	7,8	9,9	2,7	4,3	66,9	28,8	4,3	23,6
RM Boden	4,6	0,7	0,3		29,6	63,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,0	5,4	93,7	0,9	5,4	0,0
Pochs. Spitzk.	6,8	1,5	1,2	59,5	5,3	15,1	42,6	13,5	7,2	10,3	0,3	5,8	63,0	31,3	5,8	1,3
Pochs. Silbern.	6,8	1,1	0,5	68,2	38,7	44,3	8,4	1,2	0,9	1,5	0,0	5,0	91,4	3,6	5,0	2,1
Auelehm	2,1	2,1	3,1	11,4	18,9	18,1	9,6	6,8	7,3	14,7	7,8	16,7	46,6	36,6	16,7	47,2
GRS	1,3	1,5		34,4	1,9	84,7	6,8	0,4	0,3	1,0	0,0	4,9	93,4	1,7	4,9	0,0
BHG	0,0	0,3		22,9	65,7	30,6	0,5	0,1	0,2	0,1	0,0	3,0	96,7	0,3	3,0	0,0
			Humus = C_{org}* 1,724													

Tabelle 5: Ergebnisse des Vollaufschlusses (Flusssäure-Perchlorsäureaufschluss und Flusssäure-Schwefelsäureaufschluss), Analytik mit ICP-OES und –MS

Element	**Best.-**	Material	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrgut	RM Bo	Pochsd.	Pochsd.	Auesed.	GRS	BHG	Quarzsd.	Waldbo	Waldbo.	Sandbo.	Lößbo.
	Grenze								Spitzkglh	Silbern.					Ae-Hor.	B-Hor.		
		Einheit																
Al	10	**mg/kg**	22550	25140	18720	35890	40210	11450	40130	32880	63380	7000,0	15920	940	23600	27730	33860	38230
As	0,06	**mg/kg**	4,5	5,8	3,5	19	3,8	1,5	66	164	18	4,0	2720	1,4	2,6	1,9	4,1	6,7
Ba	5	**mg/kg**	300	320	270	1160	540	170	30130	12170	430,00	50	1840	40	359	374	437	362
Be	5	**mg/kg**	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	50	**mg/kg**	10430	11750	59600	74650	50770	16960	9440	9080	6180	1320	69500	80	866	388	1243	6747
Cd	0,02	**mg/kg**	0,65	1,3	0,32	9,6	0,77	0,16	31	95	3,8	1,4	134	0,13	0,15	0,20	0,36	0,56
Co	0,07	**mg/kg**	11	11	2,6	19	28	1,1	15	14	22	9	269	0,77	1,4	1,4	4,5	7,4
Cr	0,5	**mg/kg**	97	55	19	241	180	4,8	33	27	83	6526	1982	1,9	30	28	31	75
Cu	1	**mg/kg**	34	43	21	1071	100	9,3	32	132	69	9,7	538	< 1	4,1	5,2	7,7	12,3
Fe	5	**mg/kg**	17110	20330	9400	63520	42430	4200	59850	39360	30530	10130	236420	290	4800	5500	9500	14300
K	100	**mg/kg**	7880	11300	9910	9100	12400	6590	14700	11400	17100	520	4740	<100	18660	19430	21600	17830
La	5	**mg/kg**	11	12	10	13	24	5,8	21	18	15	<5	26	<5	7,4	10	8,6	22
Li	5	**mg/kg**	43	21	14	26	21	<5	171	261	39	5,7	11	<5	<5	<5	12	17
Mg	50	**mg/kg**	5320	2500	3200	10800	19100	840	4580	4210	3760	2340	6220	<50	511	659	1732	1973
Mn	5	**mg/kg**	360	411	184	606	713	91	14450	5630	1182	97	6709	<5	73	54	706	599
Mo	0,04	**mg/kg**	3,2	2,4	1,0	12	6,0	0,67	6,6	69	2,9	13	247	0,44	0,50	0,34	0,54	0,49
Na	100	**mg/kg**	2880	4550	4350	27600	10930	3080	1940	1210	7200	950	2990	<100	3755	4350	4870	6710
Ni	0,3	**mg/kg**	35	21	16	68	93	3,2	45	40	30	23	267	0,7	2,1	3,8	11	15
Pb	0,1	**mg/kg**	56	222	39	1643	107	14	17220	59930	380	4,2	95350	2,9	38	25	32	27
Sb	0,01	**mg/kg**	1,3	2,2	1,1	22	4,4	0,12	31	111	3,7	0,50	1235	0,10	0,65	0,47	0,60	0,50
Sn	0,1	**mg/kg**	3,7	3,8	3,6	224	23	0,70	25	71	4,3	3,8	1231	0,19	1,40	1,6	2,2	3,5
Sc	5	**mg/kg**	<5	<5	<5	<5	8,8	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sr	0,1	**mg/kg**	70	80	260	310	350	53	1170	680	64	14	1630	4	40	59	68	97
Ti	5	**mg/kg**	1720	2830	970	3760	5890	500	2090	1690	4150	440	880	330	2126	2732	2482	4708
Tl	0,03	**mg/kg**	0,31	0,45	0,24	1,0	0,25	0,16	9,3	33	1,30	0,49	41	0,03	0,43	0,58	0,62	0,46
U	0,01	**mg/kg**	1,3	1,3	1,3	1,8	1,5	0,64	2,3	<10	1,7	0,46	8,9	0,21	0,97	1,6	1,7	2,2
V	0,5	**mg/kg**	44	45	23	38	81	5,6	79	<500	95	75	<500	1,6	14	23	28	48
Y	5	**mg/kg**	9,1	11	7,3	8,1	15	<5	11	8,2	12	2,7	15	<5	<5	6,8	6,1	16
Zn	10	**mg/kg**	160	860	71	2020	350	42	520	350	640	31	76170	51	27	16	45	47
Zr	10	**mg/kg**	108	287	64	142	195	60	86	68	279	39	119	27	131	229	236	503
	Aufgrund von nötigen Verdünnungen können Bestimmungsgrenzen zustande kommen, die über denen liegen, die in der zweiten Spalte angegeben sind.																	

Tabelle 6: Elementgehalte und Bilanzen der Röntgenfluoreszenzanalyse

Stoffgehalte in Gew.-%	Bankett-schälgut L598	Bankett-schälgut A30	RM Bau-schutt	RM HMVA	Kehrgut	RM Boden	Poch-sand	Aue-lehm	Gießerei-Restsd.	Blei-hütten-granulat	Quarz-sand	Waldbd. Ae-Horizont	Waldbd. B-Horizont	Acker-krume Sand	Acker-krume Löß
SiO_2	81,3	81,4	73,8	59,1	59,6	91,2	68,9	68,5	93,2	n.b.	99,2	81,8	85	83,2	79,1
TiO_2	0,28	0,45	0,19	0,55	1,01	0,09	0,28	0,69	0,08	n.b.	0,06	0,34	0,44	0,40	0,77
Al_2O_3	4,40	4,90	4,60	6,50	7,70	2,20	6,30	12,40	1,3	n.b.	0,14	4,90	6,00	7,20	8,10
Summe Fe/Fe_2O_3	2,33	2,86	1,54	8,00	6,26	0,61	5,61	5,18	1,46	n.b.	0,07	0,85	1,08	1,59	2,43
MnO	0,05	0,06	0,03	0,08	0,11	0,01	0,64	0,17	0,01	n.b.	n.n.	0,01	0,01	0,10	0,08
MgO	0,86	0,53	0,66	1,83	3,14	0,14	0,77	1,14	0,4	n.b.	n.n.	0,12	0,19	0,38	0,56
CaO	1,39	1,59	7,81	10,0	7,20	2,23	1,24	0,94	0,17	n.b.	0,01	0,19	0,13	0,24	1,02
Na_2O	0,37	0,79	0,73	5,50	1,61	0,42	<0,01	1,10	0,12	n.b.	0,01	0,57	0,65	0,74	1,06
K_2O	0,96	1,39	1,26	1,00	1,57	0,83	1,46	2,42	0,09	n.b.	0,03	2,30	2,49	2,68	2,35
P_2O_5	0,10	0,01	0,07	0,53	0,32	0,03	0,05	0,22	0,02	n.b.	0,01	0,06	0,05	0,18	0,19
Summe Hauptelem.	92,04	93,98	90,68	93,11	88,51	97,76	85,24	92,76	96,85	n.b.	99,53	91,14	96,04	96,71	95,66
Spurenelementgehalte in mg/kg															
Ba	300	310	280	1060	570	170	12300	460	49	n.b.	55	380	420	475	397
Co	12	8	4	21	22	<2	12	18	6	n.b.	0	3	6	1	8
Cr	110	66	27	790	180	11	29	96	6898	n.b.	5	23	27	29	72
Cu	37	52	23	1030	240	9	170	88	6	n.b.	0	5	12	6	27
Ni	38	21	11	360	86	3	46	34	26	n.b.	2	2	5	10	16
Pb	65	200	26	1200	120	15	52200	390	8	n.b.	10	45	21	31	23
Rb	34	47	47	26	50	27	<1	130	1	n.b.	2	86	99	110	88
Sr	75	79	260	230	390	58	500	77	11	n.b.	7	67	79	76	110
V	50	48	35	29	100	13	53	95	58	n.b.	6	21	27	33	57
Y	12	15	11	11	18	5	23	27	4	n.b.	4	12	16	17	34
Zn	150	840	73	1780	360	44	330	650	27	n.b.	3	18	16	58	44
Zr	190	360	97	170	240	90	200	310	67	n.b.	37	200	290	290	660
Bilanzrechnung (alle Angaben in %)															
Summe Hauptelem.	92,04	93,98	90,68	93,11	88,51	97,76	85,24	92,76	96,85		99,53	91,14	96,04	96,71	95,66
Summe Spurenelem.	0,11	0,21	0,09	0,68	0,24	0,05	6,61	0,24	0,72	n.b.	0,01	0,09	0,10	0,12	0,16
Humus	10,5	6,02	2,24	1,72	9,12	1,20	1,89	3,61	2,58	0,0	0,00	7,57	2,75	1,38	2,06
CO_2 aus Carbonaten	0,92	1,06	3,78	2,77	2,95	2,02	2,99	0,92	0,57	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rest	3,56	1,27	-3,21	-1,72	0,82	1,04	-3,26	-2,46	0,72	n.b.	-0,46	-1,21	-1,11	-1,80	-2,12

Tabelle 7: Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse im Verhältnis zu den Ergebnissen des Vollaufschlusses (Analytik mit ICP-OES und –MS)

	Material														
	Bankett-schälgut L598	Bankett-schälgut A30	RM Bau-schutt	RM HMVA	Kehrgut	RM Boden	Poch-sand	Aue-lehm	Gießerei-Restsd.	Blei-hütten-granulat	Quarz-sand	Waldbd. Ae-Horizont	Waldbd. B-Horizont	Acker-krume Sand	Acker-krume Löß
Al	1,03	1,03	1,30	0,96	1,01	1,02	1,01	1,04	0,98		0,79	1,10	1,15	1,13	1,12
Ca	0,95	0,97	0,94	0,96	1,01	0,94	0,98	1,09	0,92		0,89	1,57	2,39	1,38	1,08
Fe	0,95	0,98	1,15	0,88	1,03	1,02	1,00	1,19	1,01		1,69	1,24	1,37	1,17	1,19
K	1,01	1,02	1,06	0,91	1,05	1,05	1,06	1,17	1,44			1,02	1,06	1,03	1,09
Mg	0,97	1,27	1,24	1,02	0,99	1,00	1,10	1,82	1,03			1,41	1,73	1,32	1,70
Mn	1,08	1,06	1,31	1,07	1,14	1,11	0,87	1,12	1,12			0,96	1,15	1,09	1,06
Na	0,95	1,29	1,25	1,48	1,09	1,01		1,13	0,94			1,13	1,11	1,13	1,17
Ti	0,96	0,96	1,16	0,88	1,03	1,04	0,98	1,00	1,10		1,15	0,96	0,96	0,96	0,97
Ba	1,00	0,97	1,04	0,91	1,06	1,00	1,01	1,07	0,98		1,38	1,06	1,12	1,09	1,10
Co	1,09	0,73	1,54	1,11	0,79		0,86	0,82	0,67			2,14	4,29	0,22	1,08
Cr	1,13	1,20	1,42	3,28	1,00	2,29	1,07	1,16	1,06		2,63	0,77	0,96	0,94	0,96
Cu	1,09	1,21	1,10	0,96	2,40	0,97	1,29	1,28	0,62			1,22	2,31	0,78	2,20
Ni	1,09	1,00	0,69	5,29	0,92	0,94	1,15	1,13	1,13		2,86	0,95	1,32	0,91	1,07
Pb	1,16	0,90	0,67	0,73	1,12	1,07	0,87	1,03	1,90		3,45	1,18	0,84	0,97	0,85
Sr	1,07	0,99	1,00	0,74	1,11	1,09	0,74	1,20	0,79		1,75	1,68	1,34	1,12	1,13
V	1,14	1,07	1,52	0,76	1,23	2,32		1,00	0,77		3,75	1,50	1,17	1,18	1,19
Y	1,32	1,36	1,51	1,36	1,20		2,80	2,25	1,48				2,35	2,79	2,13
Zn	0,94	0,98	1,03	0,88	1,03	1,05	0,94	1,02	0,87		0,06	0,67	1,00	1,29	0,94
Zr	1,76	1,25	1,52	1,20	1,23	1,50	2,94	1,11	1,72		1,37	1,53	1,27	1,23	1,31
	Bei leeren Feldern lag mindestens einer der verwendeten Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze														

Tabelle 8: Ergebnisse des Vollaufschlusses (HF-$HClO_4$ und H_2SO_4-$HClO_4$) und der Röntgenfluoreszenzanalyse

Element	Methode	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrgut	RM Bo	Pochsd.	Auesed.	GRS	BHG	Quarzsd.	Wald Ae	Wald B	Sandbo.	Lößbo.
Alle Angaben in mg/kg																
Al	RFA	23290	25940	24350	34410	40760	11650	33350	65650	6880	n.b.	740	25940	31760	38120	42880
	Volla.	22550	25140	18720	35890	40210	11450	32880	63380	7000,0	15920	940	23600	27730	33860	38230
Ba	RFA	300	310	280	1060	570	170	12300	460	49	n.b.	55	380	420	475	397
	Volla.	300	320	270	1160	540	170	12170	430	50	1840	40	359	374	437	362
Ca	RFA	9930	11360	55790	71570	51430	15930	8860	6710	1210	n.b.	70	1360	930	1710	7290
	Volla.	10430	11750	59600	74650	50770	16960	9080	6180	1320	69500	80	866	388	1243	6747
Co	RFA	12	8	4	21	22	<2	12	18	6	n.b.	0	3	6	1	8
	Volla.	11	11	2,6	19	28	1,1	14	22	9	269	0,77	1,4	1,4	4,5	7,4
Cr	RFA	110	66	27	790	180	11,0	29	96	6898	n.b.	5	23	27	29	72
	Volla.	97	55	19	241	180	4,8	27	83	6526	1982	1,9	30	28	31	75
Cu	RFA	37	52	23	1030	240	9,0	170	88	6	n.b.	0,0	5	12	6	27
	Volla.	34	43	21	1071	100	9,3	132	69	9,7	538	< 1	4,1	5,2	7,7	12,3
Fe	RFA	16310	20020	10780	56000	43820	4270	39270	36260	10220	n.b.	490	5950	7560	11130	17010
	Volla.	17110	20330	9400	63520	42430	4200	39360	30530	10130	236420	290	4800	5500	9500	14300
K	RFA	7970	11530	10460	8300	13030	6890	12110	20080	750	n.b.	250	19090	20660	22240	19500
	Volla.	7880	11300	9910	9100	12400	6590	11400	17100	520	4740	<100	18660	19430	21600	17830
Mg	RFA	5160	3180	3960	10980	18840	840	4620	6840	2400	n.b.	0	720	1140	2280	3360
	Volla.	5320	2500	3200	10800	19100	840	4210	3760	2340	6220	<50	511	659	1732	1973
Mn	RFA	390	435	240	651	813	101	4920	1320	108	n.b.	0	70	62	767	635
	Volla.	360	411	184	606	713	91	5630	1182	97	6709	<5	73	54	706	599
Na	RFA	2750	5860	5420	40810	11950	3120	<100	8160	890	n.b.	70	4230	4820	5490	7860
	Volla.	2880	4550	4350	27600	10930	3080	1210	7200	950	2990	<100	3755	4350	4870	6710
Ni	RFA	38	21	11	360	86	3	46	34	26	n.b.	2	2	5	10	16
	Volla.	35	21	16	68	93	3,2	40	30	23	267	0,7	2,1	3,8	11	15
Pb	RFA	65	200	26	1200	120	15	52200	390	8	n.b.	10,0	45	21	31	23
	Volla.	56	222	39	1643	107	14	59930	380	4,2	95350	2,9	38	25	32	27
Sr	RFA	75	79	260	230	390	58	500	77	11	n.b.	7	67	79	76	110
	Volla.	70	80	260	310	350	53	680	64	14	1630	4	40	59	68	97
Ti	RFA	1660	2720	1120	3310	6070	520	1660	4160	490	n.b.	380	2030	2620	2390	4590
	Volla.	1720	2830	970	3760	5890	500	1690	4150	440	880	330	2126	2732	2482	4708
V	RFA	50	48	35	29	100	13	53	95	58	n.b.	6	21	27	33	57
	Volla.	44	45	23	38	81	5,6	<500	95	75	<500	1,6	14	23	28	48
Zn	RFA	150	840	73	1780	360	44	330	650	27	n.b.	3	18	16	58	44
	Volla.	160	860	71	2020	350	42	350	640	31	76170	51	27	16	45	47
Y	RFA	12	15	11	11	18	5	23	27	4	n.b.	4	12	16	17	34
	Volla.	9,1	11	7,3	8,1	15	<5	8,2	12	2,7	15	<5	<5	6,8	6,1	16
Zr	RFA	190	360	97	170	240	90	200	310	67	n.b.	37	200	290	290	660
	Volla.	108	287	64	142	195	60	68	279	39	119	27	131	229	236	503
Aufgrund von nötigen Verdünnungen können Bestimmungsgrenzen zustande kommen, die über denen liegen, die in der zweiten Spalte angegeben sind.																

Tabelle 9: Mittelwerte des Sickerwassers in mm mit Standardabweichungen in % des Sickerwassers

	2002				2003				2004					
Material	16.07.- 11.08.	12.08.- 29.09.	30.09.- 28.10.	29.10.- 04.12.	05.12.- 07.01.	08.01.- 23.02.	24.02.- 02.06.	03.06.- 14.12.	15.12.- 16.02.	17.02.- 20.04.	Durchschnitt Einzelergebnisse		Gesamt-Periode	
BSG 1	1549	1242	1525	2349	2642	1566	1232	3953	3812	2588			22457	
Waldb.	15,7	14,8	11,1	63,2	29,8	53,1	87,5	18,5	11,0	4,3	30,9		20,7	
BSG 1	1241	539	1700	3571	3811	1822	1469	1945	3524	2356			21977	
Sandb.	1,0	12,1	5,3	4,9	5,1	19,1	22,7	0,3	2,8	19,9	9,3	17,7	1,7	9,1
BSG 1	866	236	1820	3447	3928	2019	977	1756	3592	2429			21071	
Lößb.	12,3	45,3	3,6	3,1	1,6	8,9	13,9	20,6	9,2	10,2	12,9		5,0	
BSG 2	1184	1137	1904	3148	3666	1386	2066	3970	3821	2396			24680	
Waldb.	6,4	3,5	7,8	5,1	5,8	88,4	65,0	8,1	2,5	7,6	20,0		1,6	
BSG 2	1134	483	1570	3167	3997	1937	1178	2146	3650	2434			21697	
Sandb.	11,0	16,4	5,4	1,2	4,0	11,0	6,7	8,9	1,6	12,3	7,8	15,0	1,6	2,5
BSG 2	739	284	1482	3276	3751	2113	796	1796	4095	2214			20545	
Lößb.	29,9	41,9	35,4	3,9	3,7	7,8	23,4	14,1	5,1	7,5	17,2		4,2	
RM BS	970	782	1892	3073	3739	1760	1250	3915	3931	2486			23799	
Waldb.	50,2	36,0	3,0	1,2	4,4	21,6	2,3	15,8	11,6	6,9	15,3		4,4	
RM BS	625	152	808	2630	3797	1683	405	1890	4008	2014			18013	
Sandb.	63,5	36,1	14,8	9,4	8,2	15,9	9,4	6,0	1,6	4,4	16,9	14,5	5,2	3,9
RM BS	669	43	1316	2852	3666	1647	599	1067	3961	1783			17604	
Lößb.	12,6	13,9	10,4	7,5	9,1	10,5	27,8	8,8	1,9	10,4	11,3		2,2	
HMVA	1845	1322	2195	2952	3939	1663	1794	4393	4239	2517			26859	
Waldb.	4,6	5,4	9,1	4,8	6,1	13,0	26,2	12,5	2,1	7,3	9,1		2,8	
HMVA	1361	835	1329	2830	4306	1353	1120	2474	4216	2139			21964	
Sandb.	2,6	132,2	15,7	4,6	31,3	37,7	17,4	17,4	4,9	13,8	27,8	20,5	6,0	5,1
HMVA	1725	176	1377	3196	3764	1807	640	879	4145	2063			19478	
Lößb.	38,9	85,6	15,5	6,4	16,8	11,2	36,8	15,2	9,8	10,2	24,6		6,6	
Kehrgut	988	1166	1964	3356	3563	2055	1973	5468	3817	2688			27039	
Waldb.	19,3	6,7	11,1	2,6	1,0	6,6	9,9	5,1	1,9	30,2	9,4		5,3	
Kehrgut	796	334	1342	3202	4023	1980	1095	2807	4352	2581			22511	
Sandb.	42,6	11,5	6,5	6,0	3,4	10,6	24,6	21,1	9,7	5,4	14,1	11,6	3,2	4,0
Kehrgut	897	195	1457	3224	3901	2132	1104	2283	3743	2393			21329	
Lößb.	9,2	11,8	15,9	1,6	4,8	11,7	12,3	22,1	4,3	16,9	11,1		3,6	
RM Bo	837	1383	2190	3304	3463	1893	1262	4181	3890	2521			24924	
Waldb.	89,0	39,7	3,0	6,3	8,3	10,1	41,4	28,3	3,5	7,2	23,7		10,3	
RM Bo	645	225	1069	2676	3824	1782	838	2414	4035	2083			19591	
Sandb.	25,5	19,9	13,0	7,6	4,3	8,7	20,7	5,9	1,7	7,1	11,4	16,2	3,0	4,7
RM Bo	188	164	1551	3153	3714	1626	779	2210	4072	2094			19551	
Lößb.	43,5	16,2	6,1	2,5	3,4	9,9	26,4	15,0	6,1	5,3	13,4		0,6	
Pochs.	1510	1285	1861	3164	3516	1958	1252	4051	3677	2467			24740	
Waldb.	5,0	4,3	2,8	3,5	8,7	11,2	28,4	16,1	6,6	17,6	10,4		5,0	
Pochs.	887	369	1349	3058	4018	1567	729	2465	4060	2214			20716	
Sandb.	50,5	11,3	9,9	1,0	12,4	9,4	32,8	11,2	2,9	9,8	15,1	11,7	0,9	2,5
Pochs.	697	192	1394	3189	3513	1526	839	2015	3926	1986			19277	
Lößb.	13,3	19,3	6,0	1,4	10,1	13,4	11,0	7,0	2,9	11,4	9,6		1,6	
Auel.		328	1442	2966	3374	2024	1061	4448	3618	2538			21800	
Waldb.		120,2	53,5	8,1	7,5	15,9	56,5	17,3	9,8	5,7	32,7		14,1	
Auel.		152	1539	3035	3946	2102	886	2063	3814	2078			19615	
Sandb.		173,2	23,7	8,9	9,9	5,3	26,6	12,7	4,3	10,7	30,6	26,7	10,5	11,0
Auel.			981	2880	4068	2066	945	1950	4096	2263			19249	
Lößb.			52,5	10,7	6,4	0,3	35,6	11,6	9,6	6,5	16,6		8,3	
GRS				3284	3648	1488	1734	4349	4480	2825			21808	
Waldb.				17,5	4,4	18,8	18,1	9,5	15,7	28,7	16,1		4,7	
GRS				3433	4227	1650	1317	2326	3974	2576			19502	
Sandb.				13,8	11,8	56,6	29,0	17,4	5,7	2,6	19,5	18,9	4,3	5,1
GRS				3414	3743	1966	1007	1870	4232	2319			18552	
Lößb.				4,5	4,3	16,8	33,5	38,9	8,7	40,2	21,0		6,2	
BHG				3312	3352	1620	883	4147	4366	2565			20245	
Waldb.				11,4	4,8	15,1	38,7	27,2	9,8	28,8	19,4		12,8	
BHG				3723	3925	2019	807	2694	4259	2524			19950	
Sandb.				1,7	4,0	31,7	32,6	2,3	11,2	23,0	15,2	15,1	6,1	7,1
BHG				3289	3771	2055	1077	1910	4308	2412			18821	
Lößb.				7,7	11,1	17,4	16,7	8,1	5,0	8,4	10,6		2,5	
Quarzs.	1142	1231	2010	3084	4787	1583	2427	4279	3665	2539			26746	
Waldb.	58,2	22,6	5,4	2,1	23,6	119,9	29,6	16,1	17,2	12,2	30,7		5,8	
Quarzs.	597	438	1229	2541	5294	922	1313	2010	4938	1302			20238	
Sandb.	124,4	69,8	37,6	11,1	15,8	86,6	74,0	18,1	5,5	51,4	44,9	38,9	0,5	2,5
Quarzs.	197	63	1234	2852	5173	948	731	2343	3871	2118			19443	
Lößb.	39,7	31,1	19,0	1,3	10,9	92,8	173,2		32,3	51,2	41,0		1,3	

Mittelwert Sickerwasser [ml], Start der Lysimeter mit Gießereirests. (GRS) und Bleihüttengr. (BHG) am 29.10.02
Standardabweichung in % vom Mittelwert

Tabelle 10: pH-Werte im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen

Material u. Abdeckung		Probenahmetermine									
		2002				2003				2004	
		11.08.	29.09.	28.10.	04.12.	07.01.	23.02.	02.06.	14.12.	16.02.	21.04.
BSG 1	Waldb.	7,36	7,70	7,70	7,69	8,02	7,81	k. Pr.	7,84	7,77	7,04
		7,36	7,88	7,67	7,75	7,92	8,00	8,07	7,86	7,76	7,22
		7,31	7,82	7,76	7,66	7,75	8,05	8,14	k. Pr.	7,72	7,28
	Sandb.	7,27	8,15	7,58	7,37	7,86	8,21	8,14	7,63	7,78	7,2
		7,18	8,27	7,67	7,47	7,82	8,19	8,18	7,95	7,77	7,18
		7,12	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
	Lößb.	7,19	8,40	7,68	7,59	7,80	8,12	8,29	8,16	7,9	7,44
		7,53	8,22	7,58	7,54	7,88	8,22	k. Pr.	7,98	7,83	7,47
		7,38	8,05	7,53	7,45	7,98	8,16	k. Pr.	7,85	7,76	7,33
BSG 2	Waldb.	6,86	7,43	7,42	7,51	7,89	7,79	7,97	7,85	7,54	7,12
		6,70	7,35	7,40	7,40	7,80	k. Pr.	7,99	7,73	7,52	7,09
		7,06	7,35	7,47	7,44	7,81	7,71	7,99	7,69	7,5	7,12
	Sandb.	6,73	7,13	7,40	7,04	7,36	7,49	7,77	7,68	7,38	7,11
		6,70	7,17	7,28	6,97	7,31	7,52	7,79	7,61	7,36	7,09
		7,00	7,24	7,37	7,01	7,38	7,61	7,82	7,59	7,38	7,06
	Lößb.	7,03	7,49	7,50	7,24	7,55	7,85	k. Pr.	7,68	7,51	7,17
		7,18	7,51	7,61	7,28	7,59	7,91	7,91	7,64	7,51	7,25
		6,50	7,30	7,56	7,16	7,57	7,73	k. Pr.	7,68	7,55	7,35
Bauschutt	Waldb.	11,48	10,04	11,88	12,33	12,39	12,16	12,18	11,19	12,13	12,27
		12,06	7,99	8,35	12,04	12,30	12,08	12,01	8,82	11,76	12,25
		12,27	12,12	12,29	12,34	12,38	12,09	12,16	8,76	12,07	12,25
	Sandb.	11,94	8,49	12,14	12,22	12,36	12,17	k. Pr.	10,97	12,2	12,27
		12,40	12,20	12,34	12,30	12,32	12,08	k. Pr.	11,47	12,2	12,35
		12,27	11,46	12,21	12,39	12,46	12,22	k. Pr.	11,31	12,41	12,55
	Lößb.	11,80	8,39	9,70	12,22	12,43	12,14	k. Pr.	8,55	11,82	12,13
		12,30	k. Pr.	9,89	12,29	12,36	12,19	k. Pr.	8,61	11,92	12,21
		12,38	k. Pr.	12,03	12,32	12,43	12,21	k. Pr.	10,26	12,21	12,29
HMVA	Waldb.	11,10	9,46	10,44	11,82	12,06	11,60	11,88	11,73	11,69	11,78
		7,86	7,75	7,92	9,34	11,98	11,50	11,79	10,35	11,2	11,66
		7,72	7,65	7,89	11,04	11,99	11,68	11,76	9,98	11,8	11,58
	Sandb.	7,93	8,41	8,30	7,94	11,81	11,43	11,62	9,58	11,49	10,82
		7,62	7,83	7,60	7,36	11,68	11,36	11,75	9,28	10,42	10,91
		10,66	7,76	7,98	7,89	11,79	11,60	k. Pr.	10,62	11,62	11,79
	Lößb.	11,34	9,94	10,98	11,47	11,94	11,65	k. Pr.	9,66	10,33	11,64
		7,90	8,16	7,64	7,48	11,44	11,29	k. Pr.	8,17	8,6	9,6
		7,58	k. Pr.	8,06	7,71	11,65	11,12	k. Pr.	k. Pr.	9,99	10,65
Kehrgut	Waldb.	7,65	7,75	7,53	7,42	7,54	7,50	8,08	7,74	7,9	7,82
		7,29	7,88	7,57	7,60	7,70	7,86	8,21	7,88	7,96	7,71
		7,55	7,74	7,58	7,55	7,56	7,52	8,1	7,82	7,96	7,63
	Sandb.	7,67	7,95	7,56	7,49	7,45	7,40	7,97	7,63	7,8	7,61
		7,54	7,98	k. Pr.	7,42	7,40	7,48	k. Pr.	7,68	7,86	7,6
		7,72	7,94	7,63	7,39	7,45	7,50	8,1	7,76	7,84	7,56
	Lößb.	7,89	8,57	7,75	7,48	7,40	7,63	7,95	7,76	7,85	7,61
		7,78	8,38	7,66	7,64	7,62	7,50	7,7	7,75	7,9	7,7
		7,77	8,15	7,63	7,55	7,47	7,52	k. Pr.	7,66	7,8	7,68
RM Boden	Waldb.	7,55	7,88	7,91	7,80	7,93	7,81	7,96	8,06	7,83	7,95
		7,50	7,87	7,94	7,98	8,02	7,91	k. Pr.	8,03	7,78	7,94
		k. Pr.	7,74	7,85	7,88	7,98	7,84	k. Pr.	8,09	7,8	7,91
	Sandb.	7,44	7,90	7,62	7,60	7,85	7,95	k. Pr.	7,91	7,76	7,93
		7,57	7,93	7,63	7,56	7,79	7,97	k. Pr.	7,89	7,79	7,93
		7,57	7,95	7,57	7,67	7,84	7,99	k. Pr.	7,86	7,83	7,97
	Lößb.	7,77	8,19	7,75	7,65	7,90	8,02	k. Pr.	7,88	7,85	8,04
		7,76	8,17	7,71	7,62	7,98	8,11	k. Pr.	7,94	7,86	8,02
		7,64	8,05	7,68	7,76	7,99	8,12	k. Pr.	8,00	7,86	8,02

Tabelle 10 Fortsetzung: pH-Werte im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen

Material u. Abdeckung		Probenahmetermine									
		2002				2003				2004	
		11.08.	29.09.	28.10.	04.12.	07.01.	23.02.	02.06.	14.12.	16.02.	21.04.
Pochsand	Waldb.	7,54	7,98	8,09	8,04	8,12	8,18	8,02	8,27	8,15	7,96
		7,48	7,93	7,99	7,85	8,15	8,21	8,09	8,29	8,23	8,02
		7,46	7,98	8,10	8,06	8,15	8,20	k. Pr.	8,28	8,25	8,10
	Sandb.	7,49	8,05	7,93	7,88	8,02	8,21	k. Pr.	8,22	8,16	8,12
		7,43	7,94	7,83	7,86	8,02	8,25	k. Pr.	8,21	8,11	8,05
		7,31	7,95	7,79	7,78	7,97	8,16	k. Pr.	8,21	8,09	8,08
	Lößb.	7,46	7,96	7,93	7,92	8,02	8,24	k. Pr.	8,13	8,07	8,10
		7,42	7,93	7,81	7,84	8,03	8,26	k. Pr.	8,03	8,09	8,12
		7,58	7,90	7,86	7,84	8,13	8,26	k. Pr.	8,11	8,11	8,08
Auel.	Waldb.	k. Pr.	k. Pr.	7,24	7,58	7,97	8,06	k. Pr.	8,07	7,97	7,99
		k. Pr.	7,51	7,47	7,84	7,96	7,98	8,14	8,09	7,93	7,81
		k. Pr.	7,41	7,54	7,93	8,00	7,92	7,85	7,99	7,89	7,78
	Sandb.	k. Pr.	k. Pr.	7,08	7,17	7,70	7,96	k. Pr.	8,01	7,83	7,81
		k. Pr.	k. Pr.	7,12	7,38	7,69	7,99	k. Pr.	8,01	7,75	7,76
		k. Pr.	7,67	7,42	7,59	7,72	7,93	7,82	7,94	7,74	7,73
	Lößb.	k. Pr.	k. Pr.	6,83	7,44	7,69	7,88	7,79	7,80	7,76	7,79
		k. Pr.	k. Pr.	6,49	6,95	7,83	8,01	8,08	7,65	7,8	7,67
		k. Pr.	k. Pr.	6,20	6,96	7,84	7,87	k. Pr.	7,79	7,83	7,67
GRS	Waldb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	8,02	8,46	8,48	8,51	8,47	8,31	8,04
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	7,89	8,45	8,50	8,37	8,47	8,4	8,03
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	7,83	8,31	8,42	8,51	8,44	8,51	8,31
	Sandb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	7,93	8,24	6,86	8,29	8,16	8,17	7,91
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	7,52	8,27	8,31	8,47	8,36	8,35	7,94
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	7,80	8,36	8,39	8,36	8,37	8,27	8,11
	Lößb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	7,91	8,37	8,46	k. Pr.	8,54	8,26	8,11
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	7,86	8,27	8,43	k. Pr.	8,56	8,41	8,30
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	7,82	8,23	8,61	8,63	8,53	8,33	8,28
BHG	Waldb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	7,11	7,66	7,78	7,70	7,88	7,85	7,72
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	6,81	7,75	7,69	k. Pr.	7,90	7,86	7,65
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	6,58	7,57	7,81	k. Pr.	7,82	7,77	7,67
	Sandb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	6,46	10,26	6,87	7,68	7,94	7,79	7,67
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	9,44	9,78	8,08	k. Pr.	7,97	7,75	7,69
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	6,85	9,71	7,98	k. Pr.	7,96	7,75	7,71
	Lößb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	6,75	11,13	8,59	k. Pr.	7,90	7,78	7,72
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	6,57	10,14	9,09	7,73	7,91	7,73	7,70
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	6,23	10,57	9,63	7,68	7,92	7,71	7,68
Quarzs.	Waldb.	5,83	7,46	6,06	6,07	4,64	4,32	4,11	3,63	3,75	3,81
		6,17	7,26	6,22	6,25	4,45	4,18	4,11	3,87	3,7	3,77
		5,81	7,16	5,83	6,00	5,08	k. Pr.	4,51	4,18	3,95	4,02
	Sandb.	6,38	4,93	3,77	3,66	4,26	k. Pr.	4,41	4,45	4,21	4,44
		6,37	5,32	3,94	3,74	4,02	4,38	k. Pr.	4,51	4,25	4,54
		k. Pr.	k. Pr.	3,75	3,59	3,90	4,18	4,25	4,44	4,21	4,61
	Lößb.	k. Pr.	k. Pr.	6,40	6,28	7,70	7,78	k. Pr.	7,18	6,81	6,92
		6,47	6,45	6,55	6,41	7,22	k. Pr.	7,84	7,11	6,91	7,01
		6,17	k. Pr.	6,60	6,34	7,49	7,76	k. Pr.	7,19	7,01	7,10

Tabelle 11: Elektrische Leitfähigkeiten (µS/cm) im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen

Material u. Abdeckung		Probenahmetermine									
		2002				2003				2004	
		11.08.	29.09.	28.10.	04.12.	07.01.	23.02.	02.06.	14.12.	16.02.	21.04.
BSG 1	Waldb.	1090	1844	2220	2620	1489	921	k. Pr.	2120	1898	1192
		813	1659	2050	2250	1359	991	856	1930	1967	1373
		528	1972	2280	2320	1637	1199	1016	k. Pr.	2160	1721
	Sandb.	623	1980	3380	5600	2090	1013	869	1710	2740	2050
		511	2180	3670	5200	2070	970	832	1820	2820	1618
		918	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
	Lößb.	307	1600	2410	4140	2160	1078	911	1410	2510	1634
		713	2080	2640	4090	1790	951	k. Pr.	1630	2230	1340
		395	1570	2470	4360	1670	874	k. Pr.	1610	2580	1665
BSG 2	Waldb.	395	1700	1960	2160	1590	1075	854	1210	1938	1980
		416	1880	2160	2190	1430	k. Pr.	893	1320	1894	1926
		395	1970	2140	2210	1390	949	771	1200	1903	1694
	Sandb.	227	1330	2100	4480	3630	1416	725	992	2140	1944
		435	1710	2050	5130	4040	1341	721	1023	2020	1923
		694	1950	2430	4710	3220	1428	794	1043	2020	1865
	Lößb.	433	1465	1843	3530	3010	977	k. Pr.	1001	2040	1655
		462	1487	1605	3560	2710	848	630	1195	2090	1577
		111	520	1619	3800	3150	925	k. Pr.	983	1871	1156
Bauschutt	Waldb.	4360	4200	5280	7130	6620	5740	4800	1878	3300	3780
		5670	4270	4500	5230	5550	4990	3740	2040	2510	3720
		7320	7050	7320	7840	6330	4840	4440	1430	3070	3490
	Sandb.	5610	4210	5860	7800	7660	6480	k. Pr.	1790	4290	3890
		8550	6720	6630	8060	6980	5400	k. Pr.	2020	3630	3960
		5630	3030	4700	8790	8380	7040	k. Pr.	1990	5530	6410
	Lößb.	3790	2780	3240	6660	7590	5810	k. Pr.	1680	2380	2850
		7110	k. Pr.	4460	7680	6670	6130	k. Pr.	1840	2760	3320
		7900	k. Pr.	5510	8120	7580	6470	k. Pr.	1550	3890	4090
HMVA	Waldb.	11750	10810	9140	6300	3720	2590	2840	2630	2410	2070
		15360	16410	13310	6310	3800	2680	2810	2270	2400	2180
		14580	15650	12210	6170	3870	3000	2820	2170	2900	2050
	Sandb.	10320	9950	9490	8630	4750	2950	2820	2290	2900	2090
		11720	12630	12510	10220	4630	3040	3000	2310	2470	2130
		12550	12210	12180	10580	5270	3440	k. Pr.	2570	3080	2890
	Lößb.	10800	10000	9880	8600	4500	2600	k. Pr.	2120	2600	2810
		10260	11180	10830	8490	3580	2640	k. Pr.	2940	2770	2300
		15920	k. Pr.	15840	11870	4310	2720	k. Pr.	k. Pr.	2830	2530
Kehrgut	Waldb.	1906	4030	4740	4060	2380	1750	1394	1540	1789	1747
		2850	4400	4980	4390	2400	1760	1571	1630	1747	1635
		3040	4510	5230	4220	2330	1760	1482	1560	1704	1642
	Sandb.	3090	3770	5170	5930	4170	2450	1701	2000	2770	2020
		1660	3560	k. Pr.	5570	3360	1760	k. Pr.	1660	2140	1662
		3710	3920	4920	5530	3910	2140	1542	1820	2610	1898
	Lößb.	4250	4320	5110	6060	3830	1910	1571	1790	2660	2300
		4510	4290	5190	7030	4980	2570	1847	1890	2730	2370
		3890	4060	5070	5800	3420	1690	k. Pr.	1930	3040	2000
RM Boden	Waldb.	1165	1293	1397	1310	794	573	577	1090	1154	657
		1213	1320	1409	1140	802	638	k. Pr.	1208	1121	620
		k. Pr.	1091	1437	1200	853	704	k. Pr.	1085	1136	740
	Sandb.	1796	3030	4110	4630	1980	983	k. Pr.	1242	1360	661
		3090	3340	4130	4920	2000	931	k. Pr.	1277	1260	733
		1430	2530	3910	4720	2000	885	k. Pr.	1230	1223	725
	Lößb.	1027	1368	1702	1880	909	603	k. Pr.	1033	1162	615
		1256	1535	1723	1900	874	660	k. Pr.	1150	1112	575
		886	1016	1862	2000	938	679	k. Pr.	1160	1095	561

Tabelle 11 Fortsetzung: Elektrische Leitfähigkeiten (µS/cm) im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen

Material u. Abdeckung		Probenahmetermine									
		2002				2003				2004	
		11.08.	29.09.	28.10.	04.12.	07.01.	23.02.	02.06.	14.12.	16.02.	21.04.
Pochsand	Waldb.	232	428	688	1030	912	708	648	985	1218	950
		237	412	627	958	828	747	702	997	1240	967
		230	385	607	1006	840	694	k. Pr.	839	1242	925
	Sandb.	211	321	1568	2580	1292	772	k. Pr.	741	1262	820
		243	315	1399	3380	1280	830	k. Pr.	748	1231	834
		243	280	2210	3160	1247	760	k. Pr.	727	1252	810
	Lößb.	221	232	334	1170	914	672	k. Pr.	660	1168	830
		247	282	426	1330	855	668	k. Pr.	678	1199	821
		230	261	381	1190	828	699	k. Pr.	661	1109	775
Auel.	Waldb.	k. Pr.	k. Pr.	830	1520	1197	843	k. Pr.	1428	1565	1040
		k. Pr.	86	983	1410	1111	830	752	1330	1701	1234
		k. Pr.	283	1103	1350	1030	769	716	1529	1682	1306
	Sandb.	k. Pr.	k. Pr.	1394	5150	2380	907	k. Pr.	927	1834	1267
		k. Pr.	k. Pr.	1346	4570	2710	975	k. Pr.	918	1920	1436
		k. Pr.	51	1282	4230	2260	891	651	1177	1862	1151
	Lößb.	k. Pr.	k. Pr.	344	1733	1158	748	630	1194	1628	790
		k. Pr.	k. Pr.	112	1830	1170	704	619	1308	1751	1004
		k. Pr.	k. Pr.	214	2000	1097	663	k. Pr.	1081	1757	1017
GRS	Waldb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2540	2020	1708	1563	1799	1325	813
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2590	1920	1472	1420	1735	1415	821
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2850	1930	1476	1391	1617	1338	864
	Sandb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	3210	2870	1638	1310	1340	1476	770
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2760	2250	1414	1293	1496	1490	760
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2960	2350	1411	1299	1596	1444	759
	Lößb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2620	2210	1454	k. Pr.	1516	1750	788
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	3090	2470	1536	k. Pr.	1518	1614	868
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2740	2860	1674	1483	1527	1780	969
BHG	Waldb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	964	399	352	304	466	522	296
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1256	575	357	k. Pr.	363	489	295
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1124	433	342	k. Pr.	438	401	235
	Sandb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1977	556	309	297	522	352	232
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1797	537	336	k. Pr.	509	380	257
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1623	598	340	k. Pr.	492	389	240
	Lößb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1299	675	258	k. Pr.	537	274	221
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1483	499	312	304	534	311	219
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1293	454	269	276	542	296	221
Quarzs.	Waldb.	53	62	81	253	515	247	188	351	758	484
		68	84	96	238	589	288	141	218	587	391
		57	72	115	354	353	k. Pr.	173	356	580	344
	Sandb.	84	1581	3400	4300	839	k. Pr.	280	185	797	342
		112	1488	2990	3370	1587	286	k. Pr.	194	694	316
		k. Pr.	k. Pr.	2720	3750	1666	473	273	216	802	231
	Lößb.	k. Pr.	k. Pr.	1020	2330	415	297	k. Pr.	261	656	245
		58	69	836	1810	991	k. Pr.	332	368	722	345
		56	k. Pr.	567	1900	599	318	k. Pr.	276	905	390

Tabelle 12: DOC-Gehalte in mg/l im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen

Material u. Abdeckung		Probenahmetermine									
		2002				2003				2004	
		11.08.	29.09.	28.10.	04.12.	07.01.	23.02.	02.06.	14.12.	16.02.	21.04.
BSG 1	Waldb.	205	204	133	103	103	86	k. Pr.	71	100	75
		220	206	127	105	100	89	89	81	60	68
		211	208	121	107	102	93	94	69	63	69
	Sandb.	210	246	127	78	71	55	52	44	50	47
		198	220	119	69	60	49	49	47	45	49
		153	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
	Lößb.	170	198	137	78	65	56	47	54	47	46
		165	295	101	67	62	51	k. Pr.	48	45	47
		158	172	96	64	71	60	k. Pr.	50	48	46
BSG 2	Waldb.	183	160	79	96	72	64	60	56	51	49
		176	137	76	81	78	k. Pr.	66	58	53	50
		153	135	75	73	79	77	65	56	54	46
	Sandb.	143	108	66	52	46	44	44	42	51	42
		119	128	65	46	49	44	43	46	45	40
		78	86	82	48	51	41	41	42	44	41
	Lößb.	66	73	70	56	53	49	k. Pr.	40	42	39
		67	111	67	55	47	42	39	39	52	38
		68	30	37	38	41	42	k. Pr.	35	40	36
Bauschutt	Waldb.	468	260	155	122	48	30	27	40	39	26
		362	212	125	104	42	38	32	24	39	32
		379	290	219	128	41	30	27	32	55	33
	Sandb.	555	397	311	183	75	46	k. Pr.	45	77	41
		410	405	317	175	68	43	k. Pr.	44	65	39
		279	314	207	126	53	33	k. Pr.	41	52	35
	Lößb.	286	273	148	145	58	47	k. Pr.	17	53	39
		354	k. Pr.	213	167	60	42	k. Pr.	22	64	43
		333	k. Pr.	318	178	72	47	k. Pr.	37	64	41
HMVA	Waldb.	243	246	251	167	53	48	35	58	61	29
		295	213	200	174	60	50	39	74	57	28
		274	220	223	175	55	47	39	70	64	33
	Sandb.	236	243	216	137	67	56	42	108	72	39
		279	218	189	151	66	57	48	104	63	44
		311	197	138	162	74	62	k. Pr.	115	82	40
	Lößb.	241	258	246	180	55	46	k. Pr.	84	70	43
		247	233	202	121	59	57	k. Pr.	47	45	40
		273	k. Pr.	220	152	64	63	k. Pr.	k. Pr.	82	47
Kehrgut	Waldb.	278	254	426	307	142	147	105	148	120	96
		243	254	307	279	150	136	86	136	116	96
		243	266	301	282	140	120	85	128	134	112
	Sandb.	271	275	292	228	125	108	77	108	119	99
		262	368	k. Pr.	245	150	98	k. Pr.	99	109	101
		285	281	309	202	144	104	75	100	112	95
	Lößb.	345	321	328	208	191	96	81	121	122	97
		378	367	323	194	164	96	86	126	124	95
		301	291	261	193	161	100	k. Pr.	110	103	93
RM Boden	Waldb.	195	168	133	94	95	92	76	84	73	113
		156	140	132	102	78	68	k. Pr.	79	85	109
		k. Pr.	142	120	107	99	91	k. Pr.	85	92	127
	Sandb.	209	228	132	75	62	45	k. Pr.	52	47	50
		214	248	120	73	55	40	k. Pr.	51	45	47
		200	267	130	77	54	40	k. Pr.	53	45	47
	Lößb.	291	285	121	77	42	32	k. Pr.	44	35	37
		323	313	130	65	37	29	k. Pr.	42	34	38
		355	317	148	69	36	32	k. Pr.	39	36	40

Tabelle 12 Fortsetzung: DOC-Gehalte in mg/l im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen

Material u. Abdeckung		Probenahmetermine									
		2002				2003				2004	
		11.08.	29.09.	28.10.	04.12.	07.01.	23.02.	02.06.	14.12.	16.02.	21.04.
Pochsand	Waldb.	118	70	42	32	28	23	21	43	38	47
		62	68	37	32	29	22	23	49	41	48
		68	79	40	27	34	22	k. Pr.	46	45	48
	Sandb.	89	136	65	31	33	19	k. Pr.	31	29	33
		98	131	122	28	35	18	k. Pr.	29	26	31
		242	187	93	25	39	19	k. Pr.	28	26	28
	Lößb.	216	220	136	39	32	17	k. Pr.	42	27	30
		160	210	134	39	29	35	k. Pr.	41	24	28
		199	232	145	40	28	28	k. Pr.	40	24	26
Auel.	Waldb.	k. Pr.	k. Pr.	171	61	47	48	k. Pr.	64	32	37
		k. Pr.	251	98	51	46	46	42	60	33	36
		k. Pr.	204	81	46	40	42	49	56	33	40
	Sandb.	k. Pr.	k. Pr.	145	45	27	28	k. Pr.	42	22	26
		k. Pr.	k. Pr.	161	51	23	28	k. Pr.	40	22	26
		k. Pr.	249	135	49	24	27	35	41	25	28
	Lößb.	k. Pr.	k. Pr.	150	39	23	30	35	42	27	25
		k. Pr.	k. Pr.	182	52	25	28	36	39	24	23
		k. Pr.	k. Pr.	171	56	24	27	k. Pr.	37	23	22
GRS	Waldb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	118	66	83	115	112	57	65
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	158	130	86	106	110	55	57
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	185	123	76	100	111	76	64
	Sandb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	156	68	41	38	44	41	30
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	143	86	48	56	66	41	31
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	146	92	48	56	59	42	30
	Lößb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	148	90	46	k. Pr.	60	36	28
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	146	101	51	k. Pr.	74	52	40
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	131	76	52	79	77	55	47
BHG	Waldb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	32	16	19	21	24	24	25
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	16	22	19	k. Pr.	17	22	22
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	10	13	16	k. Pr.	18	21	19
	Sandb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	23	5	5	8	15	12	9
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	21	6	6	k. Pr.	15	12	9
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	15	6	6	k. Pr.	24	11	9
	Lößb.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	23	4	5	k. Pr.	18	9	10
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	23	5	6	9	20	8	8
		k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	45	4	5	7	17	8	9
Quarzs.	Waldb.	156	127	52	48	90	115	116	79	73	110
		104	80	36	48	79	123	125	91	83	109
		117	73	45	73	105	k. Pr.	113	67	79	115
	Sandb.	117	125	75	35	16	k. Pr.	17	11	22	28
		298	290	83	21	16	16	k. Pr.	11	21	27
		k. Pr.	k. Pr.	90	33	12	13	13	9	24	28
	Lößb.	k. Pr.	k. Pr.	124	26	21	24	k. Pr.	17	15	26
		300	233	86	17	17	k. Pr.	16	16	15	18
		272	k. Pr.	118	19	21	25	k. Pr.	17	15	19
		Möglicherweise Weichmacher-Eintrag aus PA-Schläuchen									

Tabelle 13: SO_4-Gehalte in mg/l im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen

Material u. Abdeckung		Probenahmetermine									
		2002				2003				2004	
		11.08.	29.09.	28.10.	04.12.	07.01.	23.02.	02.06.	14.12.	16.02.	21.04.
BSG 1	Waldb.	--	220	195	220	100	44	k. Pr.	164	80	61
		--	167	166	141	76	52	43	141	124	61
		--	205	196	159	111	64	48	173	111	75
	Sandb.	--	206	167	211	175	92	69	174	218	123
		--	206	183	215	163	105	80	190	251	118
		--	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
	Lößb.	--	117	150	207	100	45	46	149	354	170
		--	150	169	203	83	34	k. Pr.	205	288	116
		--	190	180	156	72	19	k. Pr.	124	220	112
BSG 2	Waldb.	--	193	184	153	67	35	29	58	108	74
		--	249	179	143	66	k. Pr.	27	70	94	71
		--	235	174	140	57	37	25	53	102	66
	Sandb.	--	228	187	161	174	140	93	85	143	101
		--	216	144	177	189	155	96	88	129	104
		--	232	168	195	171	139	101	86	144	101
	Lößb.	--	186	142	184	96	25	k. Pr.	39	124	103
		--	235	144	235	106	55	23	76	164	110
		--	125	118	157	93	39	k. Pr.	47	104	68
Bauschutt	Waldb.	--	1612	1618	1368	1066	863	593	611	498	380
		--	1642	1480	1282	973	922	751	830	763	499
		--	1959	1737	1438	1000	850	591	547	508	341
	Sandb.	--	1595	1346	1259	1054	888	k. Pr.	386	574	465
		--	1679	1380	1301	898	770	k. Pr.	404	375	260
		--	1098	841	1043	952	1024	k. Pr.	534	654	524
	Lößb.	--	1354	1211	1222	908	881	k. Pr.	649	519	367
		--	k. Pr.	1397	1239	913	852	k. Pr.	657	527	408
		--	k. Pr.	1508	1414	1077	851	k. Pr.	453	538	411
HMVA	Waldb.	--	428	601	864	479	292	244	294	414	273
		--	398	565	969	567	352	301	404	496	321
		--	440	577	1008	619	389	335	360	537	378
	Sandb.	--	336	338	484	461	328	315	329	555	533
		--	414	422	599	526	379	340	389	553	489
		--	372	307	476	575	362	k. Pr.	397	553	495
	Lößb.	--	398	399	494	465	287	k. Pr.	332	575	576
		--	472	421	669	491	311	k. Pr.	955	866	653
		--	k. Pr.	349	593	603	374	k. Pr.	k. Pr.	634	653
Kehrgut	Waldb.	--	314	273	337	521	305	262	240	320	235
		--	496	453	547	511	341	291	287	230	96
		--	552	453	478	459	295	292	293	338	155
	Sandb.	--	438	421	805	661	378	269	393	420	186
		--	375	k. Pr.	815	657	292	k. Pr.	335	355	147
		--	281	384	782	878	419	298	380	459	150
	Lößb.	--	51	101	868	845	376	267	384	513	262
		--	82	72	927	911	443	320	409	506	276
		--	68	382	1120	610	267	k. Pr.	341	392	180
RM Boden	Waldb.	--	555	488	321	155	16	76	236	128	24
		--	545	527	340	178	95	k. Pr.	298	183	36
		--	507	538	301	191	82	k. Pr.	268	207	69
	Sandb.	--	680	642	630	394	208	k. Pr.	359	227	96
		--	623	698	659	400	191	k. Pr.	329	216	138
		--	673	699	600	405	198	k. Pr.	347	224	129
	Lößb.	--	638	662	581	220	113	k. Pr.	228	219	92
		--	717	680	564	201	94	k. Pr.	276	220	80
		--	457	697	543	236	107	k. Pr.	249	196	81

Tabelle 13 Fortsetzung: SO_4-Gehalte in mg/l im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen

Material u. Abdeckung		Probenahmetermine									
		2002				2003				2004	
		11.08.	29.09.	28.10.	04.12.	07.01.	23.02.	02.06.	14.12.	16.02.	21.04.
Pochsand	Waldb.	--	72	64	92	104	91	77	111	135	134
		--	90	69	75	92	75	63	100	125	101
		--	58	53	65	94	79	k. Pr.	96	157	141
	Sandb.	--	41	39	47	113	126	k. Pr.	149	169	162
		--	67	43	42	122	150	k. Pr.	146	144	166
		--	54	42	41	129	150	k. Pr.	136	168	164
	Lößb.	--	54	18	64	99	92	k. Pr.	93	139	140
		--	56	65	69	100	91	k. Pr.	100	135	144
		--	51	43	58	98	90	k. Pr.	81	143	149
Auel.	Waldb.	--	k. Pr.	5	55	48	33	k. Pr.	11	40	41
		--	23	8	40	45	37	11	6	45	46
		--	24	19	48	37	28	22	16	43	45
	Sandb.	--	k. Pr.	14	86	194	139	k. Pr.	54	59	71
		--	k. Pr.	6	72	165	135	k. Pr.	53	68	80
		--	4	15	79	154	108	74	47	65	72
	Lößb.	--	k. Pr.	13	44	38	23	15	11	45	40
		--	k. Pr.	11	35	43	17	18	13	45	46
		--	k. Pr.	8	50	43	18	k. Pr.	9	46	50
GRS	Waldb.	--	k. Pr.	k. Pr.	717	470	250	149	246	146	92
		--	k. Pr.	k. Pr.	716	390	78	108	191	83	27
		--	k. Pr.	k. Pr.	820	396	94	71	117	61	11
	Sandb.	--	k. Pr.	k. Pr.	677	517	245	165	209	160	79
		--	k. Pr.	k. Pr.	822	385	131	93	162	148	60
		--	k. Pr.	k. Pr.	710	347	145	89	216	158	60
	Lößb.	--	k. Pr.	k. Pr.	720	224	85	k. Pr.	138	209	62
		--	k. Pr.	k. Pr.	906	342	80	k. Pr.	107	135	20
		--	k. Pr.	k. Pr.	804	417	39	56	82	161	36
BHG	Waldb.	--	k. Pr.	k. Pr.	283	71	26	25	25	22	9
		--	k. Pr.	k. Pr.	344	95	35	k. Pr.	31	24	16
		--	k. Pr.	k. Pr.	311	94	49	k. Pr.	28	19	11
	Sandb.	--	k. Pr.	k. Pr.	251	70	36	23	44	28	18
		--	k. Pr.	k. Pr.	251	64	36	k. Pr.	44	38	23
		--	k. Pr.	k. Pr.	274	76	41	k. Pr.	32	32	19
	Lößb.	--	k. Pr.	k. Pr.	260	42	23	k. Pr.	28	15	4
		--	k. Pr.	k. Pr.	321	56	27	13	35	23	7
		--	k. Pr.	k. Pr.	271	54	27	15	37	18	9
Quarzs.	Waldb.	--	13	1	9	26	5	14	5	16	21
		--	22	2	5	21	23	23	24	20	17
		--	14	17	10	17	k. Pr.	22	20	1	2
	Sandb.	--	61	110	138	120	k. Pr.	52	25	37	43
		--	62	106	131	122	47	k. Pr.	18	35	34
		--	k. Pr.	117	157	135	101	66	35	41	34
	Lößb.	--	k. Pr.	18	26	5	6	k. Pr.	4	29	1
		--	15	9	20	19	k. Pr.	1	k. Pr.	32	4
		--	k. Pr.	8	24	9	5	k. Pr.	k. Pr.	43	3

Tabelle 14: Chlorid-Gehalte in mg/l im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen

Material u. Abdeckung		Probenahmetermine									
		2002				2003				2004	
		11.08.	29.09.	28.10.	04.12.	07.01.	23.02.	02.06.	14.12.	16.02.	21.04.
BSG 1	Waldb.	--	107	85	69	29	7	k. Pr.	11	10	6
		--	114	92	69	22	11	9	12	11	8
		--	146	101	65	15	10	7	k. Pr.	10	7
	Sandb.	--	169	234	262	44	10	5	12	18	8
		--	184	249	251	36	6	4	11	17	7
		--	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
	Lößb.	--	119	166	144	25	7	5	9	18	7
		--	158	173	120	17	2	k. Pr.	10	14	5
		--	99	144	99	15	2	k. Pr.	9	17	8
BSG 2	Waldb.	--	68	67	46	19	9	7	4	6	8
		--	75	66	49	12	k. Pr.	k. Pr.	4	6	7
		--	65	58	43	11	7	6	4	6	7
	Sandb.	--	44	60	180	102	23	7	4	4	5
		--	45	57	230	118	21	7	3	4	5
		--	56	73	202	92	23	8	4	4	5
	Lößb.	--	49	56	67	15	5	k. Pr.	4	4	5
		--	47	51	62	17	3	2	3	4	4
		--	13	42	56	17	6	k. Pr.	3	4	4
Bauschutt	Waldb.	--	128	152	103	39	21	17	23	18	15
		--	142	134	110	44	28	24	27	26	17
		--	175	166	111	32	21	16	20	20	17
	Sandb.	--	115	150	236	159	85	k. Pr.	65	71	40
		--	141	145	225	148	78	k. Pr.	50	54	37
		--	73	110	218	124	62	k. Pr.	44	41	24
	Lößb.	--	43	90	135	69	34	k. Pr.	21	30	25
		--	k. Pr.	139	143	64	37	k. Pr.	25	37	29
		--	k. Pr.	148	154	77	39	k. Pr.	28	34	26
HMVA	Waldb.	--	3130	2349	885	289	34	24	49	40	16
		--	5126	3751	1068	77	35	29	58	41	13
		--	4987	3516	993	89	42	33	54	55	19
	Sandb.	--	2892	2705	2310	366	130	94	91	79	20
		--	3803	3791	2526	306	112	62	87	74	28
		--	3762	3678	2822	367	125	k. Pr.	94	85	31
	Lößb.	--	2932	2860	1889	166	47	k. Pr.	68	100	41
		--	3286	3177	1778	145	66	k. Pr.	115	113	34
		--	k. Pr.	4865	3044	206	75	k. Pr.	k. Pr.	123	31
Kehrgut	Waldb.	--	872	1086	623	67	20	9	8	9	7
		--	851	964	693	61	24	13	10	9	8
		--	919	1029	610	64	17	11	8	8	5
	Sandb.	--	892	1078	1086	343	88	22	10	10	5
		--	742		951	209	38	k. Pr.	33	26	11
		--	741	1038	1058	300	72	27	12	12	6
	Lößb.	--	1106	1144	1230	300	45	17	12	13	8
		--	1016	1084	1375	496	104	27	13	13	7
		--	1015	1068	998	167	34	k. Pr.	9	11	5
RM Boden	Waldb.	--	15	13	14	5	3	2	4	5	3
		--	15	11	12	7	4	k. Pr.	5	6	4
		--	13	13	12	5	3	k. Pr.	3	5	3
	Sandb.	--	160	212	161	42	11	k. Pr.	9	4	3
		--	181	202	186	45	10	k. Pr.	3	4	3
		--	115	182	171	40	8	k. Pr.	2	4	3
	Lößb.	--	17	14	12	4	1	k. Pr.	5	4	3
		--	17	13	11	4	3	k. Pr.	3	3	4
		--	13	14	13	4	4	k. Pr.	3	4	3

Tabelle 14 Fortsetzung: Chlorid-Gehalte in mg/l im Sickerwasser der Lysimeter nach Probenahmeterminen

Material u. Abdeckung		Probenahmetermine									
		2002				2003				2004	
		11.08.	29.09.	28.10.	04.12.	07.01.	23.02.	02.06.	14.12.	16.02.	21.04.
Pochsand	Waldb.	--	3	8	16	9	3	3	2	5	5
		--	4	6	11	7	4	4	4	5	5
		--	5	5	11	7	4	k. Pr.	3	5	5
	Sandb.	--	7	29	93	31	8	k. Pr.	5	5	4
		--	2	28	142	31	9	k. Pr.	4	5	4
		--	2	83	143	30	5	k. Pr.	2	5	4
	Lößb.	--	4	3	10	5	3	k. Pr.	4	5	5
		--	4	3	9	4	2	k. Pr.	2	4	4
		--	3	2	9	4	4	k. Pr.	2	4	5
Auel.	Waldb.	--	k. Pr.	27	31	9	5	k. Pr.	3	7	5
		--	3	28	28	10	5	4	3	5	6
		--	10	37	22	10	6	5	4	6	5
	Sandb.	--	k. Pr.	73	320	60	11	k. Pr.	2	4	5
		--	k. Pr.	76	275	79	13	k. Pr.	3	3	7
		--	4	63	235	67	8	3	k. Pr.	4	5
	Lößb.	--	k. Pr.	12	38	9	4	3	2	3	4
		--	k. Pr.	6	52	8	2	2	2	3	5
		--	k. Pr.	10	62	8	4	k. Pr.	3	4	5
GRS	Waldb.	--	k. Pr.	k. Pr.	73	52	28	16	22	15	6
		--	k. Pr.	k. Pr.	90	39	17	12	13	9	4
		--	k. Pr.	k. Pr.	99	35	12	7	9	9	5
	Sandb.	--	k. Pr.	k. Pr.	110	73	24	12	10	9	4
		--	k. Pr.	k. Pr.	83	35	8	4	7	9	4
		--	k. Pr.	k. Pr.	94	34	11	7	14	12	4
	Lößb.	--	k. Pr.	k. Pr.	81	29	10	k. Pr.	10	16	5
		--	k. Pr.	k. Pr.	107	29	6	k. Pr.	5	7	3
		--	k. Pr.	k. Pr.	93	42	7	4	4	8	3
BHG	Waldb.	--	k. Pr.	k. Pr.	93	35	15	9	8	3	2
		--	k. Pr.	k. Pr.	122	48	18	k. Pr.	12	6	2
		--	k. Pr.	k. Pr.	109	35	24	k. Pr.	17	4	2
	Sandb.	--	k. Pr.	k. Pr.	90	16	10	9	17	8	4
		--	k. Pr.	k. Pr.	88	17	10	k. Pr.	16	8	5
		--	k. Pr.	k. Pr.	97	16	11	k. Pr.	14	10	5
	Lößb.	--	k. Pr.	k. Pr.	93	17	9	k. Pr.	12	4	3
		--	k. Pr.	k. Pr.	110	17	9	9	14	5	3
		--	k. Pr.	k. Pr.	100	14	10	10	13	5	4
Quarzs.	Waldb.	--	4	4	8	6	2	3	k. Pr.	4	4
		--	3	5	10	10	4	1	k. Pr.	6	4
		--	3	5	8	5	k. Pr.	2	3	5	4
	Sandb.	--	93	224	213	17	k. Pr.	4	k. Pr.	3	3
		--	91	186	160	50	4	k. Pr.	k. Pr.	3	3
		--	k. Pr.	180	205	51	7	3	k. Pr.	3	3
	Lößb.	--	k. Pr.	6	6	4	2	k. Pr.	k. Pr.	2	2
		--	5	5	5	4	k. Pr.	1	k. Pr.	2	2
		--	k. Pr.	4	5	2	1	k. Pr.	k. Pr.	3	3

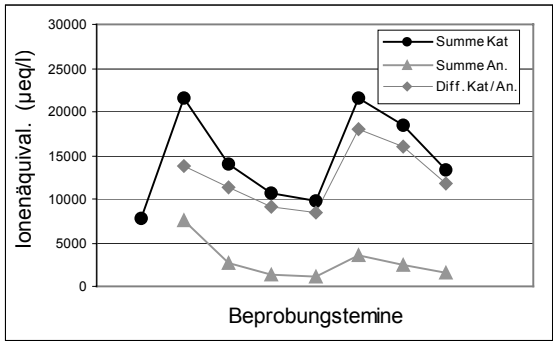
Tabelle 15: Quotient aus Kationensumme (µval/l) und elektrischer Leitfähigkeit (µS/cm)

	Bankettschälgut Landstraße									Bankettschälgut Autobahn								
	Bo1	Bo2	Bo3	Bo4	Bo5	Bo6	Bo7	Bo8	Bo9	Bo10	Bo11	Bo12	Bo13	Bo14	Bo15	Bo16	Bo17	Bo18
Termin 1	9,67	9,71	9,43	9,59	9,25	8,97	8,22	9,11	9,10	8,07	8,25	8,11	8,19	8,09	4,81	8,29	8,39	7,30
Termin 2	11,48	11,87	11,97	11,99	11,34		10,61	10,85	11,05	11,28	10,98	10,91	9,31	10,20	11,06	10,97	10,91	43,50
Termin 5	9,42	9,29	9,22	9,64	8,74		9,69	10,05	9,93	9,79	9,64	9,44	9,04	8,95	9,33	9,24	9,23	8,87
Termin 6	9,94	10,30	10,30	10,35	10,43		10,38	10,58	10,56	9,66		9,58	9,60	9,61	9,48	9,72	9,75	9,50
Termin 7		10,40	10,37	10,45	10,57		10,72			9,87	10,01	9,94	9,96	9,97	9,92		10,27	
Termin 8	9,75	9,92		10,15	10,05		10,47	10,18	9,89	9,76	9,81	9,60	9,32	9,46	9,51	9,44	9,51	9,29
Termin 9	8,95	9,54	9,13	9,80	9,66		10,17	9,61	9,30	9,24	9,22	9,13	8,84	8,93	9,53	9,12	9,71	8,79
Termin 10	9,40	9,28	9,29	9,29	9,27		9,48	9,39	9,31	9,02	8,66	8,84	8,76	8,77	8,77	8,85	8,97	9,22
	Bauschutt									Müllverbrennungsasche								
	Bo19	Bo20	Bo21	Bo22	Bo23	Bo24	Bo25	Bo26	Bo27	Bo28	Bo29	Bo30	Bo31	Bo32	Bo33	Bo34	Bo35	Bo36
Termin 1	8,45	7,63	7,29	7,94	3,86	6,90	8,64	7,01	6,72	7,75	7,63	7,56	7,56	7,66	7,68	7,43	7,67	7,91
Termin 2	10,48	10,83	9,43	10,58	9,11	10,03	11,20			12,48	12,28	11,84	11,91	12,49	12,08	11,90	11,87	
Termin 5	6,61	6,07	6,65	6,97	7,11	6,84	6,66	5,15	6,20	7,23	7,74	7,91	9,16	9,46	9,58	8,33	9,91	9,79
Termin 6	6,51	6,94	6,78	6,69	6,89	6,95	6,75	6,41	6,47	8,38	8,94	8,18	9,27	9,66	8,93	9,19	8,92	10,11
Termin 7	6,23	7,06	6,39							6,12	6,90	7,07	7,45	7,06				
Termin 8	8,23	9,70	8,74	7,29	6,76	7,92	9,10	8,97	7,62	6,34	8,42	8,43	8,47	8,50	8,26	8,35	8,88	
Termin 9	6,05	8,09	6,38	6,07	5,51	5,98	6,97	6,57	6,08	7,11	8,05	6,83	7,32	8,17	7,46	8,44	8,41	8,26
Termin 10	5,32	5,63	5,24	5,51	4,96	5,18	5,79	5,64	5,26	7,04	7,73	8,09	9,02	9,25	7,87	7,80	9,96	9,51
	Kehrgut									Referenzmaterial Boden								
	Bo37	Bo38	Bo39	Bo40	Bo41	Bo42	Bo43	Bo44	Bo45	Bo46	Bo47	Bo48	Bo49	Bo50	Bo51	Bo52	Bo53	Bo54
Termin 1	9,18	9,02	9,17	9,03	8,59	8,15	8,23	8,07	8,01	11,12	10,98		10,69	9,98	11,10	10,85	11,07	10,22
Termin 2	11,45	11,95	11,85	11,36	11,47	11,17	10,61	10,67	10,88	12,25	12,41	11,69	11,17	10,85	11,53	11,89	12,15	11,03
Termin 5	13,60	13,08	13,45	11,89	12,69	12,41	12,83	11,53	12,29	10,81	10,79	11,32	9,97	9,97	10,04	10,16	10,09	10,13
Termin 6	12,90	12,15	13,21	12,58	12,83	12,52	12,70	12,24	12,42	11,58	11,20	11,62	10,67	10,49	10,77	10,82	10,85	10,90
Termin 7	11,74	11,71	11,79	11,12		11,19	11,11	10,77		11,45								
Termin 8	11,96	11,59	11,76	10,74	11,11	11,26	11,18	10,61	10,96	11,08	10,38	11,25	10,38	10,33	10,72	10,34	10,29	10,38
Termin 9	10,84	10,38	11,02	10,50	10,49	10,23	10,64	10,73	10,33	9,40	10,30	10,56	9,62	9,27	9,70	9,90	9,92	9,79
Termin 10	10,92	10,43	10,93	10,31	10,30	10,13	10,20	10,20	10,26	10,61	10,77	11,32	10,07	9,98	9,87	9,86	9,76	10,19
	Quotienten kleiner 9 wurden grau hinterlegt																	

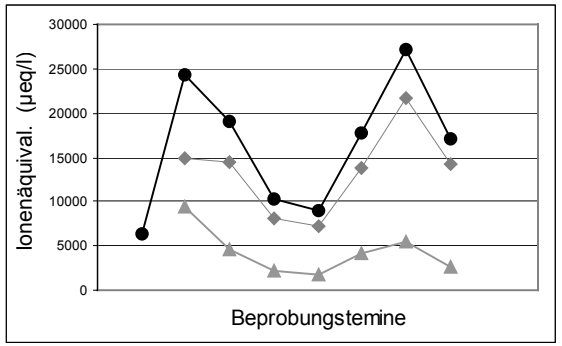
Tabelle 15 Fortsetzung: Quotient aus Kationensumme (µval/l) und elektrischer Leitfähigkeit (µS/cm)

	Pochsand									Auesediment								
	Bo55	Bo56	Bo57	Bo58	Bo59	Bo60	Bo61	Bo62	Bo63	Bo64	Bo65	Bo66	Bo67	Bo68	Bo69	Bo70	Bo71	Bo72
Termin 1	9,93	9,91	9,87	10,14	9,37	9,90	9,87	9,73	9,71									
Termin 2	11,28	11,04	11,06	10,45	10,41	10,50	10,36	9,87	9,91		8,47	10,01			8,23			
Termin 5	9,91	10,18	10,16	9,68	9,71	9,77	9,88	10,19	9,88	9,57	9,49	9,56	9,19	8,93	9,22	9,28	9,28	9,32
Termin 6	11,00	10,91	11,14	11,31	11,28	11,34	11,18	11,33	10,43	10,72	10,58	10,43	10,35	10,57	10,73	10,56	10,78	9,98
Termin 7	10,94	10,99									10,65	10,38			10,77	10,40	10,54	
Termin 8	10,84	11,19	11,24	11,21	11,02	11,17	11,13	10,75	10,73	9,77	9,65	9,45	9,62	9,81	9,46	9,32	9,17	9,33
Termin 9	9,94	10,16	10,27	10,17	9,80	9,94	10,15	9,99	10,27	9,14	8,97	8,97	8,84	8,67	8,82	8,73	8,99	8,78
Termin 10	10,44	10,70	10,98	10,83	10,81	10,41	10,60	10,75	10,78	9,61	9,49	9,61	9,29	9,21	9,58	9,67	9,51	9,56
	Gießereirestsand									Bleihüttengranulat								
	Bo73	Bo74	Bo75	Bo76	Bo77	Bo78	Bo79	Bo80	Bo81	Bo82	Bo83	Bo84	Bo85	Bo86	Bo87	Bo88	Bo89	Bo90
Termin 1																		
Termin 2																		
Termin 5	11,01	11,03	11,07	10,71	10,65	10,70	10,71	10,76	10,94	8,83	8,78	8,34	8,75	8,75	8,78	7,64	9,07	8,68
Termin 6	10,49	10,29	10,71	9,65	10,04	10,34	10,29	10,67	10,80	8,91	9,15	8,46	8,81	8,69	8,67	8,25	9,06	9,22
Termin 7	10,23	10,36	10,44	9,55	10,01	10,11			10,26	10,09			9,43				9,38	9,29
Termin 8	9,34	9,35	9,44	8,89	9,00	8,99	9,03	9,37	9,48	9,74	9,69	9,60	9,45	9,52	9,61	8,95	9,47	9,27
Termin 9	9,36	8,89	9,47	8,76	8,93	8,88	8,89	8,92	8,91	9,46	9,47	9,15	9,40	9,15	9,22	8,94	8,93	8,95
Termin 10	10,53	11,59	10,47	10,04	10,42	10,89	10,43	11,08	11,36	10,06	10,15	10,02	9,27	9,77	10,06	9,88	9,66	9,86
	Quarzsand																	
	Bo91	Bo92	Bo93	Bo94	Bo95	Bo96	Bo97	Bo98	Bo99									
Termin 1	6,97	7,46	6,49	7,52				6,82	7,04									
Termin 2	8,15	7,73	7,14	6,84	6,91			6,94										
Termin 5	8,00	7,88	9,29	7,65	7,38	7,27	9,32	8,77	8,97									
Termin 6	6,74	6,17			6,41	6,93	9,45		9,30									
Termin 7	6,05	5,63	9,38	7,37		7,07		9,67										
Termin 8	4,81	4,74	7,50	7,12	6,94	6,84	9,53	9,00	9,52									
Termin 9	5,28	4,38	7,10	7,57	7,49	7,50	8,69	8,70	8,60									
Termin 10	5,02	4,46	7,13	8,12	7,98	7,78	10,00	9,11	9,40									
	Quotienten kleiner 9 wurden grau hinterlegt																	

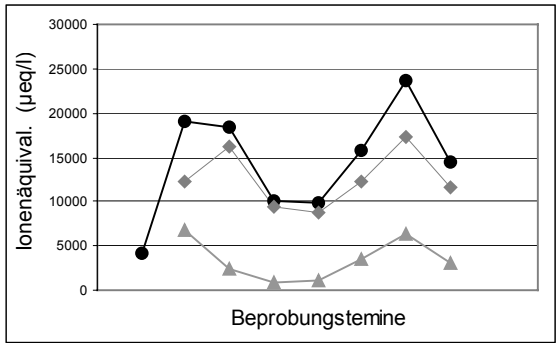
Bankettschälgut 1 Wald



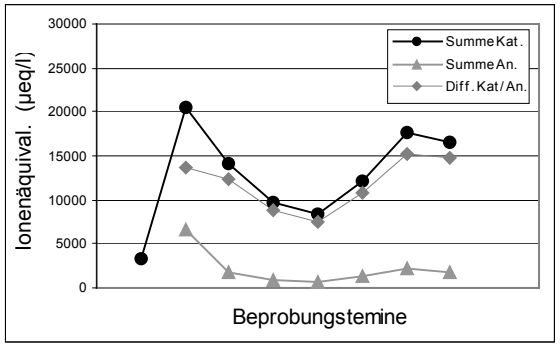
Sand



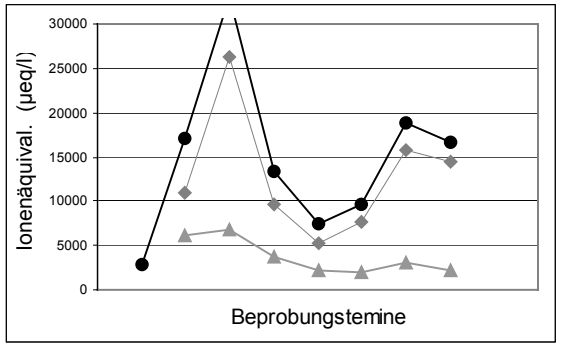
Löß



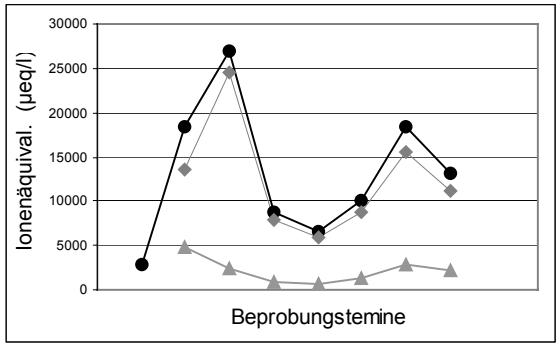
Bankettschälgut 2 Wald



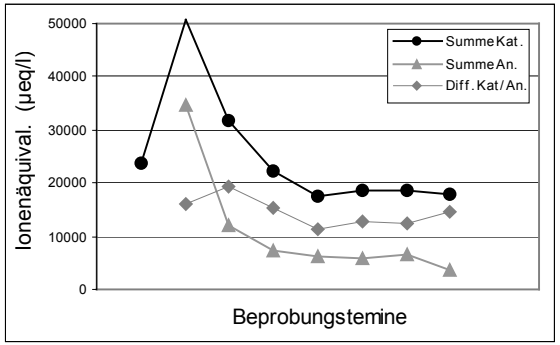
Sand



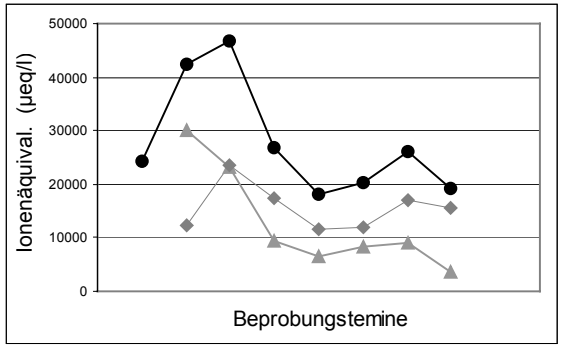
Löß



Kehrgut Wald



Sand



Löß

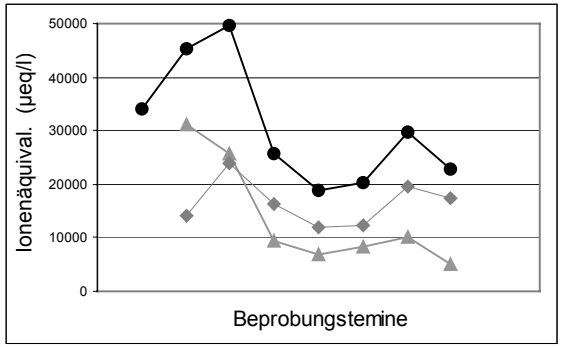
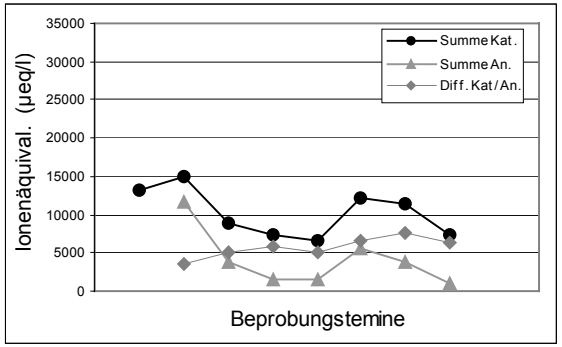
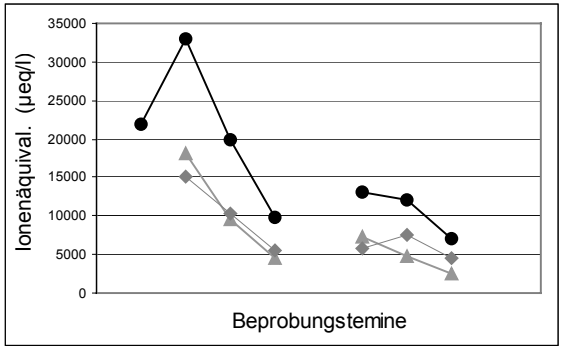


Abb. 11: Zeitlicher Verlauf der Summe der Kationen- und Anionenäquivalente ausgewählter Materialien

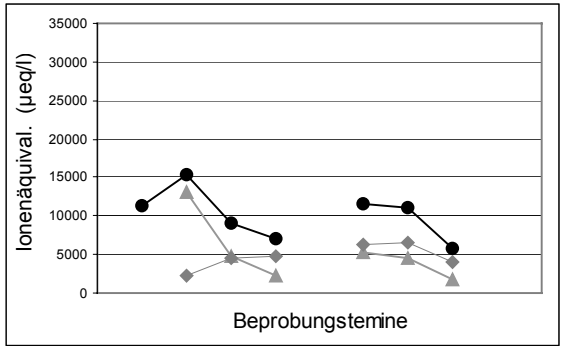
RM Boden Wald



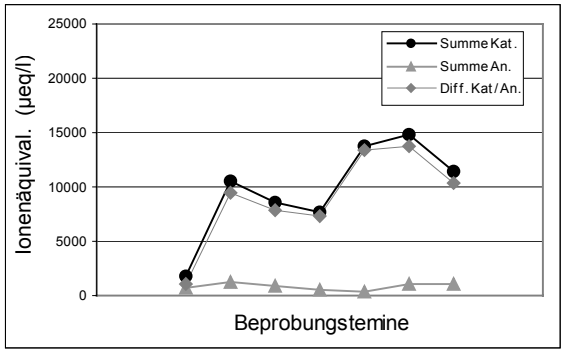
Sand



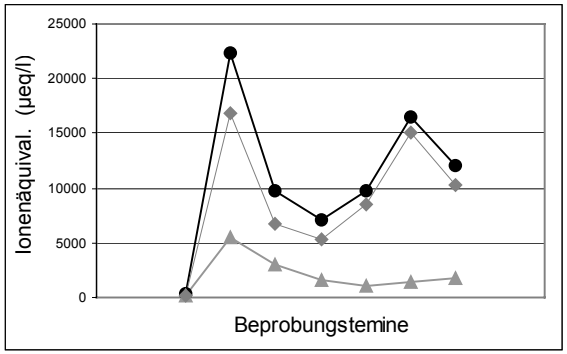
Löß



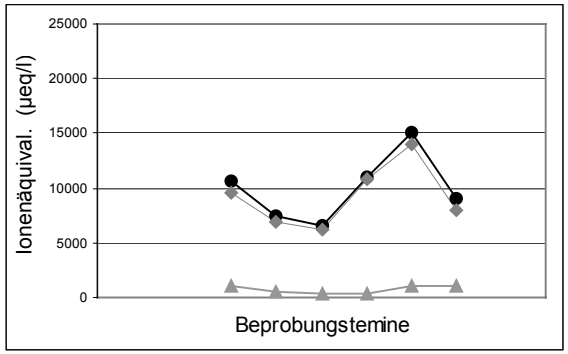
Auelehm Wald



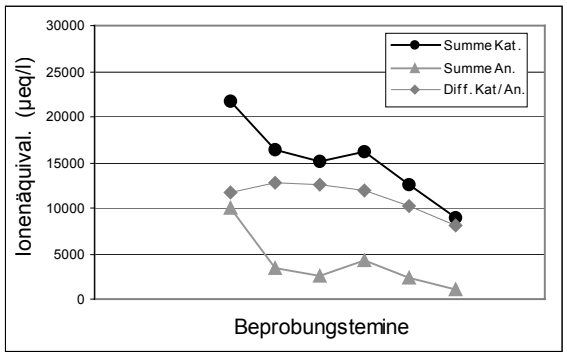
Sand



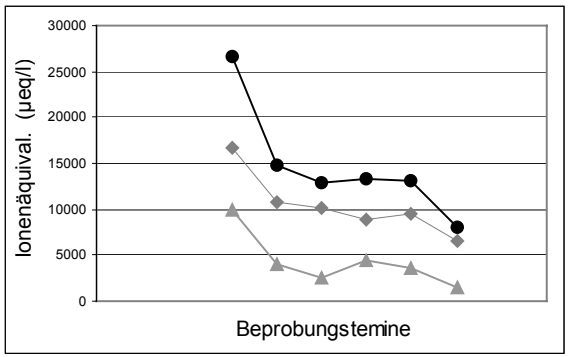
Löß



Gießereirestsand Wald



Sand



Löß

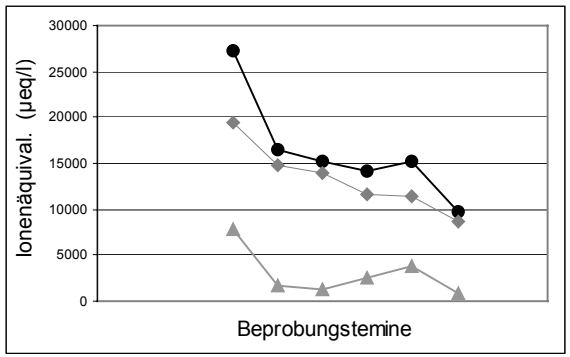
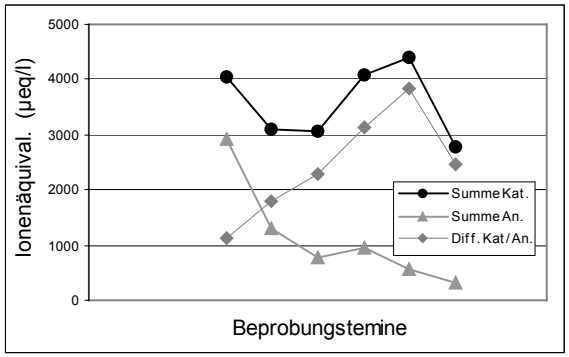
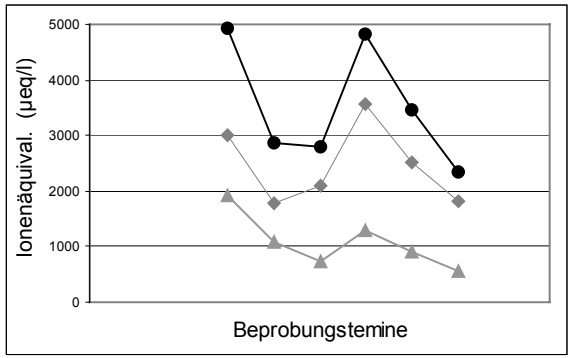


Abb. 11 Fortsetzung: Zeitlicher Verlauf der Summe der Kationen- und Anionenäquivalente ausgewählter Materialien

Bleihüttengranulat Wald



Sand



Löß

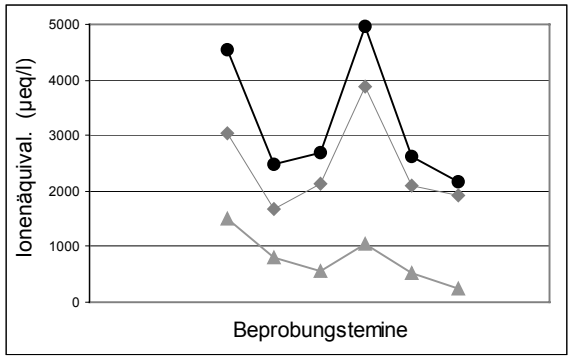
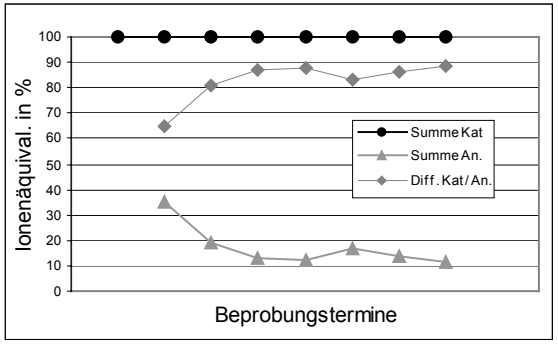
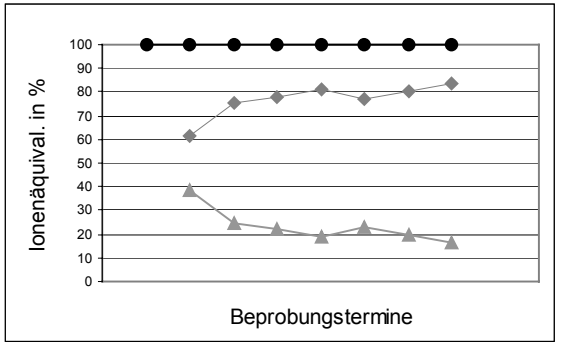


Abb. 11 Fortsetzung: Zeitlicher Verlauf der Summe der Kationen- und Anionenäquivalente ausgewählter Materialien

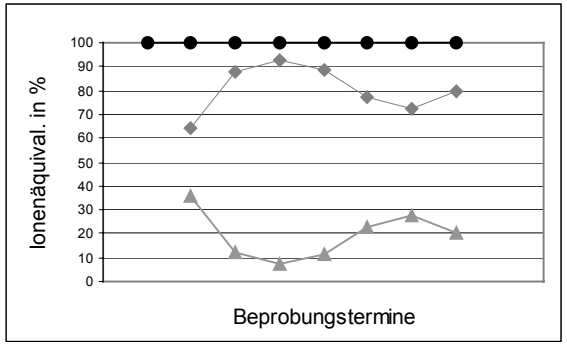
Bankettschälgut 1 Wald



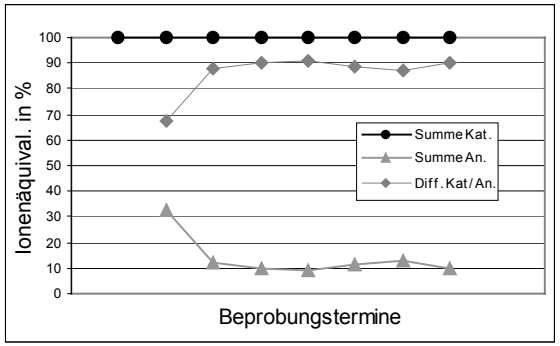
Sand



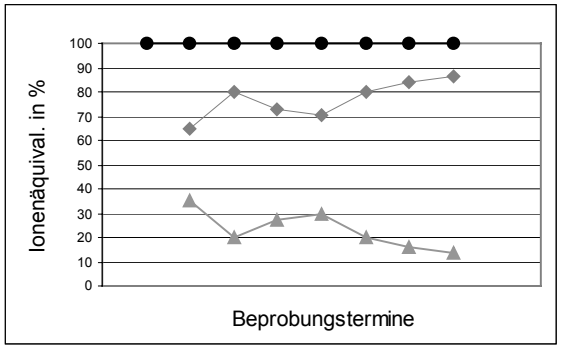
Löß



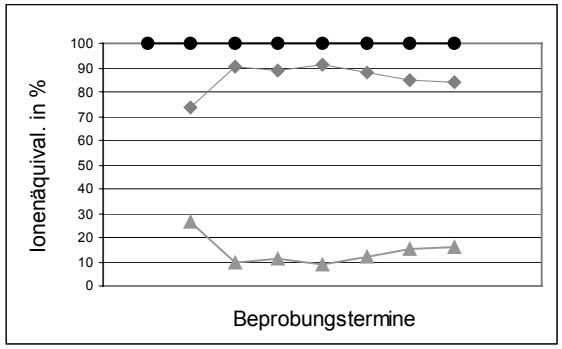
Bankettschälgut 2 Wald



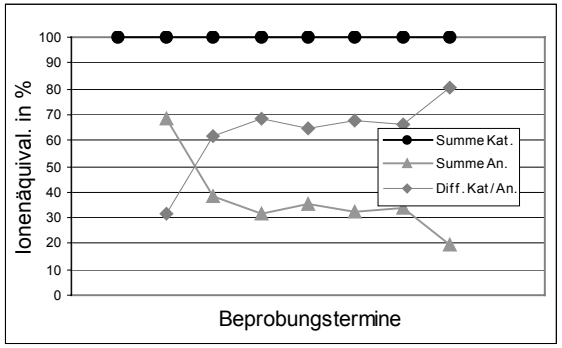
Sand



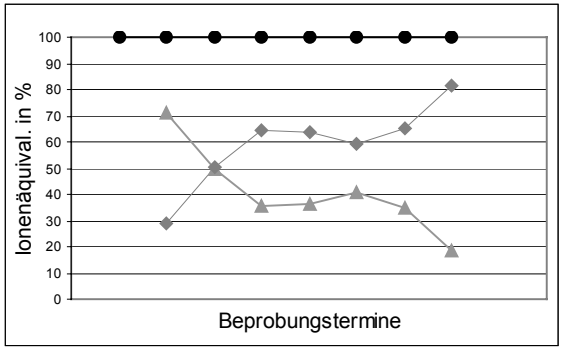
Löß



Kehrgut Wald



Sand



Löß

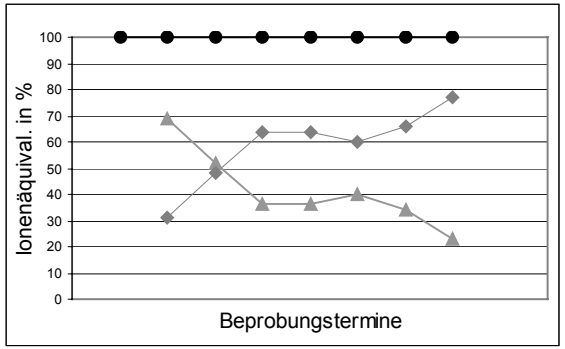
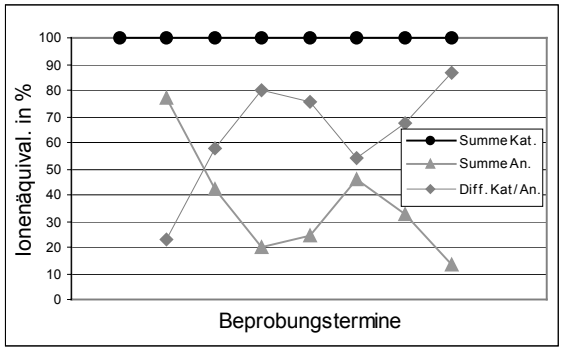
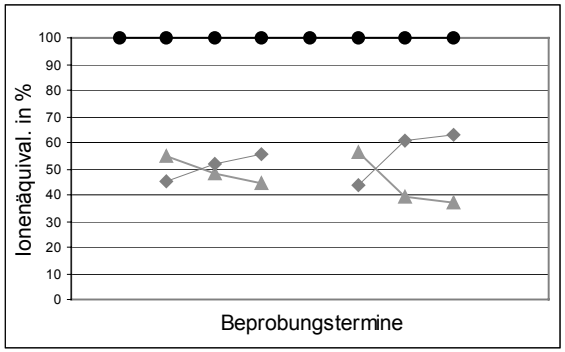


Abb. 12: Zeitlicher Verlauf der Summe der Anionenäquivalente ausgewählter Materialien in Prozent normiert auf die Summe der Kationenäquivalente

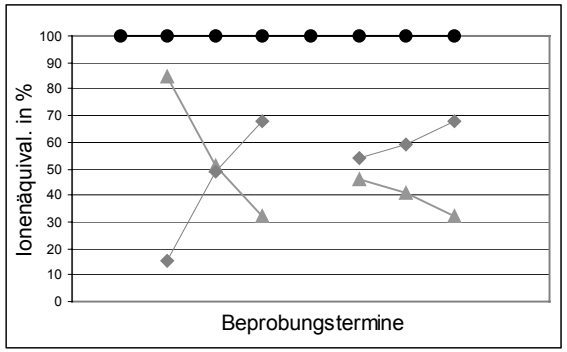
RM Boden Wald



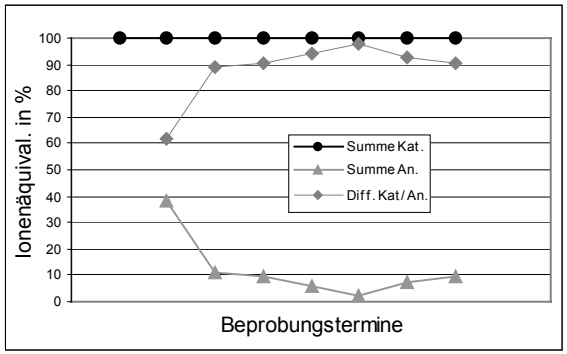
Sand



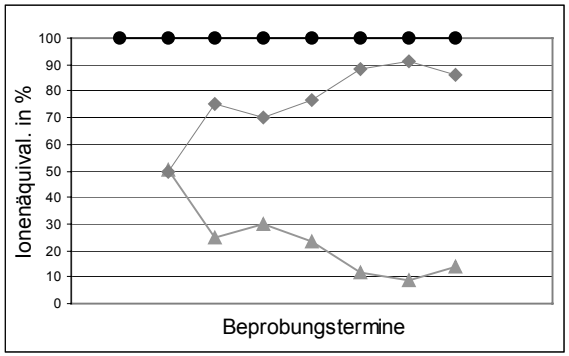
Löß



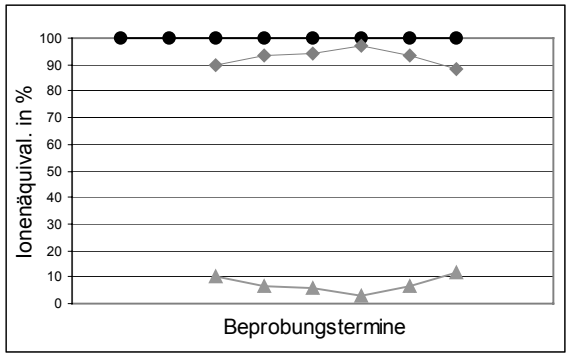
Auelehm Wald



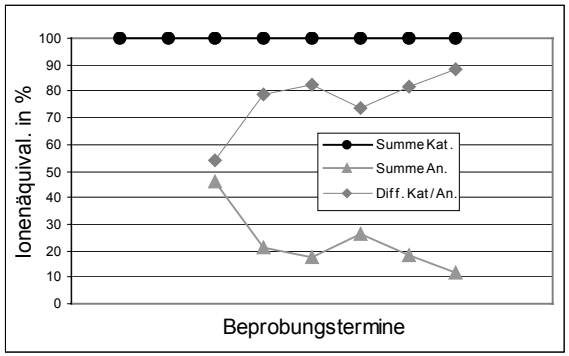
Sand



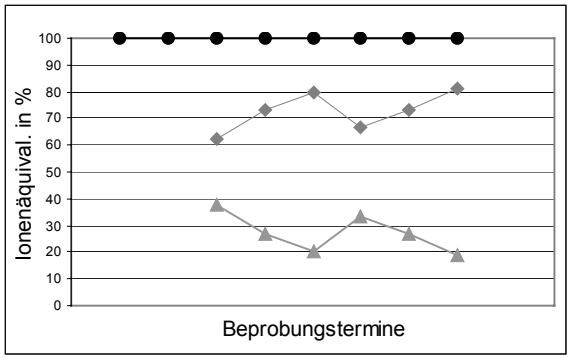
Löß



Gießereirestsand Wald



Sand



Löß

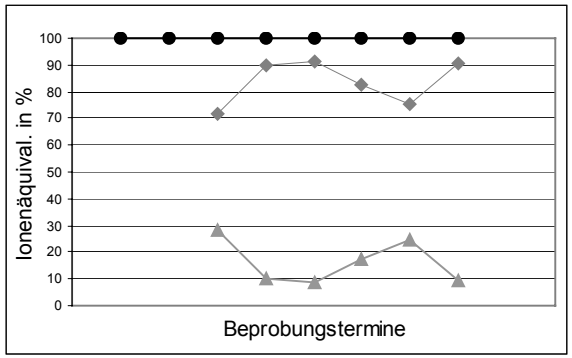
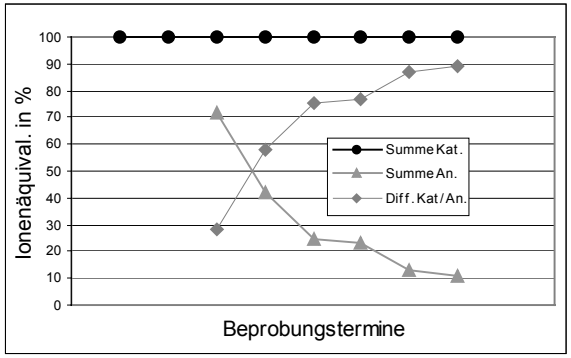
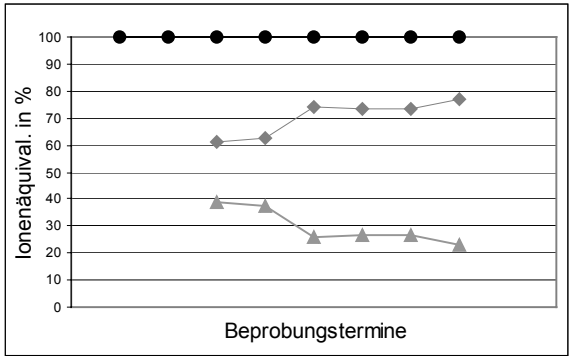


Abb. 12 Forts.: Zeitlicher Verlauf der Summe der Anionenäquival. ausgewählter Materialien in Prozent normiert auf die Summe der Kationenäquivalente

Bleihüttengranulat Wald



Sand



Löß

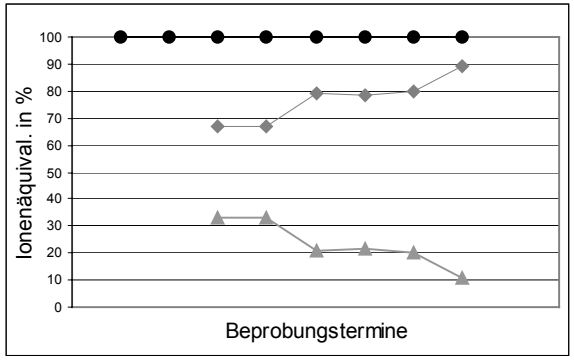


Abb. 12 Forts.: Zeitlicher Verlauf der Summe der Anionenäquival. ausgewählter Materialien in Prozent normiert auf die Summe der Kationenäquivalente

Tabelle 16: Gemittelte Sickerwassergehalte in Prozent vom jeweiligen Prüfwert

Element		As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn
Prüfwert in	[µg/l]	10	5	50	50	50	1	50	50	25	10	40	500
Bankettschälgut Landstraße													
Einstellungsphase	Term. 1+2	10	12	5	4	13	50	22	28	6	15	1	382
	Term. 5-7	10	11	2	4	20	54	26	33	6	19	1	84
Gleichgewichtsph.	Term. 8-10	9	4	1	19	20	50	32	22	2	32	1	77
Bankettschälgut Autobahn													
Einstellungsphase	Term. 1+2	7	20	2	3	30	160	12	19	8	12	1	254
	Term. 5-7	11	24	2	8	45	50	16	27	9	24	1	454
Gleichgewichtsph.	Term. 8-10	5	20	1	12	32	50	25	17	3	22	4	645
Referenzmaterial Bauschutt													
Einstellungsphase	Term. 1+2	18	8	48	498	616	55	204	154	4	3	1	1
	Term. 5-7	15	10	24	322	217	73	140	63	10	2	1	2
Gleichgewichtsph.	Term. 8-10	6	4	18	288	201	91	100	92	4	2	5	2
Referenzmaterial Hausmüllverbrennungsasche													
Einstellungsphase	Term. 1+2	51	28	3	40	2766	54	1896	24	4	68	4	3
	Term. 5-7	76	18	1	310	2574	615	578	24	6	121	1	2
Gleichgewichtsph.	Term. 8-10	28	10	1	216	1422	114	910	4	3	257	4	2
Kehrgut													
Einstellungsphase	Term. 1+2	33	16	19	6	11	50	36	40	7	56	2	82
	Term. 5-7	12	10	3	5	31	51	108	41	5	190	1	34
Gleichgewichtsph.	Term. 8-10	3	2	1	17	33	50	85	42	1	250	1	31
Referenzmaterial Boden													
Einstellungsphase	Term. 1+2	22	19	28	3	2	50	38	30	6	10	1	105
	Term. 5-7	11	10	4	3	39	171	42	22	5	9	1	20
Gleichgewichtsph.	Term. 8-10	4	1	1	3	27	50	39	12	2	13	1	13
Pochsand													
Einstellungsphase	Term. 1+2	4	8	0	2	6	50	2	5	10	10	1	35
	Term. 5-7	5	7	1	3	2	50	9	14	6	12	1	13
Gleichgewichtsph.	Term. 8-10	2	1	1	5	5	50	18	4	2	22	2	13
Auesediment													
Einstellungsphase	Term. 5+6	10	9	2	3	5	50	19	12	6	18	1	33
Gleichgewichtsph.	Term. 8-10	4	3	1	5	12	50	33	12	3	29	1	29
Gießereirestsand													
Einstellungsphase	Term. 5+6	28	9	5	5	6	210	112	15	5	25	1	7
Gleichgewichtsph.	Term. 8-10	17	1	1	21	11	50	72	3	3	34	1	6
Bleihüttengranulat													
Einstellungsphase	Term. 5+6	36	7	1	3	3	210	11	7	6	2130	1	8
Gleichgewichtsph.	Term. 8-10	56	14	5	10	11	50	23	7	14	17591	25	5
Quarzsand													
Einstellungsphase	Term. 1+2	4	62	8	60	7	54	6	20	15	1	1	440
	Term. 5-7	20	93	18	14	17	50	4	41	33	5	1	202
Gleichgewichtsph.	Term. 8-10	19	48	15	8	13	50	7	26	36	7	2	45
		Grau hinterlegt: Sickerwassergehalte über dem Prüfwert											

Tabelle 17: Durchschnittliche Standardabweichung (in Prozent der Sickerwasserkonzentration) aller Termine (1-10) mit Sickerwasser aus allen 3 Parallelen, sortiert nach Elementen

Element/	Materialien											Schnitt ü. alle Mat.
Abdeckg.	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrg.	RM Bo	Pochs.	Auel.	GRS	BHG	Quarzs.	
Arsen												
Waldb.	14,6	20,8	9,3	51	14,7	22,3	30,4	6,8	37,9	49,6	11,6	24,5
Sandb.	17,3	24,4	21,5	25,0	12,5	11,3	26,2	14,1	29,6	16,1	15,9	19,4
Lößb.	38,2	18,4	20,4	27,8	21,1	26,8	16,7	7,6	33,0	25,7	20,9	23,3
Cadmium												22,4
Waldb.	35,6	14,3	23,8	36,3	26,9	27,4	20,4	18,6	34,9	25,2	22,9	26,0
Sandb.	15,6	12,2	20,6	41,3	21,8	35,5	16,5	13,8	15,9	56,0	23,9	24,8
Lößb.	22,2	27,2	58,4	36,1	21,4	15,5	24,5	17,5	37,6	29,9	70,8	32,8
Kobalt												27,9
Waldb.	11,8	18,5	22	22,9	20,6	18,4	9,8	7,5	30,6	25,7	22,2	19,1
Sandb.	18,3	21,8	15,3	22,6	30,0	15,7	6,2	9,8	29,2	49,5	62,7	25,6
Lößb.	19,7	29,0	15,6	18,0	30,0	19,7	15,4	10,6	24,1	21,7	26,3	20,9
Chrom												21,9
Waldb.	31,2	9,1	13,8	25	16,4	13	18,4	10,2	31,8	32,1	29,9	21,0
Sandb.	16,8	28,4	13,3	20,8	16,3	19,6	12,2	9,3	28,9	6,4	14,4	16,9
Lößb.	9,0	15,5	9,7	14,1	7,5	9,7	24,6	9,7	36,7	9,0	13,9	14,5
Kupfer												17,5
Waldb.	19,5	14,7	17,8	22,2	27,2	28,9	25,2	17,7	34,9	22,3	22,6	23,0
Sandb.	17,7	21,2	23,5	21,0	14,7	18,3	13,5	11,3	27,4		13,8	18,2
Lößb.	25,0	27,3	21,7	26,0	29,4	27,3	20,4	27,4	34,0	33,3	15,0	26,1
Molybdän												22,4
Waldb.	15	22,7	8,9	36,1	11,8	8,2	13,8	7,7	19	21,9	22,3	17,0
Sandb.	11,9	17,9	14,7	42,9	13,9	13,5	10,8	7,5	11,5	24,1	17,6	16,9
Lößb.	20,6	32,1	9,6	38,1	11,5	13,4	17,7	9,6	18,0	19,9	16,4	18,8
Nickel												17,6
Waldb.	8,6	13,2	14,9	19,5	13,3	14,1	28,9	12,7	17,4	19,2	23,2	16,8
Sandb.	20,2	10,8	18,3	37,7	14,7	9,1	11,0	9,5	25,3	11,9	23,4	17,4
Lößb.	14,6	13,1	22,2	10,3	33,6	14,9	18,0	5,0	27,4	23,3	11,5	17,6
Blei												17,3
Waldb.	36	30,1	25	28,8	24,4	22,4	38,6	20,7	13	16,1	34,5	26,3
Sandb.	61,7	44,6	29,7	34,0	37,1	22,1	24,7	49,4	50,3	36,5	25,8	37,8
Lößb.	23,5	19,4	39,5	25,8	59,3	22,1	42,7	27,3	29,6	19,5	61,0	33,6
Antimon												32,6
Waldb.	19,1	13,9	38,9	7,4	18,4	15,4	12	5,9	21,2	41,2	12,5	18,7
Sandb.	23,9	26,0	31,5	10,1	27,7	14,0	14,0	12,2	23,4	21,9	7,0	19,2
Lößb.	38,0	33,0	32,1	31,9	15,0	9,1	13,5	2,4	18,7	49,5	8,6	22,9
Zink												20,3
Waldb.	20,5	14,4	34,6	86,3	46,8	28,7	23,1	21,4	54,5	79,4	34,9	40,4
Sandb.	60,4	12,2	40,8		56,1	15,4	39,2	64,0	105,6	19,6	33,0	44,6
Lößb.	16,7	21,2	31,5	43,3	50,0	46,5	70,4	25,3	84,7	20,9	68,8	43,6
Schnitt über alle Elemente												42,9
Waldb.	21,2	17,2	20,9	33,6	22,1	19,9	22,1	12,9	29,5	33,3	23,7	23,3
Sandb.	26,4	22,0	22,9	25,5	24,5	17,5	17,4	20,1	34,7	24,2	23,8	24,1
Lößb.	22,8	23,6	26,1	27,1	27,9	20,5	26,4	14,2	34,4	25,3	31,3	25,4

Verwendet wurden nur Werte, denen Sickerwasserwerte aus allen 3 Parallelen zugrunde liegen. Werte unter der Bestimmungsgrenze wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle 18: Mittelwerte der Makroelementfrachten (pro kg eingebauten Materials) einzelner Materialien und Varianten im Vergleich zu den Gesamtgehalten

		Ca	K	Mg	Na	Ca	K	Mg	Na	Ca	K	Mg	Na	Ca	K	Mg	Na
		BSG Landstraße				**BSG Autobahn**				**RM Bauschutt**				**RM HMVA**			
	Gesamtgehalt [mg/kg]	10430	7880	5320	2880	11750	11300	2500	4550	59600	9910	3200	4350	74650	9100	10800	27600
Waldb.	Mittelwert Fracht [mg/kg]	283	56	31	36	194	35	14	150	321	363	0,05	131	32	302	0,05	1296
	Standardabw./Mittelw. [%]	25,3	26,8	27,3	22,0	4,1	4,3	5,1	4,2	14,5	10,9	8,1	14,8	41,8	31,7	2,9	30,5
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	2,7	0,71	0,58	1,25	1,7	0,31	0,56	3,3	0,54	3,7	0,002	3,0	0,04	3,3	0,0005	4,7
Sandb.	Mittelwert Fracht [mg/kg]	311	70	36	35	286	39	21	110	286	311	0,04	104	21	210	0,04	946
	Standardabw./Mittelw. [%]	1,2	16,9	3,3	6,5	2,9	7,4	2,6	9,9	38,5	16,9	5,2	24,3	6,9	3,4	6,8	7,8
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	3,0	0,89	0,68	1,2	2,4	0,35	0,84	2,4	0,48	3,1	0,001	2,4	0,03	2,3	0,0004	3,4
Lößb.	Mittelwert Fracht [mg/kg]	261	65	33	29	209	31	16	135	235	283	0,04	99	20	169	0,11	735
	Standardabw./Mittelw. [%]	3,2	15,2	10,7	12,0	8,2	17,9	10,8	6,4	3,9	16,7	9,8	15,4	22,3	11,0	110	7,4
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	2,5	0,82	0,62	1,0	1,8	0,27	0,64	3,0	0,39	2,9	0,001	2,3	0,03	1,9	0,001	2,7
		Kehrgut				**Referenzmaterial Boden**				**Pochsand**				**Auesediment**			
	Gesamtgehalt [mg/kg]	50770	12400	19100	10930	16960	6590	840	3080	9080	11400	4210	1210	6180	17100	3760	7200
Waldb.	Mittelwert Fracht [mg/kg]	338	45	123	351	163	19	21	11,0	95	2,2	48	3,5	235	12	7,9	7,0
	Standardabw./Mittelw. [%]	5,7	8,7	7,3	4,8	10,0	16,3	13,4	14,4	8,4	12,7	9,7	13,2	10,3	4,6	11,0	5,1
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,67	0,36	0,64	3,2	0,96	0,29	2,5	0,36	1,05	0,02	1,1	0,29	3,8	0,07	0,21	0,10
Sandb.	Mittelwert Fracht [mg/kg]	313	42	120	375	205	29	25	9,4	90	1,80	44	2,70	304	12	9,9	7,3
	Standardabw./Mittelw. [%]	3,8	8,1	7,9	14,2	6,1	5,8	6,3	0,85	2,1	3,8	1,1	9,1	6,0	12,6	5,5	4,2
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,62	0,34	0,63	3,4	1,21	0,44	3,0	0,31	0,99	0,02	1,05	0,22	4,9	0,07	0,26	0,10
Lößb.	Mittelwert Fracht [mg/kg]	266	45	114	454	121	19	14	7,9	67	1,60	35	1,80	208	10,0	6,9	6,2
	Standardabw./Mittelw. [%]	8,4	4,2	5,7	13,1	4,7	1,8	8,2	9,5	0,5	1,4	4,9	1,3	7,7	14,8	10,1	4,8
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,52	0,36	0,60	4,2	0,71	0,29	1,7	0,26	0,74	0,01	0,83	0,15	3,4	0,06	0,18	0,09
		Gießereirestsand				**Bleihüttengranulat**				**Quarzsand**							
	Gesamtgehalt [mg/kg]	1320	520	2340	950	69500	4740	6220	2990	80	<100	<50	<100				
Waldb.	Mittelwert Fracht [mg/kg]	9,0	5,1	2	334	29	6,4	7,4	6,8	27	6,6	15	3,3				
	Standardabw./Mittelw. [%]	28,7	3,8	30,7	4,3	15,1	19,0	22,1	21,6	9,3	29,7	3,8	4,2				
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,68	0,98	0,1	35	0,04	0,14	0,12	0,23	34	>6,6	>30	>3,3				
Sandb.	Mittelwert Fracht [mg/kg]	10	5,2	3	329	36	11	2,2	7,3	97	30	9,9	2,5				
	Standardabw./Mittelw. [%]	66,9	14,7	78,1	5,4	5,3	7,2	13,2	7,2	13,1	14,5	31,0	12,6				
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,76	1,00	0,1	35	0,05	0,23	0,04	0,24	121	>30	>19,8	>2,5				
Lößb.	Mittelwert Fracht [mg/kg]	5,5	4,4	2	335	31	10	1,10	6,0	73	14	4,1	1,8				
	Standardabw./Mittelw. [%]	21,1	6,8	21,4	8,4	4,5	4,0	9,4	12,3	18,2	1,9	20,3	12,4				
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,42	0,85	0,1	35	0,04	0,21	0,02	0,20	91	>14	>8,2	>1,8				

Tabelle 19: Mittelwerte der Spurenelementfrachten (pro kg eingebauten Materials) einzelner Materialien und Varianten im Vergleich zu den Gesamtgehalten

		As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn
Bankettschälgut Landstraße													
	Gesamtgehalt [mg/kg]	4,5	0,65	11	97	34	<0,5	3,2	35	56	1,3	3,7	160
Wald	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,001	0,001	0,007	0,015	0,0004	0,017	0,017	0,001	0,002	0,001	0,82
	Standardabw./Mittelw. [%]	20,5	43,1	28,2	14,1	15,3	*	22,6	27,8	18,8	7,0	*	25,2
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,02	0,08	0,01	0,01	0,04	**	0,53	0,05	0,002	0,15	0,03	0,51
Sand	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,001	0,001	0,006	0,008	0,0005	0,015	0,016	0,002	0,003	0,0005	0,72
	Standardabw./Mittelw. [%]	6,3	7,4	3,9	1,1	10,0	*	1,8	1,8	0,4	7,3	*	84,4
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,02	0,09	0,01	0,01	0,02	**	0,47	0,05	0,004	0,23	0,01	0,45
Löß	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,0004	0,001	0,005	0,007	0,0004	0,013	0,012	0,001	0,003	0,0004	0,87
	Standardabw./Mittelw. [%]	29,4	4,0	25,9	4,8	23,4	*	11,4	11,8	13,2	38,5	*	6,0
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,02	0,06	0,01	0,01	0,02	**	0,41	0,03	0,002	0,23	0,01	0,54
Bankettschälgut Autobahn													
	Gesamtgehalt [mg/kg]	5,8	1,3	11	55	43	<2	2,4	21	222	2,2	3,8	860
Wald	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,001	0,001	0,004	0,029	0,001	0,011	0,013	0,002	0,002	0,001	2,7
	Standardabw./Mittelw. [%]	11,5	8,3	12,4	6,4	6,8	*	1,5	10,9	11,9	12,5	*	9,3
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,02	0,08	0,01	0,007	0,07	**	0,46	0,06	0,001	0,09	0,03	0,31
Sand	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,002	0,001	0,005	0,016	0,0005	0,010	0,013	0,002	0,002	0,001	4,2
	Standardabw./Mittelw. [%]	10,1	9,6	15,1	26,0	15,2	*	3,0	3,2	13,3	24,6	*	7,2
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,02	0,15	0,01	0,01	0,04	**	0,42	0,06	0,001	0,09	0,03	0,49
Löß	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,001	0,001	0,003	0,018	0,0005	0,008	0,012	0,001	0,002	0,001	2,7
	Standardabw./Mittelw. [%]	83,5	3,3	12,9	7,6	19,0	*	14,8	16,2	10,7	18,1	*	12,6
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,02	0,08	0,01	0,01	0,04	**	0,33	0,06	0,0005	0,09	0,03	0,31
Referenzmaterial Bauschutt													
	Gesamtgehalt [mg/kg]	3,5	0,32	2,6	19	21	<0,5	1,0	16	39	1,1	3,6	71
Wald	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,0003	0,015	0,20	0,16	0,001	0,071	0,052	0,001	0,0002	0,001	0,01
	Standardabw./Mittelw. [%]	5,0	11,8	8,1	5,5	13,3	*	3,6	12,6	8,9	21,5	*	18,9
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,03	0,09	0,58	1,04	0,77	**	7,1	0,33	0,003	0,02	0,03	0,01
Sand	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,0003	0,011	0,14	0,11	0,0002	0,049	0,038	0,002	0,0001	0,001	0,011
	Standardabw./Mittelw. [%]	8,2	13,8	9,5	3,0	19,6	*	7,6	9,4	13,5	10,8	*	29,2
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,03	0,09	0,42	0,72	0,54	**	4,9	0,24	0,005	0,01	0,03	0,02
Löß	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,0003	0,01	0,14	0,15	0,0004	0,071	0,034	0,001	0,0004	0,001	0,008
	Standardabw./Mittelw. [%]	18,9	34,7	10,6	6,7	51,3	*	53,1	13,4	14,9	103,3	*	10,6
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,03	0,09	0,38	0,75	0,72	**	7,1	0,21	0,003	0,04	0,03	0,01

Tabelle 19 Fortsetzung: Mittelwerte der Spurenelementfrachten (pro kg eingebauten Materials) einzelner Materialien und Varianten im Vergl. zu den Gesamtgehalten

		As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn
Referenzmaterial Hausmüllverbrennungsasche													
	Gesamtgehalt [mg/kg]	19	9,6	19	241	1071	<14	12	68	1643	22	224	2020
Wald	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,013	0,001	0,001	0,20	1,6	0,007	0,58	0,012	0,002	0,026	0,002	0,019
	Standardabw./Mittelw. [%]	111,5	43,0	32,3	66,7	33,1	*	20,1	48,9	38,6	42,1	*	62,4
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,07	0,01	0,01	0,08	0,15	**	4,83	0,02	0,0001	0,12	0,001	0,0009
Sand	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,005	0,001	0,001	0,09	1,2	0,002	0,56	0,009	0,001	0,014	0,001	0,008
	Standardabw./Mittelw. [%]	2,5	33,6	14,7	3,4	9,7	*	36,5	23,3	11,1	9,2	*	15,2
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,03	0,01	0,005	0,04	0,11	**	4,67	0,01	0,0001	0,06	0,0004	0,0004
Löß	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,004	0,001	0,001	0,10	0,95	0,001	0,46	0,007	0,001	0,014	0,001	0,008
	Standardabw./Mittelw. [%]	3,9	26,2	4,0	3,1	22,4	*	30,2	16,9	22,1	16,0	*	32,1
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,02	0,01	0,005	0,04	0,09	**	3,83	0,01	0,0001	0,06	0,0004	0,0004
Kehrgut													
	Gesamtgehalt [mg/kg]	3,8	0,77	28	180	100	<1	6,0	93	107	4,4	23	350
Wald	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,002	0,001	0,002	0,007	0,027	0,001	0,06	0,028	0,002	0,033	0,001	0,34
	Standardabw./Mittelw. [%]	4,6	33,3	20,7	23,9	29,1	*	12,3	14,0	10,4	19,4	*	32,3
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,05	0,13	0,01	0,004	0,03	**	1,07	0,03	0,002	0,75	0,004	0,10
Sand	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,0005	0,004	0,006	0,020	0,0005	0,07	0,025	0,002	0,028	0,001	0,27
	Standardabw./Mittelw. [%]	11,5	7,1	27,1	8,1	5,9	*	3,3	10,2	15,3	17,7	*	47,9
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,03	0,06	0,01	0,003	0,02	**	1,08	0,03	0,002	0,64	0,004	0,08
Löß	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,002	0,0004	0,006	0,006	0,017	0,0005	0,06	0,037	0,001	0,021	0,001	0,30
	Standardabw./Mittelw. [%]	16,9	6,8	30,5	5,8	15,1	*	8,5	36,3	11,6	15,0	*	64,4
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,05	0,05	0,02	0,003	0,02	**	1,07	0,04	0,001	0,48	0,004	0,09
Referenzmaterial Boden													
	Gesamtgehalt [mg/kg]	1,5	0,16	1,1	4,8	9,3	<0,5	0,67	3,2	14	0,12	0,70	42
Wald	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,0004	0,004	0,002	0,022	0,001	0,021	0,011	0,001	0,001	0,0004	0,14
	Standardabw./Mittelw. [%]	25,6	25,6	22,6	23,6	24,9	*	16,6	18,0	11,3	24,0	*	28,4
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,07	0,25	0,36	0,04	0,24	**	3,13	0,34	0,01	0,83	0,06	0,33
Sand	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,0003	0,003	0,001	0,003	0,0004	0,02	0,007	0,001	0,001	0,0003	0,20
	Standardabw./Mittelw. [%]	4,8	10,5	15,2	10,3	11,2	*	10,0	11,8	2,1	10,7	*	24,3
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,07	0,19	0,27	0,02	0,03	**	3,0	0,22	0,007	0,83	0,04	0,48
Löß	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,0003	0,003	0,001	0,003	0,0004	0,02	0,005	0,001	0,001	0,0003	0,08
	Standardabw./Mittelw. [%]	15,8	21,5	7,9	2,8	16,5	*	5,7	8,1	4,5	8,9	*	46,6
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,07	0,19	0,27	0,02	0,03	**	3,0	0,16	0,007	0,83	0,04	0,20

Tabelle 19 Fortsetzung: Mittelwerte der Spurenelementfrachten (pro kg eingebauten Materials) einzelner Materialien und Varianten im Vergl. zu den Gesamtgehalten

		As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn
Pochsand													
	Gesamtgehalt [mg/kg]	164	95	14	27	132	<500	69	40	59930	111	71	350
Wald	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,0004	0,0003	0,0004	0,002	0,002	0,0004	0,006	0,004	0,002	0,002	0,001	0,13
	Standardabw./Mittelw. [%]	9,0	7,1	17,5	5,3	8,3	*	4,7	11,3	25,4	6,7	*	15,7
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,0002	0,0003	0,003	0,01	0,002	**	0,01	0,01	0,000003	0,002	0,001	0,04
Sand	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,0003	0,0002	0,0003	0,001	0,002	0,0003	0,004	0,003	0,001	0,001	0,001	0,08
	Standardabw./Mittelw. [%]	14,6	7,5	7,8	3,7	5,9	*	5,2	5,2	18,0	7,6	*	28,3
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,0002	0,0002	0,002	0,004	0,002	**	0,01	0,01	0,000002	0,001	0,001	0,02
Löß	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,0003	0,0002	0,0002	0,001	0,002	0,0003	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001	0,052
	Standardabw./Mittelw. [%]	1,5	10,4	5,6	13,4	4,8	*	10,6	9,9	22,8	10,9	*	72,1
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,0002	0,0002	0,001	0,004	0,002	**	0,01	0,005	0,000002	0,001	0,001	0,01
Auesediment													
	Gesamtgehalt [mg/kg]	18	3,8	22	83	69	<5	2,9	30	380	3,7	4,3	640
Wald	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,0004	0,001	0,003	0,007	0,0004	0,013	0,008	0,001	0,003	0,0004	0,22
	Standardabw./Mittelw. [%]	12,5	37,4	19,2	15,6	14,0	*	9,5	28,2	10,9	11,5	*	25,8
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,01	0,01	0,005	0,004	0,01	**	0,45	0,03	0,0003	0,08	0,01	0,03
Sand	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,0004	0,001	0,002	0,004	0,0004	0,010	0,008	0,001	0,002	0,0004	0,25
	Standardabw./Mittelw. [%]	12,3	29,6	11,0	12,3	36,3	*	12,3	11,8	27,6	15,8	*	93,2
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,006	0,01	0,005	0,002	0,01	**	0,34	0,03	0,0003	0,05	0,01	0,04
Löß	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,0003	0,001	0,002	0,005	0,0004	0,011	0,007	0,001	0,002	0,0004	0,22
	Standardabw./Mittelw. [%]	5,0	35,1	11,9	8,6	8,7	*	3,7	8,6	22,8	8,7	*	46,8
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,006	0,01	0,005	0,002	0,01	**	0,38	0,02	0,0003	0,05	0,01	0,03
Gießereirestsand													
	Gesamtgehalt [mg/kg]	4,0	1,4	9	6526	9,7	<9	13	23	4,2	0,50	3,8	31
Wald	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,002	0,0003	0,002	0,009	0,006	0,002	0,051	0,006	0,001	0,003	0,0004	0,038
	Standardabw./Mittelw. [%]	30,9	37,5	15,6	38,1	23,2	*	20,0	13,6	8,8	24,1	*	51,1
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,05	0,02	0,02	0,0001	0,06	**	0,39	0,03	0,02	0,60	0,01	0,12
Sand	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,002	0,0002	0,001	0,004	0,002	0,002	0,040	0,004	0,001	0,002	0,0003	0,037
	Standardabw./Mittelw. [%]	29,3	12,5	9,6	32,8	25,8	*	4,9	14,7	42,4	20,6	*	111,9
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,05	0,01	0,01	0,0001	0,02	**	0,31	0,02	0,02	0,40	0,01	0,12
Löß	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,002	0,0002	0,001	0,005	0,003	0,0004	0,045	0,004	0,001	0,002	0,0003	0,028
	Standardabw./Mittelw. [%]	20,9	24,8	4,8	42,5	26,8	*	9,0	14,5	5,8	14,1	*	85,5
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,05	0,01	0,01	0,0001	0,03	**	0,35	0,02	0,02	0,40	0,01	0,09

Tabelle 19 Fortsetzung: Mittelwerte der Spurenelementfrachten (pro kg eingebauten Materials) einzelner Materialien und Varianten im Vergl. zu den Gesamtgehalten

		As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn
Bleihüttengranulat													
	Gesamtgehalt [mg/kg]	2720	134	269	1982	538	<500	247	267	95350	1235	1231	76170
Wald	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,005	0,0004	0,001	0,003	0,003	0,001	0,008	0,003	0,002	0,93	0,004	0,05
	Standardabw./Mittelw. [%]	93,0	16,0	8,6	17,8	11,5	*	19,6	15,9	13,6	25,4	*	53,3
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,0002	0,0003	0,0004	0,0002	0,0006	**	0,003	0,001	0,000002	0,08	0,0003	0,0001
Sand	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,002	0,0003	0,001	0,002	0,003	0,002	0,004	0,002	0,002	0,63	0,004	0,009
	Standardabw./Mittelw. [%]	12,5	6,7	5,5	3,7	3,2	*	8,3	10,7	3,6	2,8	*	13,4
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,0001	0,0002	0,0004	0,0001	0,0006	**	0,002	0,001	0,000002	0,05	0,0003	0,00001
Löß	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,002	0,0003	0,001	0,002	0,003	0,001	0,004	0,003	0,002	0,44	0,003	0,007
	Standardabw./Mittelw. [%]	8,5	5,4	6,9	4,4	6,5	*	10,8	26,9	5,4	14,0	*	11,0
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,0001	0,0002	0,0004	0,0001	0,0006	**	0,002	0,001	0,000002	0,04	0,0002	0,00001
Quarzsand													
	Gesamtgehalt [mg/kg]	1,4	0,13	0,77	1,9	< 1	<0,5	0,44	0,7	2,9	0,10	0,19	51
Wald	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,002	0,007	0,019	0,008	0,012	0,001	0,0005	0,035	0,017	0,001	0,001	1,7
	Standardabw./Mittelw. [%]	19,0	4,4	20,7	7,6	8,7	*	38,9	12,2	35,1	11,8	*	16,9
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,14	5,38	2,47	0,42	**	**	0,11	5,00	0,59	1,00	0,53	3,35
Sand	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,001	0,007	0,013	0,009	0,017	0,001	0,001	0,022	0,014	0,003	0,001	1,2
	Standardabw./Mittelw. [%]	10,1	30,4	45,0	5,9	63,7	*	15,3	23,6	24,2	36,2	*	40,6
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,07	5,38	1,69	0,47	**	**	0,23	3,14	0,48	3,00	0,53	2,35
Löß	Mittelwert Fracht [mg/kg]	0,003	0,0005	0,0005	0,001	0,005	0,001	0,005	0,008	0,002	0,001	0,0004	0,46
	Standardabw./Mittelw. [%]	34,1	43,9	33,8	6,3	12,9	*	24,9	15,8	13,6	3,3	*	90,9
	Fracht/Gesamtgeh. [%]	0,21	0,38	0,06	0,05	**	**	1,14	1,14	0,07	1,00	0,21	0,90

*): Die Sickerwasserkonzentrationen lagen häufig unterhalb der Bestimmungsgrenze, so dass keine aussagekräftige Statistik möglich ist.

**): Die Konzentrationen im Vollaufschluss lagen unter der Bestimmungsgrenze, so dass kein Verhältnis zur Sickerwasserfracht gebildet werden kann.

Tabelle 20: Korrelationskoeffizienten von DOC-Gehalt, pH-Wert sowie elektrischer Leitfähigkeit zu den Elementkonzentrationen im Sickerwasser

	Ba	Ca	K	Mg	Na	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Sr	Zn
DOC																		
BSG 1	0,30	-0,26	-0,28	-0,35	0,38	0,62	0,32	0,37	-0,31	0,44	0,55	-0,30	0,05	0,39	-0,66	-0,15	-0,17	0,53
BSG 2	-0,18	-0,32	-0,25	-0,34	0,47	-0,05	-0,26	-0,11	-0,25	0,39	0,75	-0,43	-0,10	0,36	-0,16	-0,22	-0,31	-0,28
BS	0,37	0,10	0,77	-0,31	0,84	0,42	-0,08	0,61	0,53	0,86	0,07	0,18	0,64	0,18	-0,33	0,15	0,46	0,44
HMVA	-0,22	-0,18	0,11	-0,13	0,13	-0,05	0,29	0,75	0,24	0,34	0,27	0,71	-0,05	0,17	0,26	0,07	-0,22	-0,28
Kehrgut	0,65	0,53	0,67	0,50	0,56	0,39	-0,06	0,27	-0,29	-0,05	0,12	0,06	-0,03	0,17	-0,38	-0,23	0,57	0,39
RM Bo	-0,05	-0,06	-0,54	0,16	0,07	0,39	-0,04	0,11	0,03	0,92	0,78	-0,32	0,59	0,18	0,28	-0,09	-0,11	0,32
Pochsd.	0,12	0,22	0,49	0,35	-0,09	-0,44	-0,55	-0,22	0,33	0,01	0,02	0,20	-0,26	-0,23	0,56	0,07	0,30	0,33
Auelehm	-0,18	-0,25	-0,01	-0,25	-0,02	0,43	0,18	0,16	0,62	0,52	-0,07	0,28	0,24	0,25	0,37	-0,33	-0,13	-0,11
GRS	0,30	-0,20	0,06	-0,27	0,54	0,57	0,57	0,64	0,19	0,37	0,76	0,72	0,57	0,21	0,14	-0,22	-0,17	0,10
BHG	0,30	0,05	-0,38	0,70	-0,14	0,35	0,01	0,10	0,52	0,11	-0,08	0,60	-0,02	0,06	0,29	0,11	0,09	0,44
Quarzs.	0,44	-0,51	-0,65	0,41	0,23	-0,16	0,26	0,49	0,12	0,48	0,90	-0,38	0,38	0,58	0,20	-0,05	-0,44	0,27
pH-Wert																		
BSG 1	0,31	0,18	0,57	0,22	0,20	0,08	0,40	0,39	-0,32	0,28	-0,10	0,40	0,40	0,53	0,11	-0,08	0,17	-0,29
BSG 2	-0,30	0,02	0,28	-0,01	0,10	0,05	-0,19	0,10	0,05	0,70	0,53	0,24	0,23	0,13	0,32	-0,16	-0,03	-0,15
BS	0,33	0,54	-0,13	-0,61	-0,19	-0,35	-0,21	-0,20	-0,14	-0,08	-0,35	-0,09	-0,20	0,13	-0,39	0,27	0,50	0,33
HMVA	-0,68	-0,71	-0,74	-0,51	-0,70	0,19	-0,37	-0,54	0,60	0,08	-0,23	-0,64	-0,02	0,14	0,13	-0,19	-0,77	-0,27
Kehrgut	-0,01	-0,42	0,39	0,03	0,16	0,44	0,05	0,38	-0,19	0,07	0,21	-0,30	0,23	0,18	-0,19	0,15	0,02	-0,32
RM Bo	-0,37	-0,24	-0,34	-0,24	-0,27	0,04	-0,04	-0,21	0,25	0,12	-0,03	0,46	0,07	0,17	0,19	-0,43	-0,19	-0,42
Pochsd.	-0,46	0,72	0,58	0,69	0,66	0,33	-0,09	0,39	0,47	0,02	0,04	0,62	0,20	-0,28	0,49	0,24	0,67	-0,54
Auelehm	-0,18	0,00	0,22	-0,02	0,26	0,42	-0,28	0,17	0,31	0,15	0,08	0,44	0,14	0,14	0,38	-0,14	-0,03	-0,48
GRS	-0,14	-0,35	-0,19	-0,36	0,19	0,30	0,18	0,18	0,21	0,38	0,26	0,34	0,27	0,07	0,16	0,06	-0,35	-0,19
BHG	-0,25	0,46	0,45	-0,41	0,59	-0,08	-0,34	-0,35	-0,36	-0,36	0,39	-0,53	-0,22	-0,30	-0,43	-0,35	0,36	-0,22
Quarzs.	-0,34	0,08	-0,21	-0,53	-0,19	0,43	-0,52	-0,62	-0,08	-0,20	-0,55	0,52	-0,49	-0,62	0,05	-0,25	-0,12	-0,13
El. Leitfähigkeit																		
BSG 1	0,63	0,99	0,74	0,97	0,19	-0,01	-0,27	-0,03	0,58	0,10	-0,18	0,24	0,07	0,05	0,56	0,12	0,98	-0,38
BSG 2	0,74	0,89	0,89	0,87	0,35	0,06	0,70	0,39	0,00	-0,15	-0,23	-0,04	0,05	-0,18	-0,08	0,33	0,89	0,78
BS	0,73	0,79	0,45	-0,30	0,38	0,54	0,25	0,39	0,39	0,40	-0,03	0,56	0,14	0,43	-0,13	-0,31	0,46	0,54
HMVA	0,85	0,88	0,99	-0,03	0,94	-0,02	0,51	0,68	-0,73	0,39	0,21	0,69	0,39	-0,03	-0,58	0,12	0,95	0,42
Kehrgut	0,60	0,33	0,85	0,55	0,90	0,71	0,38	0,70	-0,20	-0,55	0,41	-0,28	0,34	0,47	-0,68	0,28	0,69	0,14
RM Bo	0,71	0,99	0,87	0,96	0,63	0,49	0,44	0,63	0,15	-0,38	-0,14	0,32	0,59	0,26	0,04	0,13	0,98	0,75
Pochsd.	-0,53	0,99	0,75	0,98	0,61	-0,18	-0,48	0,38	0,32	0,13	0,30	0,43	-0,06	-0,61	0,58	0,61	0,93	-0,54
Auelehm	0,94	1,00	0,89	1,00	0,71	-0,35	-0,53	-0,13	-0,02	-0,33	0,17	-0,06	-0,14	-0,28	0,26	0,43	0,97	-0,32
GRS	0,65	-0,01	0,57	-0,03	0,97	0,23	0,46	0,70	-0,12	-0,09	0,56	0,80	0,40	0,28	-0,25	-0,01	-0,03	0,21
BHG	0,28	0,88	0,50	0,06	0,70	-0,13	-0,57	-0,46	0,07	-0,50	0,46	0,04	-0,37	-0,45	-0,37	-0,46	0,78	0,16
Quarzs.	0,41	0,94	0,76	0,46	0,71	-0,08	0,75	0,49	0,48	-0,37	-0,12	0,25	0,53	0,37	-0,15	0,21	0,94	0,60
	Grau hinterlegt: Korrelationskoeffizienten größer oder gleich 0,6																	

Tabelle 21: Vergleich der Sickerwasserkonzentrationen des Prüfmaterials mit denen des Quarzsandes

Material	BSG 1	Quarzs.	Differenz	BSG 1	Quarzs.	Differenz	BSG 1	Quarzs.	Differenz
Abdeckg.	Waldboden		Prüfm.-QS	Sandboden		BSG 1-QS	Lößboden		BSG 1-QS
As	1,5	0,84	0,66	0,46	0,70	-0,24	0,47	4,1	-3,6
Cd	0,24	4,5	-4,3	0,19	2,6	-2,4	0,16	0,21	-0,05
Co	0,36	20,7	-20,3	0,39	1,0	-0,61	0,41	0,15	0,26
Cr	10,1	6,5	3,6	9,9	2,9	7,0	8,7	2,1	6,6
Cu	12,9	7,5	5,4	8,3	7,1	1,2	7,6	5,4	2,2
Mo	16,3	0,39	16	16,6	0,92	0,0	15,1	8,5	6,6
Ni	11,3	21,3	-10	11,9	13	-1,0	10,4	4,7	5,7
Pb	0,53	23,2	-22,7	0,57	2,6	-2,0	0,33	1,4	-1,1
Sb	2,9	0,69	2,2	3,4	0,42	3,0	3,3	0,81	2,5
Sn	0,40	0,60	-0,20	0,40	0,80	-0,40	0,40	0,50	-0,10
Zn	443	634	-191	349	316	33	345	159	186
Material	BSG 2	Quarzs.	Differenz	BSG 2	Quarzs.	Differenz	BSG 2	Quarzs.	Differenz
Abdeckg.	Waldboden		BSG 2-QS	Sandboden		BSG 2-QS	Lößboden		BSG 2-QS
As	0,50	0,84	-0,34	0,50	0,70	-0,20	0,50	4,1	-3,6
Cd	0,99	4,5	-3,5	1,3	2,6	-1,3	0,79	0,21	0,58
Co	0,51	20,7	-20,2	0,51	1,0	-0,49	0,55	0,15	0,40
Cr	6,4	6,5	-0,10	6,4	2,9	3,5	5,9	2,1	3,8
Cu	17,4	7,5	9,9	15,3	7,1	8,2	15,7	5,4	10,3
Mo	12,8	0,39	12,4	12,3	0,92	11,4	12,1	8,5	3,6
Ni	8,3	21,3	-13,0	8,5	13	-4,4	11,1	4,7	6,4
Pb	0,91	23,2	-22,3	0,71	2,6	-1,9	0,79	1,4	-0,61
Sb	2,1	0,69	1,4	1,8	0,42	1,4	2,7	0,81	1,9
Sn	1,8	0,60	1,2	1,8	0,80	1,0	1,8	0,50	1,3
Zn	3361	634	2727	3640	316	3324	2680	159	2521
Material	RM BS	Quarzs.	Differenz	RM BS	Quarzs.	Differenz	RM BS	Quarzs.	Differenz
Abdeckg.	Waldboden		RM BS-QS	Sandboden		RM BS-QS	Lößboden		RM BS-QS
As	0,60	0,84	-0,24	0,60	0,70	-0,10	0,60	4,1	-3,5
Cd	0,16	4,5	-4,3	0,16	2,6	-2,44	0,26	0,21	0,05
Co	8,4	20,7	-12,3	9,3	1,0	8,3	9,6	0,15	9,5
Cr	131	6,5	125	147	2,9	144	153	2,1	151
Cu	95,2	7,5	87,7	105	7,1	98	101	5,4	95,6
Mo	48,3	0,39	47,9	48,3	0,92	47,4	52,7	8,5	44,2
Ni	43,6	21,3	22,3	53,1	13	40,2	42,8	4,7	38,1
Pb	0,78	23,2	-22,4	1,6	2,6	-1,00	1,1	1,4	-0,30
Sb	0,12	0,69	-0,57	0,18	0,42	-0,24	0,26	0,81	-0,55
Sn	2,1	0,60	1,5	2,1	0,80	1,3	2,1	0,50	1,6
Zn	8,7	634	-625	10,3	316	-306	9,2	159	-150
Material	HMVA	Quarzs.	Differenz	HMVA	Quarzs.	Differenz	HMVA	Quarzs.	Differenz
Abdeckg.	Waldboden		HMVA-QS	Sandboden		HMVA-QS	Lößboden		HMVA-QS
As	2,7	0,84	1,9	2,9	0,70	2,2	2,9	4,1	-1,2
Cd	0,35	4,5	-4,2	0,58	2,6	-2,0	0,56	0,21	0,35
Co	0,53	20,7	-20,2	0,63	1,0	-0,37	0,56	0,15	0,41
Cr	91,3	6,5	85	108	2,9	105	121	2,1	119
Cu	716	7,5	709	874	7,1	867	533	5,4	528
Mo	306	0,39	306	514	0,92	513	518	8,5	510
Ni	2,2	21,3	-19,1	2,5	13	-10,4	2,0	4,7	-2,7
Pb	0,85	23,2	-22,4	0,76	2,6	-1,8	0,66	1,4	-0,74
Sb	24,3	0,69	23,6	22,6	0,42	22,2	29,9	0,81	29,1
Sn	1,5	0,60	0,90	1,5	0,80	0,70	1,7	0,50	1,20
Zn	9,4	634	-625	8,8	316	-307	7,8	159	-151

Jeweils Mittelwerte über 3 Lysimeter, alle Werte in µg/l.

Für Werte, die unter der Bestimungsgrenze lagen wurde selbige bei der Berechnung eingesetzt

Tabelle 21 Fortsetzung: Vergleich der Sickerwasserkonzentrationen des Prüfmaterials mit denen des Quarzsandes

Material	Kehrgut	Quarzs.	Differenz	Kehrgut	Quarzs.	Differenz	Kehrgut	Quarzs.	Differenz
Abdeckg.	Waldboden		Kehrg.-QS	Sandboden		Kehrg.-QS	Lößboden		Kehrg.-QS
As	0,24	0,84	-0,60	0,28	0,70	-0,42	0,22	4,1	-3,9
Cd	0,07	4,5	-4,4	0,11	2,6	-2,5	0,11	0,21	-0,10
Co	0,32	20,7	-20,4	0,52	1,0	-0,48	0,99	0,15	0,84
Cr	8,4	6,5	1,9	8,4	2,9	5,5	9,2	2,1	7,1
Cu	17,4	7,5	9,9	17,5	7,1	10	15,3	5,4	9,9
Mo	36,1	0,39	35,7	44,2	0,92	43	48,0	8,5	39,5
Ni	16,7	21,3	-4,6	18,4	12,9	5,5	28,0	4,7	23,3
Pb	0,30	23,2	-22,9	0,28	2,6	-2,3	0,39	1,4	-1,0
Sb	26,7	0,69	26,0	25,8	0,42	25	22,3	0,81	21,5
Sn	0,50	0,60	-0,10	0,50	0,80	-0,30	0,50	0,50	0
Zn	126	634	-508	157	316	-159	180	159	21
Material	RM Bo	Quarzs.	Differenz	RM Bo	Quarzs.	Differenz	RM Bo	Quarzs.	Differenz
Abdeckg.	Waldboden		RM Bo-QS	Sandboden		RM Bo-QS	Lößboden		RM Bo-QS
As	0,68	0,84	-0,16	0,36	0,70	-0,34	0,28	4,1	-3,8
Cd	0,07	4,5	-4,4	0,06	2,6	-2,5	0,06	0,21	-0,15
Co	0,54	20,7	-20,2	0,50	1,0	-0,50	0,36	0,15	0,21
Cr	1,7	6,5	-4,8	1,7	2,9	-1,2	1,6	2,1	-0,50
Cu	30	7,5	22,5	6,7	7,1	-0,40	4,5	5,4	-0,90
Mo	16	0,39	16	20	0,92	19,1	23	8,5	14,4
Ni	7,8	21,3	-13,5	4,9	13	-8,0	4,8	4,7	0,10
Pb	0,59	23,2	-22,6	0,29	2,6	-2,3	0,28	1,4	-1,1
Sb	1,5	0,69	0,81	1,4	0,42	0,98	1,10	0,81	0,29
Sn	0,40	0,60	-0,20	0,40	0,80	-0,40	0,40	0,50	-0,10
Zn	84	634	-550	72	316	-244	42	159	-117
Material	Pochs.	Quarzs.	Differenz	Pochs.	Quarzs.	Differenz	Pochs.	Quarzs.	Differenz
Abdeckg.	Waldboden		Pochs.-QS	Sandboden		Pochs.-QS	Lößboden		Pochs-QS
As	0,23	0,84	-0,61	0,23	0,70	-0,47	0,24	4,1	-3,86
Cd	0,07	4,5	-4,4	0,06	2,6	-2,5	0,08	0,21	-0,13
Co	0,32	20,7	-20,4	0,23	1,0	-0,77	0,22	0,15	0,07
Cr	2,4	6,5	-4,1	2,5	2,9	-0,40	2,9	2,1	0,80
Cu	2,7	7,5	-4,8	2,7	7,1	-4,4	2,6	5,4	-2,8
Mo	9,5	0,39	9,1	8,5	0,92	7,6	9,4	8,5	0,9
Ni	2,3	21,3	-19,0	1,9	13	-11,0	1,4	4,7	-3,3
Pb	0,57	23,2	-22,6	0,44	2,6	-2,2	0,76	1,4	-0,64
Sb	2,4	0,69	1,7	2,1	0,42	1,7	2,0	0,81	1,2
Sn	0,86	0,60	0,26	0,85	0,80	0,05	0,85	0,50	0,35
Zn	90	634	-544	52	316	-264	48	159	-111
Material	Auel.	Quarzs.	Differenz	Auel.	Quarzs.	Differenz	Auel.	Quarzs.	Differenz
Abdeckg.	Waldboden		Auel.-QS	Sandboden		Auel.-QS	Lößboden		Auel.-QS
As	0,51	0,84	-0,33	0,41	0,70	-0,29	0,41	4,1	-3,7
Cd	0,15	4,5	-4,4	0,14	2,6	-2,5	0,15	0,21	-0,06
Co	0,29	20,7	-20,4	0,25	1,0	-0,75	0,28	0,15	0,13
Cr	2,5	6,5	-4,0	2,4	2,9	-0,50	2,3	2,1	0,20
Cu	6,4	7,5	-1,1	5,7	7,1	-1,4	5,9	5,4	0,50
Mo	16	0,39	15,9	17	0,92	16,0	16	8,5	7,2
Ni	6,2	21,3	-15,1	6,2	13	-6,7	5,5	4,7	0,80
Pb	0,84	23,2	-22,4	0,43	2,6	-2,2	0,77	1,4	-0,63
Sb	3,2	0,69	2,5	2,7	0,42	2,3	2,7	0,81	1,9
Sn	0,40	0,60	-0,20	0,40	0,80	-0,40	0,40	0,50	-0,10
Zn	151	634	-483	123	316	-193	162	159	3,0

Jeweils Mittelwerte über 3 Lysimeter, alle Werte in µg/l.

Für Werte, die unter der Bestimungsgrenze lagen wurde selbige bei der Berechnung eingesetzt

Tabelle 21 Fortsetzung: Vergleich der Sickerwasserkonzentrationen des Prüfmaterials mit denen des Quarzsandes

Material	GRS	Quarzs.	Differenz	GRS	Quarzs.	Differenz	GRS	Quarzs.	Differenz
Abdeckg.	Waldboden		GRS-QS	Sandboden		GRS-QS	Lößboden		GRS-QS
As	2,0	0,84	1,16	1,1	0,70	0,40	1,9	4,1	-2,2
Cd	0,09	4,5	-4,4	0,05	2,6	-2,6	0,06	0,21	-0,15
Co	0,58	20,7	-20,1	0,50	1,0	-0,50	0,49	0,15	0,34
Cr	14	6,5	7,7	6,6	2,9	3,7	11	2,1	9,3
Cu	6,9	7,5	-0,60	4,2	7,1	-2,9	6,1	5,4	0,70
Mo	37	0,39	37	33	0,92	32	39	8,5	30,4
Ni	2,7	21,3	-18,6	1,0	13	-12	1,5	4,7	-3,2
Pb	0,50	23,2	-22,7	1,2	2,6	-1,4	0,35	1,4	-1,1
Sb	4,1	0,69	3,4	2,5	0,42	2,1	3,5	0,81	2,7
Sn	0,40	0,60	-0,20	0,40	0,80	-0,40	0,40	0,50	-0,10
Zn	42	634	-592	32	316	-284	23	159	-136
Material	BHG	Quarzs.	Differenz	BHG	Quarzs.	Differenz	BHG	Quarzs.	Differenz
Abdeckg.	Waldboden		BHG-QS	Sandboden		BHG-QS	Lößboden		BHG-QS
As	12	0,84	11,2	2,4	0,70	1,7	2,5	4,1	-1,6
Cd	0,69	4,5	-3,8	0,69	2,6	-1,9	0,68	0,21	0,47
Co	2,4	20,7	-18,3	2,4	1,0	1,4	2,4	0,15	2,3
Cr	5,4	6,5	-1,1	5,0	2,9	2,1	4,6	2,1	2,5
Cu	5,5	7,5	-2,0	5,4	7,1	-1,7	5,5	5,4	0,10
Mo	12	0,39	11,2	12	0,92	10,7	12	8,5	3,3
Ni	3,5	21,3	-17,8	3,3	13	-9,6	3,4	4,7	-1,3
Pb	3,5	23,2	-19,7	3,6	2,6	1,0	3,5	1,4	2,1
Sb	2001	0,69	2000	1902	0,42	1902	1375	0,81	1374
Sn	1,1	0,60	0,50	1,1	0,80	0,30	1,1	0,50	0,60
Zn	49	634	-585	18	316	-298	14	159	-145

Jeweils Mittelwerte über 3 Lysimeter, alle Werte in µg/l.

Für Werte, die unter der Bestimungsgrenze lagen wurde selbige bei der Berechnung eingesetzt

Tabelle 22: Vergleich zwischen Elementgehalten im Sickerwasser (Termine 8-10 gemittelt) und in unbelasteten Grundwässern (aus BIELERT (1999))

Konzentration [µg/l]	**As**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Ni**	**Pb**	**Sb**	**Sn**	**Zn**	Schnitt
Grundwasser (pH >6)	1,2	0,19	0,34	2,3	0,92	4,0	0,60	0,10	0,06	21	
Bankettschälgut L598											
Sickerwasser	0,85	0,20	0,39	9,5	9,8	11	0,46	3,20	0,40	383	
Sickerw./Grundwasser	**0,71**	**1,1**	**1,1**	**4,1**	**11**	**2,8**	**0,77**	**34**	**6,3**	**18**	**7,9**
Bankettschälgut A30											
Sickerwasser	1,3	1,0	0,52	6,2	16	9,3	0,80	2,2	1,8	3227	
Sickerw./Grundwasser	**1,1**	**5,3**	**1,5**	**2,7**	**18**	**2,3**	**1,3**	**23**	**28**	**154**	**24**
RM Bauschutt											
Sickerwasser	0,60	0,19	9,1	144	101	47	1,2	0,18	2,1	9,4	
Sickerw./Grundwasser	**0,50**	**1,0**	**27**	**63**	**110**	**12**	**2,0**	**1,9**	**33**	**0,45**	**25**
RM HMVA											
Sickerwasser	2,8	0,51	0,58	108	711	2,2	0,76	26	1,5	8,9	
Sickerw./Grundwasser	**2,3**	**2,7**	**1,7**	**47**	**773**	**0,55**	**1,3**	**274**	**23**	**0,42**	**113**
Kehrgut											
Sickerwasser	0,25	0,10	0,61	8,7	17	21	0,33	25	0,50	154	
Sickerw./Grundwasser	**0,21**	**0,53**	**1,8**	**3,8**	**18**	**5,3**	**0,55**	**263**	**7,8**	**7,3**	**31**
RM Boden											
Sickerwasser	0,44	0,06	0,47	1,6	14	5,8	0,39	1,3	0,40	66	
Sickerw./Grundwasser	**0,37**	**0,32**	**1,4**	**0,70**	**15**	**1,5**	**0,65**	**14**	**6,3**	**3,1**	**4,3**
Pochsand											
Sickerwasser	0,24	0,07	0,26	2,6	2,7	1,9	0,59	2,1	0,85	63	
Sickerw./Grundwasser	**0,20**	**0,37**	**0,76**	**1,1**	**2,9**	**0,48**	**0,98**	**22**	**13**	**3,0**	**4,5**
Auensediment											
Sickerwasser	0,44	0,15	0,27	2,4	6,0	6,0	0,68	2,9	0,40	145	
Sickerw./Grundwasser	**0,37**	**0,79**	**0,79**	**1,0**	**6,5**	**1,5**	**1,1**	**31**	**6,3**	**6,9**	**5,6**
Gießereirestsand											
Sickerwasser	1,7	0,07	0,52	10,7	5,7	1,7	0,67	3,4	0,40	32	
Sickerw./Grundwasser	**1,4**	**0,37**	**1,5**	**4,7**	**6,2**	**0,43**	**1,1**	**36**	**6,3**	**1,5**	**5,9**
Bleihüttengranulat											
Sickerwasser	5,6	0,69	2,4	5,0	7,0	3,9	3,5	2541	10,1	27	
Sickerw./Grundwasser	**4,7**	**3,6**	**7,1**	**2,2**	**7,6**	**0,98**	**5,8**	**26747**	**158**	**1,3**	**2694**
Quarzsand											
Grundwasser (pH <5)	0,54	5,3	1,9	0,94	1,9	7,4	3,9	0,14	<0,05	320	
Sickerwasser	1,9	2,4	7,3	3,8	6,6	13	9,1	0,65	0,63	370	
Sickerw./Grundw. (pH >6	**1,6**	**13**	**21**	**1,7**	**7,2**	**3,3**	**15**	**6,8**	**9,8**	**18**	**9,7**
Sickerw./Grundw. (pH <5	**3,5**	**0,5**	**3,8**	**4,0**	**3,5**	**1,8**	**2,3**	**4,6**		**1,2**	**2,8**

Tabelle 23a: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 38414-4 (Eluierbarkeit mit Wasser-S4), Elementkonzentrationen im Eluat

Element	**Best.-**	Material	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrgut	RM Bo	Pochsd.	Auel.	GRS	BHG	Quarzsd.	Waldb.Ae	Waldb. B	Sandb.	Lößb.
	Grenze	Einheit															
Al	0,01	**mg/l**	0,27	0,10	<0,01	12	0,05	0,25	<0,01	<0,01	0,05	0,06	<0,01	4,6	4,2	0,20	0,01
As	0,06	**µg/l**	2,8	1,9	0,52	0,64	1,9	0,65	0,26	2,3	0,41	47	0,23	3,3	0,92	1,2	2,2
Ba	0,0001	**mg/l**	0,13	0,02	0,09	0,04	0,03	0,01	0,06	0,04	0,002	0,09	0,004	0,02	0,02	0,06	0,01
Be	0,1	**µg/l**	0,15	<0,1	0,18	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,28	<0,1	0,12
Ca	0,05	**mg/l**	45	24	405	87	58	19	32	40	1,7	7,7	0,44	9,9	2,4	14	36
Cd	0,02	**µg/l**	0,77	0,93	0,66	0,67	0,58	0,17	0,55	0,68	0,16	0,71	0,14	0,63	0,52	1,4	0,39
Co	0,07	**µg/l**	10	5,20	7,0	1,20	4,00	0,33	0,81	1,1	0,20	0,28	0,18	1,9	2,3	4,5	3,60
Cr	0,5	**µg/l**	9,6	6,2	36	15	5,3	1,3	1,1	1,0	0,60	2,00	0,50	13	6,2	20	1,7
Cu	1	**µg/l**	17	64	6,2	134	1,8	3,3	<1	21	0,4	2,2	<1	4,7	<1	9,3	1,8
Fe	5	**µg/l**	2834	883	<5	<5	1410	5,7	<5	10	12	<5	<5	6233	4707	64	379
Hg	0,5	**µg/l**	1,5	2,0	1,5	1,2	1,0	1,4	1,0	0,50	0,50	2,0	0,50	0,50	1,0	3,0	1,0
K	0,1	**mg/l**	10	4,7	34	33	10	2,9	2,0	5,0	1,0	0,12	0,10	0,70	0,42	6,8	6,6
Mg	0,05	**mg/l**	3,1	1,2	<0,05	<0,05	7,0	1,3	6,9	0,99	0,25	0,17	<0,05	4,6	1,6	1,8	1,7
Mn	0,5	**µg/l**	1114	1161	2,8	1,4	572	6,2	43	197	0,86	2,0	8,3	537	124	4099	760
Mo	0,04	**µg/l**	13	10	20	53	42	1,5	0,29	18	5,7	3,4	0,22	0,50	0,18	1,2	4,3
Na	0,1	**mg/l**	6,3	14	12	90	28	1,4	0,60	1,2	31	1,9	0,10	0,88	0,53	0,65	0,90
Ni	0,3	**µg/l**	11	10	48	7,9	13	1,9	4,7	4,4	0,41	1,2	0,41	6,6	3,1	4,8	8,5
Pb	0,1	**µg/l**	20	17	1,7	2,8	1,2	0,82	93	1,7	0,75	204	1,7	37	11	1,50	0,90
Sb	0,01	**µg/l**	3,4	2,8	0,10	16	12	0,31	0,95	3,0	0,87	144	0,17	0,89	0,27	0,44	0,78
Sn	0,3	**µg/l**	1,2	1,2	0,90	0,71	0,84	0,30	0,60	0,30	0,30	1,2	0,30	0,30	<0,6	1,80	0,60
Sr	0,005	**mg/l**	0,09	0,05	2,8	0,22	0,25	0,05	0,47	0,09	0,005	0,02	0,005	0,02	0,01	0,06	0,09
Ti	5	**µg/l**	20	7,4	6,6	<5	6,8	<5	<5	<5	<5	<5	<5	34	12	<5	<5
Tl	0,03	**µg/l**	0,31	0,19	0,23	0,13	0,11	0,06	0,21	0,10	0,05	3,3	0,03	0,07	<0,06	0,27	0,06
U	0,01	**µg/l**	0,21	0,21	0,07	0,03	0,12	1,9	0,04	0,42	0,66	0,07	0,02	0,28	0,37	0,36	0,30
V	0,5	**µg/l**	11	12	3,1	11	7,8	3,1	<1	1,5	0,69	<2	<0,5	11	3,8	3,2	8,6
Zn	0,01	**mg/l**	0,11	0,95	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	0,05	0,01	<0,01
Zr	10	**µg/l**	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	28	32	22	<10
	Aufgrund zum Teil hoher Konzentrationen einzelner Elemente musten die Proben für die Analytik mit der ICP-MS zum Teil stark verdünnt werden. Hierdurch können Bestimmungsgrenzen zustande kommen, die über denen liegen, die in der zweiten Spalte angegeben sind.																

Tabelle 23b: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 38414-4 (Eluierbarkeit mit Wasser-S4), eluierbare Feststoffanteile

Element	**Best.-**	Material	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrgut	RM Bo	Pochsd.	Auel.	GRS	BHG	Quarzsd.	Waldb.Ae	Waldb. B	Sandb.	Lößb.
	Grenze	Einheit															
Al	0,1	**mg/kg**	2,7	1,0	<0,1	120	0,50	2,5	<0,1	<0,1	0,50	0,60	<0,1	46	42	2	0,10
As	0,0006	**mg/kg**	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,003	0,02	0,004	0,47	0,002	0,03	0,01	0,01	0,02
Ba	0,001	**mg/kg**	1,3	0,20	0,90	0,40	0,30	0,10	0,60	0,40	0,02	0,90	0,04	0,20	0,20	0,60	0,10
Be	0,001	**mg/kg**	0,002	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	0,001
Ca	0,5	**mg/kg**	450	240	4050	870	580	190	320	400	17	77	4,4	99	24	140	360
Cd	0,0002	**mg/kg**	0,008	0,009	0,007	0,007	0,006	0,002	0,006	0,007	0,002	0,007	0,001	0,006	0,005	0,01	0,004
Co	0,0007	**mg/kg**	0,10	0,05	0,07	0,01	0,04	0,00	0,01	0,01	0,002	<0,003	0,002	0,02	0,02	0,05	0,04
Cr	0,005	**mg/kg**	0,10	0,06	0,36	0,15	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,02	0,01	0,13	0,06	0,20	0,02
Cu	0,01	**mg/kg**	0,17	0,64	0,06	1,3	0,02	0,03	<0,01	0,21	0,004	0,02	<0,01	0,05	<0,01	0,09	0,02
Fe	0,05	**mg/kg**	28	8,8	0,05	0,05	14	0,06	0,05	0,10	0,12	0,05	0,05	62	47	0,64	3,8
Hg	0,005	**mg/kg**	0,02	0,02	0,02	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,02	<0,005	<0,005	<0,01	<0,03	<0,01
K	1	**mg/kg**	100	47	340	330	100	29	20	50	10	1,2	<1	7,0	4,2	68	66
Mg	0,5	**mg/kg**	31	12	<0,5	<0,5	70	13	69	10	2,5	1,7	<0,5	46	16	18	17
Mn	0,005	**mg/kg**	11	12	0,03	0,01	5,7	0,06	0,43	2,0	0,01	<0,02	0,08	5,4	1,2	41	7,6
Mo	0,0004	**mg/kg**	0,13	0,10	0,20	0,53	0,42	0,02	0,003	0,18	0,06	0,03	0,002	0,01	0,002	0,01	0,04
Na	1	**mg/kg**	63	140	120	900	280	14	6,0	12	310	19	<1	8,8	5,3	6,5	9,0
Ni	0,003	**mg/kg**	0,11	0,10	0,48	0,08	0,13	0,02	0,05	0,04	0,004	<0,01	0,004	0,07	0,03	0,05	0,09
Pb	0,001	**mg/kg**	0,20	0,17	0,02	0,03	0,01	0,01	0,93	0,02	0,01	2,0	0,02	0,37	0,11	0,02	0,01
Sb	0,0001	**mg/kg**	0,03	0,03	0,001	0,16	0,12	0,003	0,01	0,03	0,01	1,4	0,002	0,01	0,003	0,004	0,01
Sn	0,003	**mg/kg**	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,003	<0,006	<0,003	<0,003	<0,01	<0,003	0,003	<0,006	<0,018	<0,006
Sr	0,05	**mg/kg**	0,90	0,50	28	2,2	2,5	0,50	4,7	0,90	<0,05	0,20	<0,05	0,20	0,10	0,60	0,90
Ti	0,05	**mg/kg**	0,2	0,1	0,01	<0,05	0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,34	0,12	<0,05	<0,05
Tl	0,0003	**mg/kg**	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,03	0,0003	0,001	<0,0006	0,003	<0,0006
U	0,0001	**mg/kg**	0,002	0,002	0,001	0,0003	0,001	0,02	0,0004	0,004	0,007	0,001	0,0002	0,003	0,004	0,004	0,003
V	0,005	**mg/kg**	0,11	0,12	0,03	0,11	0,08	0,03	<0,01	0,02	0,01	<0,02	<0,005	0,11	0,04	0,03	0,09
Zn	0,1	**mg/kg**	1,1	9,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,0	0,5	0,1	<0,1
Zr	0,1	**mg/kg**	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,28	0,32	0,22	<0,1
	Aufgrund zum Teil hoher Konzentrationen einzelner Elemente musten die Proben für die Analytik mit der ICP-MS zum Teil stark verdünnt werden. Hierdurch können Bestimmungsgrenzen zustande kommen, die über denen liegen, die in der zweiten Spalte angegeben sind.																

Tabelle 24a: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 19730 (Ammoniumnitratextrakt), Elementkonzentrationen im Eluat

Element	**Best.-**	Material	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrgut	RM Bo	Pochsd.	Auel.	GRS	BHG	Quarzsd.	Waldb.Ae	Waldb. B	Sandb.	Lößb.
	Grenze	Einheit															
Al	0,01	**mg/l**	0,49	0,18	<0,01	3,5	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	43	99	3,5	<0,01
As	0,06	**µg/l**	4,1	11	9,5	277	9,0	0,95	5,9	4,8	0,54	766	0,66	7,3	2,8	4,4	3,3
Ba	0,0001	**mg/l**	3,3	3,1	1,8	0,62	3,9	1,1	2,1	9,7	1,9	0,36	0,10	2,2	1,5	3,7	2,3
Be	0,1	**µg/l**	0,55	0,29	2,2	1,2	0,58	<0,1	0,11	0,49	<0,1	<0,1	<0,1	4,0	8,9	2,8	0,40
Ca	0,05	**mg/l**	405	565	2419	2401	837	297	231	937	178	51	4,3	208	26	192	731
Cd	0,02	**µg/l**	3,7	15	17	325	3,2	1,1	15	17	1,4	523	1,1	22	10	18	0,87
Co	0,07	**µg/l**	18	18	11	<70	24	8,0	14	8,1	2,4	9,9	1,8	25	24	67	16
Cr	0,5	**µg/l**	30	63	165	58	13	3,8	<18	<4	<2	<1000	1,5	21	26	291	4,7
Cu	1	**µg/l**	225	260	1375	103910	783	329	284	235	92	700	124	74	69	89	81
Fe	5	**µg/l**	669	408	<5	<5	325	8,6	<5	10	<5	<5	17	49315	35706	102	24
Hg	0,5	**µg/l**	<5,5	<15,5	<18	<500	<9	3,0	<18	<4	<2	<1000	<1,5	<21	<7,4	<4	<2,5
K	0,1	**mg/l**	56	40	167	245	103	16	13	80	21	1	0,41	13	4,9	60	100
Mg	0,05	**mg/l**	20	15	9,9	9,5	55	9,3	35	15	21	1,2	0,32	51	11	18	22
Mn	0,5	**µg/l**	4809	15292	9,0	307	5466	384	2087	2992	545	299	71	9467	1105	55750	1693
Mo	0,04	**µg/l**	22	16	49	189	51	15	14	24	29	736	2,2	5,9	1,9	11	23
Na	0,1	**mg/l**	24	66	52	491	142	6,2	3,4	6,3	162	6,8	0,37	5,7	2,9	4,2	4,8
Ni	0,3	**µg/l**	32	11	64	139	32	43	35	22	14	274	6,9	67	28	21	87
Pb	0,1	**µg/l**	18	50	7,3	<100	10	2,0	1978	10	1,6	93655	130	704	590	12	2,0
Sb	0,01	**µg/l**	4,6	7,9	5,5	150	33	0,94	4,6	6,6	0,89	282	0,46	3,1	0,92	1,6	1,3
Sn	0,3	**µg/l**	<3,3	<9,3	<11	<300	<5,4	<1,2	<11	<2,4	<1,2	<600	<0,9	<12	<4,4	<2,4	<1,5
Sr	0,005	**mg/l**	1,0	1,3	18	2,8	4,1	0,71	3,5	2,6	0,52	0,11	0,02	0,56	0,13	0,92	2,3
Ti	5	**µg/l**	24	16	52	25	13	7,2	5,8	12	<5	<5	<5	25	31	8,0	10
Tl	0,03	**µg/l**	2,1	3,3	2,2	<30	1,9	1,3	6,2	7,2	0,89	<60	0,16	2,9	1,4	3,1	1,6
U	0,01	**µg/l**	0,92	0,61	<0,36	10	0,60	18	0,37	1,3	3,1	25	0,03	0,63	0,83	0,75	0,71
V	0,5	**µg/l**	14	<15,5	25	<500	<9	2,4	<18	<4	<2	<1000	<1,5	<20	12	<4	6,3
Zn	0,01	**mg/l**	0,29	6,7	0,62	36	0,38	0,24	0,10	0,06	0,03	7,5	0,88	2,0	0,60	0,65	<0,01
Zr	10	**µg/l**	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	23	77	43	<10
	Aufgrund zum Teil hoher Konzentrationen einzelner Elemente musten die Proben für die Analytik mit der ICP-MS zum Teil stark verdünnt werden. Hierdurch können Bestimmungsgrenzen zustande kommen, die über denen liegen, die in der zweiten Spalte angegeben sind.																

Tabelle 24b: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 19730 (Ammoniumnitratextrakt), eluierbare Feststoffanteile

Element	**Best.-**	Material	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrgut	RM Bo	Pochsd.	Auel.	GRS	BHG	Quarzsd.	Waldb.Ae	Waldb. B	Sandb.	Lößb.
	Grenze	Einheit															
Al	0,03	**mg/kg**	1,20	0,45	<0,03	8,8	0,05	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,05	108	248	8,8	<0,03
As	0,0002	**mg/kg**	0,01	0,03	0,02	0,69	0,02	0,002	0,01	0,01	0,001	1,9	0,002	0,02	0,01	0,01	0,01
Ba	0,0003	**mg/kg**	8,3	7,8	4,5	1,6	9,8	2,8	5,3	24	4,8	0,90	0,25	5,5	3,8	9,3	5,8
Be	0,0003	**mg/kg**	0,001	0,001	0,006	0,003	0,001	<0,0003	0,0003	0,001	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,01	0,02	0,007	0,001
Ca	0,125	**mg/kg**	1013	1413	6048	6003	2093	743	578	2343	445	128	11	520	65	480	1828
Cd	0,00005	**mg/kg**	0,009	0,04	0,04	0,81	0,008	0,003	0,04	0,04	0,004	1,3	0,003	0,06	0,03	0,05	0,002
Co	0,0002	**mg/kg**	0,05	0,05	0,03	<0,18	0,06	0,02	0,04	0,02	0,01	0,02	0,005	0,06	0,06	0,17	0,04
Cr	0,0013	**mg/kg**	0,08	0,16	0,41	0,15	0,03	0,01	<0,05	<0,01	<0,005	<2,5	0,004	0,05	0,07	0,73	0,01
Cu	0,0025	**mg/kg**	0,56	0,65	3,4	260	2,0	0,82	0,71	0,59	0,23	1,7	0,31	0,19	0,17	0,22	0,20
Fe	0,0125	**mg/kg**	1,7	1,0	<0,01	<0,01	0,81	0,02	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,04	123	89	0,26	0,06
Hg	0,0013	**mg/kg**	<0,01	<0,04	<0,05	<1,3	<0,02	0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<2,5	<0,004	<0,05	<0,02	<0,01	<0,01
K	0,25	**mg/kg**	140	100	418	613	258	40	33	200	53	3,0	1,0	33	12	150	250
Mg	0,125	**mg/kg**	50	38	25	24	138	23	88	38	53	3,0	0,80	128	28	45	55
Mn	0,0013	**mg/kg**	12	38	0,02	0,77	14	1,0	5,2	7,5	1,4	0,75	0,18	24	2,8	139	4,2
Mo	0,0001	**mg/kg**	0,06	0,04	0,12	0,47	0,13	0,04	0,04	0,06	0,07	1,8	0,01	0,01	0,005	0,03	0,06
Na	0,25	**mg/kg**	60	165	130	1228	355	16	8,5	16	405	17	0,93	14	7,3	11	12
Ni	0,0008	**mg/kg**	0,08	0,03	0,16	0,35	0,08	0,11	0,09	0,06	0,04	0,69	0,02	0,17	0,07	0,05	0,22
Pb	0,0003	**mg/kg**	0,05	0,13	0,02	<0,25	0,03	0,01	4,9	0,03	0,004	234	0,33	1,8	1,5	0,03	0,01
Sb	0,00003	**mg/kg**	0,01	0,02	0,01	0,38	0,08	0,002	0,01	0,02	0,002	0,71	0,001	0,008	0,002	0,004	0,003
Sn	0,0008	**mg/kg**	<0,01	<0,02	<0,03	<0,75	<0,01	<0,003	<0,03	<0,01	<0,003	<1,5	<0,002	<0,03	<0,01	<0,01	<0,004
Sr	0,0125	**mg/kg**	2,5	3,3	45	7,0	10	1,8	8,8	6,5	1,3	0,28	0,05	1,4	0,33	2,3	5,8
Ti	0,0125	**mg/kg**	0,06	0,04	0,13	0,06	<0,001	0,02	0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,08	0,02	0,03
Tl	0,00008	**mg/kg**	0,005	0,008	0,006	<0,08	0,005	0,003	0,02	0,02	0,002	<0,15	0,0004	0,007	0,004	0,008	0,004
U	0,00003	**mg/kg**	0,002	0,002	<0,001	0,03	0,002	0,05	0,001	0,003	0,008	0,06	0,0001	0,002	0,002	0,002	0,002
V	0,0013	**mg/kg**	0,04	<0,04	0,06	<1,25	<0,02	0,006	<0,05	<0,01	<0,01	<2,5	<0,004	<0,05	0,03	<0,01	0,02
Zn	0,025	**mg/kg**	0,73	17	1,6	90	0,95	0,60	0,25	0,15	0,08	19	2,2	5,0	1,5	1,6	<0,03
Zr	0,025	**mg/kg**	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,06	0,19	0,11	<0,03
	Aufgrund zum Teil hoher Konzentrationen einzelner Elemente musten die Proben für die Analytik mit der ICP-MS zum Teil stark verdünnt werden. Hierdurch können Bestimmungsgrenzen zustande kommen, die über denen liegen, die in der zweiten Spalte angegeben sind.																

Tabelle 25a: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN V 19735 (Bodensättigungsextrakt), Elementkonzentrationen im Extrakt

Element	**Best.-**	Material	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrgut	RM Bo	Pochsd.	Auel.	GRS	BHG	Quarzsd.	Waldb.Ae	Waldb. B	Sandb.	Lößb.
	Grenze	Einheit															
Al		**mg/l**	2,3	1,2	1,4	11	0,70	0,78	0,48	0,47	0,16	0,81	0,19	23	50	3,50	0,57
As		**µg/l**	5,7	4,2	3,2	14,1	6,5	1,0	6,0	1,9	3,0	112	0,32	5,8	2,3	<11	3,0
Ba		**mg/l**	0,90	0,22	0,31	0,18	0,34	0,07	0,28	0,14	0,02	0,24	0,02	0,16	0,15	0,27	0,13
Be		**µg/l**	<8,1	<8,4	<10	<10	<7,8	<11	<9,8	<8,1	<8,9	<9,2	<8,3	<7,3	<8,7	<9,4	<8,1
Ca		**mg/l**	321	231	896	241	481	196	336	106	8,0	25	3,3	74	27	372	466
Cd		**µg/l**	3,2	9,9	5,9	12	3,1	0,42	11	2,0	0,50	46	0,40	5,4	3,6	43	0,9
Co		**µg/l**	42	22	42	8,1	19	4,3	18	4,4	4,4	29	2,0	11	22	66	11
Cr		**µg/l**	56	23	310	309	24	14	176	15	11	815	5,3	29	37	508	40
Cu		**µg/l**	613	787	321	2200	1001	25	<58	142	9,0	80	3,1	27	27	135	92
Fe		**µg/l**	1941	1435	585	878	1039	864	1451	380	231	2320	145	15932	24007	557	272
Hg		**µg/l**	<4,1	<9,2	<15	16	<4,7	7,0	<29	<0,81	<0,89	<167	<0,83	<5,9	<1,74	<94	<1,6
K		**mg/l**	115	35	767	597	69	45	14	17	8,4	19	1,2	8,0	3,9	79	53
Mg		**mg/l**	27	14	0,37	0,55	74	23	72	3,1	1,6	1,2	0,30	41	22	44	20
Mn		**µg/l**	3892	8736	12	25	4290	127	1426	265	9,9	115	76	5641	1738	94870	1379
Mo		**µg/l**	50	32	130	993	119	47	25	35	43	23	0,67	4,5	1,5	33	40
Na		**mg/l**	115	292	307	2598	412	34	7,0	5,3	514	78	0,53	10	9,5	12	9,2
Ni		**µg/l**	191	51	24	49	149	26,7	86	17	4,9	142	3,9	25	25	140	74
Pb		**µg/l**	31	79	16	125	18	5,4	3119	27	1,4	17140	7,4	144	71	52	2,2
Sb		**µg/l**	13	16	1,4	27	42	1,3	19	6,3	5,7	782	1,7	5,2	2,0	9,4	4,7
Sn		**µg/l**	4,1	<5,5	<9,0	<15	<2,8	<0,65	<17	<0,48	<0,54	<100	<0,50	<3,5	<1,0	57	<0,96
Sr		**mg/l**	0,92	0,58	16	0,82	2,7	0,60	4,9	0,29	0,03	0,18	0,02	0,18	0,12	1,4	1,3
Ti		**µg/l**	86,06	<84	<107	<107	<78	<105	<94	<81	<89	<92	<83	194	176	<94	<80
Tl		**µg/l**	1,0	0,97	1,3	0,62	0,42	0,17	2,1	0,18	0,05	30,3	0,15	0,53	0,17	<5,6	0,14
U		**µg/l**	3,0	1,6	0,97	0,75	0,51	16	1,5	0,23	11	7,4	0,07	0,84	1,9	6,9	0,39
V		**µg/l**	36	29	20	219	58	6,8	40	5,0	11	163	2,0	33	29	98	14
Zn		**mg/l**	0,84	9,4	0,02	0,28	0,51	0,04	0,06	0,03	0,01	1,5	0,25	0,72	0,65	0,51	0,002
Zr		**µg/l**	37	35	22	22	32	21	<19	18	19	<18	<71	147	320	167	37
	Aufgrund zum Teil hoher Konzentrationen einzelner Elemente musten die Proben für die Analytik mit der ICP-MS zum Teil stark verdünnt werden. Hierdurch und durch das unterschiedliche Fest/Flüssig-Verhältnis kommen unterschiedliche Bestimmungsgrenzen zustande																

Tabelle 25b: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN V 19735 (Bodensättigungsextrakt), extrahierbare Feststoffanteile

Element	**Best.-**	Material	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrgut	RM Bo	Pochsd.	Auel.	GRS	BHG	Quarzsd.	Waldb.Ae	Waldb. B	Sandb.	Lößb.
	Grenze	Einheit															
Al		**mg/kg**	0,91	0,43	0,30	3,1	0,32	0,18	0,14	0,19	0,05	0,24	0,07	12	17	1,0	0,23
As		**mg/kg**	0,002	0,002	0,0007	0,003	0,003	0,0002	0,002	0,0008	0,001	0,03	0,0001	0,003	0,0008	<0,003	0,001
Ba		**mg/kg**	0,36	0,08	0,07	0,04	0,15	0,02	0,08	0,06	0,007	0,07	0,008	0,09	0,05	0,08	0,05
Be		**mg/kg**	<0,003	<0,003	<0,002	<0,002	<0,004	<0,002	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,004	<0,003	<0,003	<0,003
Ca		**mg/kg**	129	86	195	52	216	45	96	42	2,5	7,5	1,2	40	9,2	106	191
Cd		**mg/kg**	0,001	0,004	0,001	0,003	0,001	0,0001	0,003	0,0008	0,0002	0,01	0,0001	0,003	0,001	0,01	0,0004
Co		**mg/kg**	0,02	0,008	0,009	0,002	0,009	0,001	0,005	0,002	0,001	0,009	0,0007	0,006	0,007	0,02	0,005
Cr		**mg/kg**	0,02	0,009	0,07	0,07	0,01	0,003	0,05	0,006	0,004	0,24	0,002	0,02	0,01	0,14	0,02
Cu		**mg/kg**	0,25	0,29	0,07	0,48	0,45	0,006	<0,02	0,06	0,003	0,02	0,001	0,02	0,009	0,04	0,04
Fe		**mg/kg**	0,78	0,53	0,13	0,19	0,47	0,20	0,42	0,15	0,07	0,68	0,05	8,5	8,1	0,16	0,11
Hg		**mg/kg**	<0,002	<0,003	<0,003	0,003	<0,002	0,002	<0,008	<0,0003	<0,0003	<0,05	<0,0003	<0,003	<0,0006	<0,03	<0,0007
K		**mg/kg**	46	13	167	130	31	10	4,1	6,6	2,7	5,5	0,46	4,5	1,3	23	22
Mg		**mg/kg**	11	5,1	0,08	0,12	33	5,1	21	1,2	0,51	0,34	0,11	22	7,4	13	8,1
Mn		**mg/kg**	1,6	3,2	0,003	0,01	1,9	0,03	0,41	0,11	0,003	0,03	0,03	3,0	0,59	27	0,57
Mo		**mg/kg**	0,02	0,01	0,03	0,22	0,05	0,01	0,007	0,01	0,01	0,007	0,0002	0,002	0,001	0,01	0,02
Na		**mg/kg**	46	108	67	566	185	7,8	2,0	2,1	163	23	0,2	5,5	3,2	3,5	3,8
Ni		**mg/kg**	0,08	0,02	0,01	0,01	0,07	0,01	0,03	0,01	0,002	0,04	0,002	0,01	0,01	0,04	0,03
Pb		**mg/kg**	0,01	0,03	0,004	0,03	0,008	0,001	0,89	0,010	0,001	5,1	0,003	0,08	0,02	0,02	0,001
Sb		**mg/kg**	0,005	0,006	0,0003	0,006	0,02	0,0003	0,006	0,003	0,002	0,23	0,0006	0,003	0,0007	0,003	0,002
Sn		**mg/kg**	0,002	<0,002	<0,002	0,003	<0,001	0,0001	<0,005	<0,0002	<0,0002	<0,03	<0,0002	<0,002	<0,0004	<0,02	<0,0004
Sr		**mg/kg**	0,37	0,22	3,4	0,18	1,2	0,14	1,4	0,12	0,009	0,05	0,006	0,10	0,04	0,40	0,54
Ti		**mg/kg**	0,04	<0,031	<0,01	<0,01	<0,01	<0,004	<0,003	<0,005	<0,002	<0,004	<0,002	0,10	0,06	<0,009	<0,008
Tl		**mg/kg**	0,0004	0,0004	0,0003	0,0001	0,0002	<0,0001	0,0006	0,0001	<0,0001	0,01	0,0001	0,0003	0,0001	<0,002	0,0001
U		**mg/kg**	0,001	0,0006	0,0002	0,0002	0,0002	0,004	0,0004	0,0001	0,003	0,002	<0,0001	0,0004	0,0006	0,002	0,0002
V		**mg/kg**	0,01	0,01	0,004	0,05	0,03	0,002	0,01	0,002	0,004	0,05	0,001	0,02	0,01	0,03	0,006
Zn		**mg/kg**	0,34	3,5	0,004	0,06	0,23	0,01	0,02	0,01	0,002	0,46	0,09	0,39	0,22	0,14	0,001
Zr		**mg/kg**	0,02	0,01	0,005	0,005	0,02	0,005	<0,005	0,007	0,006	<0,005	<0,006	0,08	0,11	0,05	0,02
	Aufgrund zum Teil hoher Konzentrationen einzelner Elemente musten die Proben für die Analytik mit der ICP-MS zum Teil stark verdünnt werden. Hierdurch und durch das unterschiedliche Fest/Flüssig-Verhältnis kommen unterschiedliche Bestimmungsgrenzen zustande															

Tabelle 26: Ergebnisse des Königswasseraufschlusses

Element	Best.-	Material	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrgut	RM Bo	Pochsd.	Auel.	GRS	BHG	Quarzsd.	Waldb.Ae	Waldb.B	Sandb.	Lößb.
	Grenze	Einheit															
Al	0,333	**mg/kg**	6609	6462	6032	19946	10799	1546	3459	19530	3559	15257	550	4014	6394	10239	11144
As	0,002	**mg/kg**	8,3	23	3,7	65	2,2	0,58	333	4,1	0,40	687	0,41	1,0	0,44	2,1	1,7
Ba	0,17	**mg/kg**	165	79	70	n.b.	252	19	129	166	25	n.b.	20	21	20	74	54
Be	0,17	**mg/kg**	0,57	0,30	0,38	0,44	0,56	<0,17	0,46	1,24	<0,17	0,76	<0,17	<0,17	0,24	0,90	0,79
Ca	1,67	**mg/kg**	7476	9109	51703	48121	29862	17217	8921	5713	1251	62804	57	792	213	920	5019
Cd	0,001	**mg/kg**	0,32	0,88	0,13	4,5	0,36	0,08	1,9	3,6	0,05	8,1	0,06	0,13	0,05	0,39	0,26
Co	0,002	**mg/kg**	7,3	5,4	3,0	8,6	15	1,1	12	14	1,4	217	0,08	0,89	1,4	4,4	7,0
Cr	0,017	**mg/kg**	38	25	14	59	76	2,5	5,2	34	17	1455	1,1	4,9	6,5	11	19
Cu	0,033	**mg/kg**	34	45	19	888	158	7,5	151	75	10	562	<0,5	2,5	2,2	5,1	9,2
Fe	0,17	**mg/kg**	11850	15530	6640	39930	29760	3000	32170	28450	5340	181650	235	4810	6550	9690	13300
Hg	0,017	**mg/kg**	0,60	<2,2	0,18	<17	<0,85	<0,17	<170	<1,2	<0,17	<170	<0,26	<0,43	<0,17	<0,85	<0,6
K	3,3	**mg/kg**	1200	823	1320	2580	1910	423	1680	2490	296	5290	64	670	720	1460	2230
Mg	1,67	**mg/kg**	3320	2250	2510	5100	11320	730	3810	5000	960	6060	19	502	745	1780	2330
Mn	0,17	**mg/kg**	292	346	148	456	506	76	4481	1131	51	9384	5,1	53	35	766	558
Mo	0,001	**mg/kg**	2,9	2,2	1,2	4,8	5,2	0,29	35	1,3	0,98	225	0,09	0,52	0,18	0,44	0,46
Na	3,3	**mg/kg**	352	338	402	6010	1860	114	86	155	810	3150	15	87	85	75	60
Ni	0,01	**mg/kg**	28	16	9,3	62	57	2,1	41	28	5,5	215	0,5	2,4	3,6	10	14
Pb	0,003	**mg/kg**	51	181	19	1270	74	8,8	35080	388	2,0	35610	2,1	30	12	17	17
Sb	0,001	**mg/kg**	0,76	1,1	0,51	6,7	3,5	0,05	51	1,03	0,11	837	0,04	0,20	0,08	0,14	0,12
Sn	0,01	**mg/kg**	2,0	3,1	2,7	125	17	0,54	<100	2,4	2,3	1478	0,13	0,98	0,54	0,86	0,69
Sr	0,17	**mg/kg**	27	23	206	106	148	25	157	23	7,0	1409	1,4	4,5	3,5	8,2	20
Ti	1,67	**mg/kg**	206	121	302	1165	0,00	105	4,7	123	61	711	57	111	134	174	351
Tl	0,001	**mg/kg**	0,19	0,53	0,07	2,9	0,24	0,04	61	1,1	0,03	55	0,02	0,15	0,10	0,20	0,16
U	0,001	**mg/kg**	0,55	0,42	0,81	0,89	0,71	0,44	2,8	1,1	0,22	6,2	0,08	0,58	0,64	1,03	1,05
V	0,017	**mg/kg**	173	547	33	2043	73	12	13000	87	13	15830	11	30	14	86	55
Zn	0,33	**mg/kg**	136	780	65	1450	329	40	351	593	20	10920	238	86	50	64	58
Zr	0,33	**mg/kg**	2,0	0,8	8,7	5,2	15	2,6	3,2	2,8	5,3	52	1,5	1,0	1,8	3,1	11
B	0,017	**mg/kg**	7,5	14	7,3	89	7,2	1,1	342	5,6	1,6	342	0,5	3,4	2,0	5,1	4,8
Se	0,017	**mg/kg**	1,4	2,9	0,56	17	1,8	0,33	351	3,0	0,21	147	0,34	0,91	0,44	0,95	0,85
Te	0,017	**mg/kg**	<0,6	<2,2	<0,17	<17	<0,85	<0,17	<170	<1,2	<0,17	<170	<0,26	<0,43	<0,17	<0,85	<0,6

n.b. : Gehalte in der Lösung zu hoch, so dass sie mittels ICP-OES nicht mehr bestimmbar waren (Gerät hat abgeschaltet)

Aufgrund zum Teil hoher Konzentrationen einzelner Elemente musten die Proben für die Analytik mit der ICP-MS zum Teil stark verdünnt werden. Hierdurch können Bestimmungsgrenzen zustande kommen, die über denen liegen, die in der zweiten Spalte angegeben sind.

Tabelle 27: Vergleich zwischen den DIN-Verfahren: Wässriger Extrakt mit Fest-/Flüssig-Verhältnis 1:2 (S4 1:2) sowie Ammoniumnitatextrakt (ANE) und Bodensättigungsextrakt (BSE) jeweils bezogen auf den wässrigen Extrakt mit Fest-/Flüssig-Verhältnis 1:10 (S4 1:10)

Material / DIN-Verf.		Element										
		As	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn
	Prüfwert in µg/l	10	5	50	50	50	50	50	25	10	40	500
BSG 1	S4 1:10 (µg/l)	2,8	0,77	10	9,6	17	13	11	20	3,4	1,2	110
	S4 1:2 / S4 1:10	2,0	0,48	1,5	1,2	7,8	1,5	4,0	0,4	2,1	0,5	1,5
	ANE / S4 1:10	1,5	4,8	1,8	3,1	13	1,7	2,9	0,9	1,4	<2,8	2,6
	BSE / S4 1:10	2,0	4,2	4,2	5,8	36	3,8	17	1,5	3,7	3,4	7,6
BSG 2	S4 1:10 (µg/l)	1,9	0,93	5,2	6,2	64	10	10	17	2,8	<1,2	950
	S4 1:2 / S4 1:10	1,9	2,0	1,7	1,1	4,4	1,5	2,0	1,5	4,3	**<>1,3**	3,1
	ANE / S4 1:10	5,8	16	3,5	10	4,1	1,6	1,1	2,9	2,8	**<>7,8**	7,1
	BSE / S4 1:10	2,2	11	4,3	3,8	12	3,2	5,1	4,6	5,7	**<>4,6**	9,9
RM BS	S4 1:10 (µg/l)	0,52	0,66	7,0	36	6,2	20	48	1,7	0,10	<0,90	<10
	S4 1:2 / S4 1:10	<1,2	<0,30	0,4	2,6	9,4	2,0	0,52	1,7	<1,0	**<>3,3**	>2,0
	ANE / S4 1:10	18	26	1,6	4,6	222	2,5	1,3	4,3	55	**<>12**	>62
	BSE / S4 1:10	6,2	9,0	6,0	8,6	52	6,5	0,49	9,6	14	**<>10**	>1,8
HMVA	S4 1:10 (µg/l)	0,64	0,67	1,2	15	134	53	7,9	2,8	16	0,71	<10
	S4 1:2 / S4 1:10	0,67	<0,15	<0,29	1,1	3,3	3,2	<0,19	1,3	2,0	<2,1	>2,0
	ANE / S4 1:10	433	485	<58	3,9	775	3,6	18	<36	9,4	<423	>3600
	BSE / S4 1:10	22	18	6,8	21	16	19	6,19	44	1,7	22	>28
Kehrg.	S4 1:10 (µg/l)	1,9	0,58	4,0	5,3	1,8	42	13	1,2	12	0,84	<10
	S4 1:2 / S4 1:10	2,4	0,53	2,1	0,9	189	2,3	4,1	0,5	4,8	<1,8	>21
	ANE / S4 1:10	4,7	5,5	6,0	2,5	435	1,2	2,5	8,3	2,8	<6,4	>38
	BSE / S4 1:10	3,4	5,4	4,7	4,5	556	2,84	11	15	3,5	<3,3	>51
RM Bo	S4 1:10 (µg/l)	0,65	0,17	0,33	1,3	3,3	1,5	1,9	0,82	0,31	<0,30	<10
	S4 1:2 / S4 1:10	0,18	<0,24	<0,42	<0,77	1,7	6,2	<0,30	<0,24	2,9	**<>2,0**	>1,0
	ANE / S4 1:10	1,5	6,5	24	2,9	100	10	23	2,4	3,0	**<>4,0**	>24
	BSE / S4 1:10	1,5	2,5	13	11	7,7	32	14	6,5	4,2	>2,2	>3,7
Pochs.	S4 1:10 (µg/l)	0,26	0,55	0,81	1,1	<1,0	0,29	4,7	93	0,95	<0,60	<10
	S4 1:2 / S4 1:10	<4,6	0,36	<0,17	<0,91	**<>2,0**	24	0,74	1,1	3,3	**<>1,0**	>1,0
	ANE / S4 1:10	23	27	17	<16	>284	48	7	21	4,8	**<>18**	>10
	BSE / S4 1:10	23	19	22	160	**<>58**	85	18	34	20	**<>29**	>6,5
Auel.	S4 1:10 (µg/l)	2,3	0,68	1,1	1,0	21	18	4,4	1,7	3,0	<0,30	<10
	S4 1:2 / S4 1:10	1,0	0,91	0,5	<1,0	1,7	1,4	0,3	0,76	3,1	**<>2,0**	>1,0
	ANE / S4 1:10	2,1	25	7,4	<4	11	1,3	5,0	5,9	2,2	**<>8,0**	>6,0
	BSE / S4 1:10	0,83	2,9	4,0	15	6,8	2,0	3,9	16	2,1	**<>1,6**	>2,9
GRS	S4 1:10 (µg/l)	0,41	0,16	0,20	0,60	0,40	5,7	0,41	0,75	0,87	<0,30	<10
	S4 1:2 / S4 1:10	<0,29	<0,25	1,2	<1,7	<5,0	2,6	<1,5	0,63	3,6	**<>2,0**	>1,0
	ANE / S4 1:10	1,3	8,8	12	<3,3	230	5,1	34	2,1	1,0	**<>4,0**	>3,0
	BSE / S4 1:10	7,3	3,1	22	18	23	7,5	12	1,9	6,5	**<>1,8**	>0,48
BHG	S4 1:10 (µg/l)	47	0,71	<0,28	<2,0	2,2	3,4	<1,2	204	144	<1,2	<10
	S4 1:2 / S4 1:10	3,5	<0,28	**<>1,3**	**<>2,5**	1,5	4,4	**<>2,5**	1,0	4,2	**<>2,5**	>1
	ANE / S4 1:10	16	737	>35	**<>500**	318	216	>228	459	2,0	**<>500**	>750
	BSE / S4 1:10	2,4	65	>103	>407	36	6,9	>119	84	5,4	**<>84**	>154
Quarzs.	S4 1:10 (µg/l)	0,23	0,14	0,18	0,50	<1,0	0,22	0,41	1,7	0,17	<0,30	<10
	S4 1:2 / S4 1:10	<0,52	<0,29	<0,78	<2,0	>2	<0,36	<1,5	0,82	0,29	**<>2,0**	>3
	ANE / S4 1:10	2,9	7,9	10	3,0	>124	10	17	76	2,7	**<>3,0**	>88
	BSE / S4 1:10	1,4	2,9	11	11	>3,1	3,0	9,6	4,3	10	**<>1,7**	>25
Alle	**Durchschnitt (unsichere Werte (<, >) wurden nicht berücksichtigt)**											
	S4 1:2 / S4 1:10	1,6	0,9	1,2	1,4	27,4	4,9	1,9	1,0	3,0		
	ANE / S4 1:10	46,3	122,7	9,3	4,3	234,3	27,4	11,1	58,4	7,9		
	BSE / S4 1:10	6,6	12,9	9,8	25,8	82,9	15,6	9,8	20,1	7,0		

Ergebniss des jeweiligen Verfahrens unter der Bestimmungsgrenze, deshalb Faktor kleiner

Ergebniss des S4-Verfahrens unter der Bestimmungsgrenze, deshalb Faktor größer

Ergebniss beider Verfahrens unter der Bestimmungsgrenze, deshalb Faktor größer oder kleiner

Tabelle 28: Vergleich gemessener Extraktkonzentrationen im Bodensättigungsextrakt mit nach DIN-Vornorm V 19735 berechneten Werten

	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrg.	RM Bo	Pochs.	Auel.	GRS	BHG	Quarzs.
Gemessene Elementkonzentration im Bodensättigungsextrakt in µg/l											
As	5,7	4,2	3,2	14	6,5	0,99	6,0	1,9	3,0	112	0,32
Cd	3,2	9,9	5,9	12	3,1	0,42	10	2,0	0,50	46	0,40
Co	42	22	42	8,1	19	4,3	18	4,4	4,4	29	2,0
Cr	56	23	310	309	24	14	176	15	11	815	5,3
Cu	613	787	321	2200	1001	25	58	142	9,0	80	3,1
Ni	191	51	24	49	149	27	86	17	4,9	142	3,9
Pb	31	79	16	125	18	5,4	3119	27	1,4	17140	7,4
Zn	841	9382	18	280	509	37	65	29	4,8	1543	246
Verhältnis zwischen den aus dem Ammoniumnitratextrakt errechneten und den im Bodensättigungsextrakt gemessenen Werten											
As	1,1	3,7	4,1	22,4	1,9	1,5	1,4	3,6	0,30	7,3	3,4
Cd	0,35	0,30	0,54	2,0	0,33	1,2	0,28	1,6	1,2	0,72	1,2
Co	0,35	0,67	0,28	3,5	0,90	2,3	0,73	2,3	1,3	0,38	2,4
Cr	0,66	2,4	0,32	0,17	0,97	0,80	0,16	0,78	0,72	0,34	1,3
Cu	0,29	0,25	1,8	4,3	0,40	9,0	3,54	1,3	11,0	4,63	
Ni	0,08	0,14	1,0	0,83	0,10	0,68	0,19	0,68	1,7	0,45	1,3
Pb	0,41	0,26	0,49	0,24	0,52	0,78	0,04	0,34	2,6	0,05	4,6
Zn	0,07	0,09	6,38	12,1	0,15	1,3	0,37	0,55	1,8	0,59	0,61
Verhältnis zwischen den aus dem wässrigen Extrakt (S4 1:10) errechneten und den im Bodensättigungs- extrakt gemessenen Werten											
As	4,3	4,2	1,8	0,48	2,7	7,0	0,53	10,7	1,5	2,4	8,9
Cd	7,2	2,8	3,4	1,7	5,7	13,8	1,6	10,5	10,9	0,47	12,1
Co											
Cr	8,4	12,5	6,3	2,5	10,4	3,8	0,26	2,7	2,1	0,11	3,6
Cu	0,98	2,8	0,69	2,1	0,06	4,7	0,63	5,2	1,63	0,99	
Ni	2,0	6,9	70,2	5,8	3,1	2,6	2,0	9,3	3,2	0,31	4,0
Pb	4,7	1,7	2,1	0,36	1,5	4,1	0,11	1,2	14,5	0,03	4,6
Zn	1,8	0,93	12,4	0,78	0,43	5,8	3,4	7,7	45,3	0,14	0,89

Tabelle 29: Vergleich zwischen Sickerwasser (Mittel der letzten 3 Termine) und den Ergebnissen der DIN-Verfahren: Eluierbarkeit mit Wasser mit Fest-/Flüssig-Verhältnis 1:10 (S4 1:10), Eluierbarkeit mit Wasser mit Fest-/Flüssig-Verhältnis 1:2 (S4 1:2) sowie Ammoniumnitratextrakt (ANE) und Bodensättigungsextrakt (BSE) jeweils bezogen auf die Sickerwassergehalte

Material / DIN-Verf.		Element										
		As	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn
BSG 1	Sickerwasserkonz. (µg/l)	0,85	0,20	0,39	10	10	16	11	0,46	3,2	0,40	383
	S4 1:10 / Sickerw.	3,3	3,9	26	1,0	1,7	0,82	1,0	43	1,1	3,0	0,29
	S4 1:2 / Sickerw.	6,6	1,9	39	1,2	14	1,2	4,0	19	2,2	1,6	0,44
	ANE / Sickerw.	4,8	19	47	3,1	23	1,4	2,9	39	1,4	<8,3	0,8
	BSE / Sickerw.	6,7	16	110	5,8	63	3,1	17	66	3,9	10	2,2
BSG 2	Sickerwasserkonz. (µg/l)	1,3	1,0	0,5	6,2	16	12	9,3	0,80	2,2	1,8	3227
	S4 1:10 / Sickerw	1,4	0,92	10	1,0	4,0	0,81	1,1	21	1,3	<0,68	0,29
	S4 1:2 / Sickerw.	2,7	1,9	17	1,1	17	1,2	2,2	31	5,4	<0,85	0,9
	ANE / Sickerw.	8,4	15	35	10	16	1,3	1,2	62	3,6	<5,3	2,1
	BSE / Sickerw.	3,2	10	43	3,8	49	2,6	5,5	98	7,2	<3,1	2,9
RM BS	Sickerwasserkonz. (µg/l)	0,60	0,19	9,1	144	101	50	46	1,2	0,18	2,1	9,4
	S4 1:10 / Sickerw.	0,87	3,5	0,8	0,25	0,06	0,40	1,0	1,4	0,54	<0,43	<1,1
	S4 1:2 / Sickerw.	<1,0	<1,0	0,32	0,66	0,58	0,8	0,5	2,4	<0,54	<1,4	2,1
	ANE / Sickerw.	16	89	1,2	1,1	14	1,0	1,4	6,2	30	<5,1	66
	BSE / Sickerw.	5,4	31	4,6	2,2	3,2	2,6	0,5	14	7,7	<4,3	1,9
HMVA	Sickerwasserkonz. (µg/l)	2,8	0,51	0,58	108	711	455	2,2	0,76	26	1,5	8,9
	S4 1:10 / Sickerw.	0,23	<1,3	<2,1	0,14	0,19	0,12	3,5	3,7	0,6	0,47	<1,1
	S4 1:2 / Sickerw.	0,15	<0,20	<0,60	0,15	0,6	0,38	<0,67	4,8	1,2	<1,0	2,2
	ANE / Sickerw.	98	634	<121	0,54	146	0,42	62	<131	5,8	<198	4040
	BSE / Sickerw.	5,0	23	14	2,9	3,1	2,2	22	163	1,1	10	31
Kehrg.	Sickerwasserkonz. (µg/l)	0,25	0,10	0,61	8,7	17	43	21	0,33	25	0,50	154
	S4 1:10 / Sickerw.	7,7	6,0	6,6	0,61	0,11	1,0	0,62	3,7	0,48	1,7	<0,06
	S4 1:2 / Sickerw.	18	3,2	14	0,53	20	2,3	2,5	1,8	2,3	<3,0	1,4
	ANE / Sickerw.	37	33	39	1,5	47	1,2	1,5	31	1,3	<11	2,5
	BSE / Sickerw.	26	32	31	2,7	60	2,8	7,1	55	1,7	<5,6	3,3
RM Bo	Sickerwasserkonz. (µg/l)	0,44	0,06	0,47	1,6	14	20	5,8	0,39	1,3	0,40	66
	S4 1:10 / Sickerw.	1,5	2,6	0,70	0,79	0,24	0,08	0,33	2,1	0,23	<0,75	<0,15
	S4 1:2 / Sickerw.	0,27	<0,62	<0,30	<0,61	0,40	0,47	<0,10	<0,52	0,68	<1,5	0,15
	ANE / Sickerw.	2,2	17	17	2,3	24	0,76	7,4	5,2	0,70	<3,0	3,6
	BSE / Sickerw.	2,3	6,5	9,1	8,6	1,8	2,4	4,6	14	1,0	1,6	0,57
Pochs.	Sickerwasserkonz. (µg/l)	0,24	0,07	0,26	2,6	2,7	9,1	1,9	0,59	2,1	0,85	63
	S4 1:10 / Sickerw.	1,1	7,7	3,2	0,42	<0,38	0,03	2,5	158	0,44	<0,70	<0,16
	S4 1:2 / Sickerw.	<0,49	2,8	<0,55	<0,39	<0,75	0,77	1,9	180	1,4	<0,70	0,16
	ANE / Sickerw.	24	209	55	<6,9	106	1,5	19	3350	2,1	<13	1,6
	BSE / Sickerw.	24	146	70	68	<22	2,7	46	5284	9,0	<20	1,0

Ergebnis des jeweiligen Verfahrens unter der Bestimmungsgrenze, deshalb Faktor kleiner

Tabelle 29 Fortsetzung: Vergleich zwischen Sickerwasser (Mittel der letzten 3 Termine) und den Ergebnissen der DIN-Verfahren: Eluierbarkeit mit Wasser mit Fest-/Flüssig-Verhältnis 1:10 (S4 1:10), Eluierbarkeit mit Wasser mit Fest-/Flüssig-Verhältnis 1:2 (S4 1:2) sowie Ammonium-nitratextrakt (ANE) und Bodensättigungsextrakt (BSE) jeweils bezogen auf die Sickerwassergehalte

Material / DIN-Verf.		Element										
		As	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Mo**	**Ni**	**Pb**	**Sb**	**Sn**	**Zn**
Auel.	Sickerwasserkonz. (µg/l)	0,44	0,15	0,27	2,4	6,0	16	6,0	0,68	2,9	0,40	145
	S4 1:10 / Sickerw.	5,2	4,7	4,0	0,41	3,5	1,1	0,74	2,5	1,1	<0,75	<0,07
	S4 1:2 / Sickerw.	5,0	4,3	1,9	<0,41	6,0	1,6	0,18	1,9	3,3	<1,5	0,07
	ANE / Sickerw.	11	117	29	<1,7	39	1,5	3,7	15	2,3	<6,0	0,41
	BSE / Sickerw.	4,4	14	16	6,2	24	2,2	2,9	40	2,2	<1,2	0,20
GRS	Sickerwasserkonz. (µg/l)	1,7	0,07	0,52	11	5,7	36	1,7	0,67	3,4	0,40	32
	S4 1:10 / Sickerw.	0,25	2,3	0,38	0,06	0,07	0,16	0,24	1,1	0,26	<0,75	<0,31
	S4 1:2 / Sickerw.	<0,07	<0,59	0,46	<0,09	<0,35	0,42	<0,34	0,70	0,91	<1,5	0,31
	ANE / Sickerw.	0,32	21	4,6	<0,19	16	0,80	8,0	2,4	0,26	<3,0	0,9
	BSE / Sickerw.	1,8	7,3	8,4	1	1,6	1,2	2,8	2,1	1,7	<1,4	0,15
BHG	Sickerwasserkonz. (µg/l)	5,6	0,69	2,4	5,0	10,0	12	3,4	3,5	2541	10	27
	S4 1:10 / Sickerw.	8,4	1,0	<0,12	<0,40	0,32	0,29	<0,30	58	0,06	<0,12	<0,37
	S4 1:2 / Sickerw.	29	<0,29	<0,15	<1,0	0,46	1,3	<0,76	58	0,24	<0,30	0,37
	ANE / Sickerw.	136	762	4,1	<200	100	63	69	26570	0,11	<59	278
	BSE / Sickerw.	20	67	12	163	11	2,0	36	4863	0,31	<9,9	57
Quarzs.	Sickerwasserkonz. (µg/l)	1,9	2,4	7,3	3,8	6,6	3,4	13	9,1	0,7	0,6	366
	S4 1:10 / Sickerw.	0,12	0,06	0,02	0,13	<0,15	0,06	0,03	0,19	0,26	<0,47	<0,03
	S4 1:2 / Sickerw.	<0,06	<0,02	<0,02	<0,26	0,30	<0,023	<0,05	0,15	0,08	<0,95	0,08
	ANE / Sickerw.	0,34	0,46	0,25	0,39	19	0,64	0,53	14	0,71	<1,4	2,4
	BSE / Sickerw.	0,17	0,17	0,27	1,4	0,47	0,19	0,30	0,8	2,7	<0,79	0,7
Alle	**Durchschnitt (unsichere Werte (<) wurden nicht berücksichtigt)**											
	S4 1:10 / Sickerw.	2,7	3,3	5,7	0,5	1,1	0,4	1,1	27	0,6		0,3
	S4 1:2 / Sickerw.	8,9	2,8	12	0,7	6,6	1,0	1,9	30	1,8		0,7
	ANE / Sickerw.	31	174	23	2,7	50	6,7	16,1	3010	4,4		400
	BSE / Sickerw.	9,1	32	29	24	22	2,2	13,1	964	3,5		9

Ergebnis des jeweiligen Verfahrens unter der Bestimmungsgrenze, deshalb Faktor kleiner

Tabelle 30a: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 38414-4 (Eluierbarkeit mit Wasser-S4) mit einem Fest-Flüssig-Verhältnis von 1:2 Elementkonzentrationen im Eluat

Element	**Best.-**	Material	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrgut	RM Bo	Pochsd.	Auel.	GRS	BHG	Quarzsd.	Waldb.Ae	Waldb. B	Sandb.	Lößb.
	Grenze	Einheit															
Al	0,01	**mg/l**	0,4	0,3	0,01	11,4	0,1	0,1	0,01	0,01	0,04	0,3	0,03	13,6	17,8	1,5	0,01
As	0,06	**µg/l**	5,6	3,6	<0,6	0,43	4,5	0,12	<0,12	2,2	<0,12	163	<0,12	12,0	0,19	<0,6	6,7
Ba	0,0001	**mg/l**	0,25	0,06	0,15	0,07	0,11	0,02	0,04	0,07	0,00	0,04	0,01	0,08	0,06	0,18	0,04
Be	0,1	**µg/l**	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	0,05	**mg/l**	96	70	716	70	175	45	95	72	2	14	1	35	9	172	138
Cd	0,02	**µg/l**	0,37	1,9	<0,2	<0,1	0,31	<0,04	0,20	0,62	<0,04	<0,2	<0,04	1,6	0,47	7,4	0,05
Co	0,07	**µg/l**	15,1	8,7	2,9	<0,35	8,4	<0,14	<0,14	0,53	0,24	<0,35	<0,14	4,1	3,1	31	2,7
Cr	0,5	**µg/l**	11,5	6,8	95	16	4,6	<1	<1	<1	<1	<5	<1	18	5,2	<5	1,1
Cu	1	**µg/l**	132	282	58	436	341	5,5	<2	36	<2	3,2	2	19	3,5	47	26
Fe	5	**µg/l**	458	586	<5	7,9	269	8,3	<5	13,4	24,5	<5	13,6	12730	11330	154	47
Hg	0,5	**µg/l**	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
K	0,1	**mg/l**	25	15	141	119	31	10	7,5	8,8	3,3	3,7	0,3	4,0	1,6	19	19
Mg	0,05	**mg/l**	7,4	3,9	0,05	0,05	24	4,4	20	1,8	0,32	0,69	0,07	18	6,6	18	6,2
Mn	0,5	**µg/l**	1360	2580	<5	<5	1550	17	90	180	<5	<5	12,3	2230	520	35610	730
Mo	0,04	**µg/l**	19,0	14,5	40	172	98	9,3	7,0	26	15	15	<0,08	1,5	<0,08	0,80	21
Na	0,1	**mg/l**	24	69	46	389	126	5,4	1,6	2,5	127	17	0,18	3,8	2,6	3,1	2,6
Ni	0,3	**µg/l**	44	20	25	<1,5	53	<0,6	3,5	1,1	<0,6	<3	<0,6	11	1,8	6,1	12,0
Pb	0,1	**µg/l**	8,9	25	2,9	3,7	0,6	<0,2	106	1,3	0,47	204	1,4	100	11,0	1,2	<0,2
Sb	0,01	**µg/l**	7,0	12,0	<0,1	32	57	0,91	3,1	9,3	3,1	608	0,05	4,4	0,51	2,6	3,3
Sn	0,3	**µg/l**	0,63	<1,5	<3	<1,5	<1,5	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<3	<0,6	<1,5	<0,6	<3	<0,6
Sr	0,005	**mg/l**	0,20	0,15	9,11	0,32	0,88	0,12	1,31	0,17	0,0002	0,03	0,0002	0,06	0,01	0,60	0,34
Ti	5	**µg/l**	17,8	13,9	14,7	<5	9,5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	110	50	10,0	6,7
Tl	0,03	**µg/l**	0,12	<0,15	<0,3	<0,15	<0,15	<0,06	0,09	0,07	<0,06	10	<0,06	<0,15	<0,06	<0,3	<0,06
U	0,01	**µg/l**	0,20	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	4,3	<0,02	1,2	2,8	<0,1	<0,02	0,05	0,18	0,42	0,32
V	0,5	**µg/l**	9,30	4,70	<5	19	<2,5	<1	<1	<1	<1	<5	<1	19	3,1	<5	12
Zn	0,01	**mg/l**	0,17	2,9	0,02	0,02	0,21	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,36	0,21	0,23	0,01
Zr	1	**µg/l**	5	6	<1	<1	6	<1	<1	<1	<1	<1	<1	87	116	110	17

Aufgrund zum Teil hoher Konzentrationen einzelner Elemente musten die Proben für die Analytik mit der ICP-MS zum Teil stark verdünnt werden. Hierdurch können Bestimmungsgrenzen zustande kommen, die über denen liegen, die in der zweiten Spalte angegeben sind.

Tabelle 30b: Ergebnisse der Untersuchung nach DIN 38414-4 (Eluierbarkeit mit Wasser-S4) mit einem Fest-Flüssig-Verhältnis von 1:2 eluierbare Feststoffanteile

Element	**Best.-**	Material	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrgut	RM Bo	Pochsd.	Auel.	GRS	BHG	Quarzsd.	Waldb.Ae	Waldb. B	Sandb.	Lößb.
	Grenze	Einheit															
Al	0,02	**mg/kg**	0,80	0,52	<0,02	23	0,11	0,19	<0,02	<0,02	0,08	0,50	0,05	27	36	2,9	<0,02
As	0,00012	**mg/kg**	0,01	0,01	<0,0012	0,001	0,01	0,0002	<0,00024	0,0044	<0,00024	0,33	<0,00024	0,02	0,0004	<0,0012	0,01
Ba	0,0002	**mg/kg**	0,50	0,13	0,30	0,13	0,23	0,05	0,07	0,14	0,00	0,08	0,01	0,16	0,12	0,36	0,07
Be	0,0002	**mg/kg**	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ca	0,1	**mg/kg**	191	140	1431	139	349	90	190	143	3,8	29	1,8	70	18	344	276
Cd	0,00004	**mg/kg**	0,001	0,004	<0,0004	<0,0002	0,001	<0,00008	0,0004	0,001	<0,00008	<0,0004	<0,00008	0,003	0,001	0,015	0,0001
Co	0,00014	**mg/kg**	0,030	0,017	0,006	<0,0007	0,017	<0,00028	<0,00028	0,001	0,0005	<0,0007	<0,00028	0,008	0,006	0,062	0,005
Cr	0,001	**mg/kg**	0,023	0,014	0,190	0,032	0,009	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,01	<0,002	0,036	0,010	<0,01	0,002
Cu	0,002	**mg/kg**	0,26	0,56	0,12	0,87	0,68	0,011	0,004	0,072	<0,004	0,006	0,004	0,038	0,007	0,094	0,052
Fe	0,01	**mg/kg**	0,92	1,2	<0,01	0,02	0,54	0,02	<0,01	0,03	0,05	<0,01	0,03	25	23	0,31	0,09
Hg	0,001	**mg/kg**															
K	0,2	**mg/kg**	49	30	282	239	62	20	15	18	6,6	7,5	0,5	8,0	3,3	39	39
Mg	0,1	**mg/kg**	15	7,7	<0,1	<0,1	48	8,7	39	3,6	0,6	1,4	0,13	35	13	37	12
Mn	0,001	**mg/kg**	2,7	5,2	<0,01	<0,01	3,1	0,03	0,18	0,36	<0,01	<0,01	0,02	4,5	1,0	71	1,5
Mo	0,00008	**mg/kg**	0,04	0,03	0,08	0,34	0,20	0,02	0,01	0,05	0,03	0,03	<0,00016	0,0030	<0,00016	0,0016	0,04
Na	0,2	**mg/kg**	48	138	92	779	251	11	3,2	4,9	254	34	0,36	7,5	5,3	6,2	5,1
Ni	0,0006	**mg/kg**	0,088	0,040	0,050	<0,003	0,106	<0,0012	0,007	0,002	<0,0012	<0,006	<0,0012	0,022	0,004	0,012	0,024
Pb	0,0002	**mg/kg**	0,018	0,050	0,006	0,007	0,001	<0,0004	0,212	0,003	0,001	0,408	0,003	0,200	0,022	0,002	<0,00004
Sb	0,00002	**mg/kg**	0,01	0,02	<0,0002	0,06	0,11	0,002	0,01	0,02	0,01	1,22	0,0001	0,01	0,001	0,01	0,01
Sn	0,0006	**mg/kg**	0,00	<0,003	<0,006	<0,003	<0,003	<0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,006	<0,0012	<0,003	<0,0012	<0,006	<0,0012
Sr	0,01	**mg/kg**	0,39	0,29	18,22	0,65	1,75	0,24	2,61	0,34	0,0004	0,05	0,0004	0,12	0,01	1,20	0,67
Ti	0,01	**mg/kg**	0,04	0,03	0,03	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,22	0,10	0,02	0,01
Tl	0,00006	**mg/kg**	0,0002	0,0003	<0,0006	<0,0003	<0,0003	<0,00012	0,0002	0,0001	<0,00012	0,02	0,0001	<0,0003	<0,00012	<0,0006	<0,00012
U	0,00002	**mg/kg**	0,0004	<0,0001	<0,0002	<0,0001	<0,0001	0,01	<0,00004	0,002	0,01	<0,0002	<0,00004	<0,0001	<0,00036	<0,00084	0,001
V	0,001	**mg/kg**	0,02	0,01	<0,01	0,04	<0,005	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,01	<0,002	0,04	0,01	<0,01	0,02
Zn	0,02	**mg/kg**	0,34	5,88	0,03	0,03	0,42	<0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,71	0,43	0,47	0,02
Zr	0,002	**mg/kg**	0,01	0,01	<0,002	<0,002	0,01	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,17	0,23	0,22	0,03
	Aufgrund zum Teil hoher Konzentrationen einzelner Elemente musten die Proben für die Analytik mit der ICP-MS zum Teil stark verdünnt werden. Hierdurch können Bestimmungsgrenzen zustande kommen, die über denen liegen, die in der zweiten Spalte angegeben sind.																

Tabelle 31: Vergleich der Ergebnisse der Analyse der EUF-Extrakte (Mittelwerte) mit den Sickerwasserkonzentrationen der Prüfelemente in der Gleichgewichtsphase (Mittelwerte Termin 8-10)

	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrg.	RM Bo	Pochs.	Auel.	GRS	BHG	Quarzs.
	Mittelwerte Anode/Sickerwasserkonzentrationen										
As	3,5	8,7	1,1	0,55	15	1,7	12	18	1,6	13	8,4
Cd	15	2,8	13	4,4	20	17	47	17	15	3,0	0,66
Co	2,9	1,8	0,09	0,55	2,1	<0,44	<6,85	1,2	0,62	<0,4	<0,04
Cr	1,7	2,4	0,16	0,25	2,4	4,6	12	3,5	1,4	3,5	2,3
Cu	12	4,9	0,18	0,08	5,2	0,85	<3,75	9,3	1,8	2,4	1,3
Mo	0,23	0,34	0,09	0,06	0,58	0,10	0,30	0,23	0,07	0,43	0,40
Ni	2,2	1,9	0,26	5,7	1,1	2,1	9,9	0,95	3,0	1,9	0,63
Pb	75	71	6,6	38	31	7,7	2750	160	23	235	12
Sb	0,66	1,3	4,7	1,2	1,3	0,57	1,6	2,7	0,10	0,03	154
Sn	12	2,0	0,97	3,0	5,7	3,3	<8,8	5,2	2,3	<0,41	2,2
Zn	1,7	0,19	52	54	2,7	4,5	5,0	1,4	3,9	24	0,59
	Mittelwerte Kathode/Sickerwasserkonzentrationen										
As	1,5	2,6	2,5	0,99	8,8	2,3	666	4,4	0,78	21	7,4
Cd	25	2,5	24	7,1	21	210	83	20	45	35	4,3
Co	4,1	1,8	0,10	0,93	1,7	1,4	<274	<2,15	0,82	15	<0,49
Cr	1,3	1,9	0,12	0,29	2,0	6,5	446	5,0	1,8	120	15
Cu	1,6	0,97	0,16	0,08	2,4	7,7	32	6,8	1,9	39	4,1
Mo	0,08	0,11	0,06	0,04	0,05	0,06	10	0,08	0,04	4,1	1,8
Ni	1,3	1,3	0,37	7,9	1,00	1,8	<160	1,1	6,7	8,8	<1,28
Pb	20	16	7,5	35	18	27	99627	643	273	10524	336
Sb	0,50	0,35	7,9	1,4	0,11	0,44	76	0,50	0,17	0,04	13
Sn	13	1,9	1,8	6,1	8,2	8,3	112	<27	5,3	4,8	<24
Zn	0,34	0,10	8,3	12	0,64	3,7	11	0,82	1,6	275	5,3
	Lagen die Mittelw erte der EUF-Analytik (oder dessen Eingangsw erte) unter der jew eiligen Bestimmungsgrenze, w urde der Quotient mit einem Kleinerzeichen versehen und grau hinterlegt										

Tabelle 32: Vergleich der Ergebnisse der Analyse der EUF-Extrakte von Anode und Kathode

	BSG 1	BSG 2	RM BS	HMVA	Kehrg.	RM Bo	Pochs.	Auel.	GRS	BHG	Quarzs.
	Quotient Anode/Kathode										
As	2,38	3,36	0,44	0,56	1,65	0,72	0,02	4,10	2,01	0,63	1,14
Cd	0,59	1,15	0,54	0,62	0,93	0,08	0,56	0,89	0,32	0,09	0,15
Co	0,71	0,98	0,92	0,59	1,25	0,33	0,03	0,54	0,75	0,03	0,08
Cr	1,30	1,29	1,38	0,87	1,20	0,70	0,03	0,70	0,79	0,03	0,15
Cu	7,27	5,09	1,13	1,05	2,20	0,11	0,12	1,37	0,96	0,06	0,33
Mo	2,95	3,13	1,57	1,43	11,75	1,85	0,03	2,68	1,62	0,10	0,23
Ni	1,69	1,49	0,71	0,71	1,08	1,18	0,06	0,89	0,44	0,22	0,49
Pb	3,77	4,49	0,88	1,06	1,77	0,29	0,03	0,25	0,09	0,02	0,03
Sb	1,31	3,71	0,59	0,84	11,18	1,30	0,02	5,35	0,57	0,77	11,95
Sn	0,90	1,06	0,53	0,49	0,69	0,39	0,08	0,19	0,43	0,09	0,09
Zn	4,94	2,02	6,21	4,44	4,24	1,22	0,46	1,72	2,38	0,09	0,11
Mittelw.:	2,53	2,52	1,35	1,15	3,45	0,74	0,15	1,70	0,94	0,19	1,76
	Lag der Mittelw ert (oder einer dessen Eingangsw erte) einer Elektrode unter der jew eiligen Bestimmungsgrenze, w urde der Quotient grau hinterlegt										

Tabelle 33: Ergebnisse der EUF-Analytik: Mittelwert (in µg/l) und prozentuelle Standardabweichung vom Mittelwert

	Bankettschälgut L598				**Bankettschälgut A30**				**RM Bauschutt**				**RM HMVA**			
	Anode		Kathode		Anode		Kathode		Anode		Kathode		Anode		Kathode	
Konz. in µg/l	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.
Al	472	16,3	202	24,4	442	19,3	194	6,1	4230	10,7	3160	8,2	13410	41,4	18730	21,2
As	2,9	27,6	1,2	16,9	4,4	16,9	1,3	7,7	0,68	27,4	1,5	**54,6**	1,6	**52,0**	2,8	6,2
Ba	14	18,9	189	13,7	12	9,4	49	9,7	29	15,8	86	3,7	34	3,4	139	12,5
Be	<5		<5		<5		<5		<5		<5		<5		<5	
Ca	2550	38,8	58630	13,5	2460	13,9	51930	8,0	84570	16,8	2,22 E6	6,0	54900	19,4	1,8 E6	9,8
Cd	2,9	21,0	4,9	44,3	2,9	11,2	2,5	**50,1**	2,4	21,1	4,5	**58,5**	2,3	18,4	3,6	**86,7**
Co	1,1	14,0	1,6	13,3	0,94	20,3	0,96	33,1	0,86	12,1	0,94	10,4	0,32	7,9	0,54	**51,8**
Cr	16	**51,3**	13	**58,2**	15	17,6	12	4,9	24	38,3	17	**54,2**	27	15,2	31	**101,5**
Cu	116	**70,9**	16	27,2	80	38,8	16	13,3	18	21,4	16	3,7	57	6,1	54	13,1
Fe	664	40,7	194	**55,2**	635	30,7	256	31,1	213	**72,2**	252	**89,6**	191	11,8	340	**55,1**
K	621	48,5	11370	4,2	685	25,4	11530	1,3	7290	17,6	25600	4,9	8650	24,8	39430	9,7
Mg	161	25,7	3210	9,0	178	9,1	1830	12,1	250	18,6	255	**51,7**	355	8,6	375	20,7
Mn	32	**55,8**	459	17,5	43	44,8	554	43,9	6,0	**58,9**	11	**72,4**	18	29,4	17	**78,0**
Mo	3,7	6,2	1,3	31,9	4,2	36,4	1,3	8,7	4,4	6,8	2,8	7,1	26	2,2	18	14,7
Na	827	29,2	6850	4,8	875	45,7	19270	2,6	3760	15,7	8230	4,8	29630	17,9	88030	6,5
Ni	24	25,0	14	30,0	16	22,4	11	21,3	12	**58,9**	17	44,4	13	44,2	18	**61,1**
Pb	35	**100,8**	9	40,3	55	**57,4**	12	9,4	7,8	46,4	8,9	30,6	29	29,3	27	40,1
Sb	2,1	**57,9**	1,6	**60,3**	2,8	44,1	0,76	14,4	0,86	24,9	1,5	28,4	31	**103,5**	37	11,8
Sn	4,6	38,1	5,1	9,0	3,6	7,3	3,4	24,1	2,0	47,8	3,8	10,9	4,6	**55,6**	9,3	16,8
Sr	9,3	**53,9**	170	11,4	16	**69,2**	176	34,7	499	15,9	1550	8,6	134	7,9	471	12,1
Ti	5,4		<5		5,1		<5		6,6		9,3		6,5		8,5	
Tl	<0,06		0,09		<0,06		0,07	8,7	<0,06		0,06		<0,06		<0,06	
U	0,21	29,0	0,03	21,7	0,23	27,0	0,02	24,7	0,10	11,9	0,03	**69,3**	0,10	10,0	0,06	16,7
V	25	45,1	1,9	28,5	30	37,1	2,6	27,6	10	5,9	4,4	26,0	8,1	16,5	6,0	5,1
Zn	434	**75,6**	88	46,7	514	35,8	254	36,0	372	19,9	60	16,4	361	34,2	81	41,0
Zr	<10		<10		<10		<10		<10		<10		<10		<10	
Mittelw.:		38,9		26,2		27,9		18,9		26,6		30,2		24,6		32,9

Lagen alle Einzelwerte unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze (aufgrund unterschiedlicher Verdünnungen kann diese variieren), wurde diese gemittelt, mit Kleinerzeichen versehen und grau hinterlegt.

Lagen nur ein oder zwei Einzelwerte unter der Bestimmungsgrenze, wurden diese Bestimmungsgrenzen zur Berechnung des Mittelwertes genutzt und die Werte ebenfalls grau hinterlegt.

Tabelle 33 Fortsetzung: Ergebnisse der EUF-Analytik: Mittelwert (in µg/l) und prozentuelle Standardabweichung vom Mittelwert

	Kehrgut				**RM Boden**				**Pochsand**				**Auelehm**			
	Anode		Kathode		Anode		Kathode		Anode		Kathode		Anode		Kathode	
Konz. in µg/l	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.
Al	641	42,0	481	45,0	137	24,6	390	**56,9**	45	9,7	85	10,5	484	6,7	193	10,0
As	3,6	8,6	2,2	2,7	0,72	27,5	1,0	16,9	2,9	20,8	162	40,8	7,9	**88,3**	1,9	38,1
Ba	11	18,2	71	4,9	9,3	44,6	42	8,6	24	42,0	1400		9,7	25,4	123	31,7
Be	<5		<5		<5		<5		<5		<5		<5		<5	
Ca	4890	15,2	86300	0,8	1030	3,0	77630	12,0	1110	10,6	31170	1,0	780	43,2	50330	10,5
Cd	1,9	34,5	2,0	49,8	1,1	13,2	14	**84,4**	3,4	37,6	6,0	21,4	2,5	39,5	2,8	**91,1**
Co	1,3	15,4	1,0	13,0	0,21		0,63	24,3	<1,75		<70		0,32	39,0	0,6	
Cr	21	**51,7**	17	**74,9**	8,0	**50,8**	11	26,4	31	4,9	1160	2,9	8,4	**68,9**	12	28,0
Cu	87	10,9	40	37,8	12	25,3	106	**147,2**	<10		85	36,5	56	19,9	41	**60,1**
Fe	618	8,8	364	23,0	186	2,7	510	**90,6**	104	30,8	427	47,5	369	37,1	167	30,6
K	1207	43,1	19570	5,2	421	28,5	5590	10,6	530	16,6	3750	3,7	549	**60,5**	16020	7,1
Mg	463	18,2	5610	7,1	100	13,5	2310	13,3	221	9,8	5640	3,4	59	23,0	830	13,1
Mn	48	11,6	127	21,7	4,4	15,2	66	12,4	121	33,5	2520	1,4	24	**73,0**	40	2,5
Mo	25	6,2	2,1	16,5	2,0	33,5	1,1	15,7	2,8	9,1	93	3,2	3,7	12,3	1,4	11,2
Na	3110	27,5	32730	5,3	489	**58,6**	2660	13,2	857	5,6	816	7,9	345	**60,4**	2103	23,0
Ni	23	47,6	21	21,8	12	**80,5**	10	10,6	18	**82,6**	<300		5,7	47,7	6,3	9,0
Pb	10	22,6	5,8	28,7	3,0	39,5	10	**63,6**	1620	22,0	58820	27,1	109	37,8	439	**59,8**
Sb	32	**72,2**	2,8	30,0	0,77	**85,8**	0,59	47,7	3,3	10,5	163	33,9	7,7	30,0	1,4	17,6
Sn	2,8	42,7	4,1	17,6	1,3	33,5	3,3	21,3	<7,5		96	**48,9**	2,1	24,8	15,0	**52,3**
Sr	22	14,8	475	2,5	2,8	6,2	207	10,7	19	22,3	1153	7,1	3,3	**55,0**	172,0	8,4
Ti	5,3	6,5	7,1		<5		8,0		<5		<5		<5		<5	
Tl	<0,06		<0,06		<0,06		<0,06		<0,75		<30		<0,06		<0,3	
U	0,17	17,3	0,08	**65,0**	0,35	35,4	0,18	**85,7**	<0,25		<10		0,47	16,6	0,15	
V	33	10,5	4,3	19,2	5,5	31,8	1,6	29,5	<5		<5		9,3	7,8	3,8	
Zn	340	25,2	80	10,0	192	17,7	158	**89,6**	212	45,3	462	33,0	141	28,8	82	24,0
Zr	<10		<10		<10		<10		<10		<10		<10		<10	
Mittelw.:		24,8		23,3		31,9		38,8		24,3		19,4		38,4		27,8

Lagen alle Einzelwerte unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze (aufgrund unterschiedlicher Verdünnungen kann diese variieren), wurde diese gemittelt, mit Kleinerzeichen versehen und grau hinterlegt.

Lagen nur ein oder zwei Einzelwerte unter der Bestimmungsgrenze, wurden diese Bestimmungsgrenzen zur Berechnung des Mittelwertes genutzt und die Werte ebenfalls grau hinterlegt.

Tabelle 33 Fortsetzung: Ergebnisse der EUF-Analytik: Mittelwert (in µg/l) und prozentuelle Standardabweichung vom Mittelwert

	Gießereirestsand				**Bleihüttengranulat**				**Quarzsand**			
	Anode		Kathode		Anode		Kathode		Anode		Kathode	
Konz. in µg/l	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.	Mittel-wert	Stabw. v. Mittelw.
Al	100	4,6	125	4,7	66	29,6	238	**104,8**	35	18,0	91	48,6
As	2,6	**77,5**	1,3	**60,4**	76,0	47,5	120,00	33,1	16,0	49,9	14,0	**82,5**
Ba	6,1	7,8	34	26,1	13	26,4	187	20,0	5,6	11,4	41	21,5
Be	<5		<5		<5		<5		<5		<5	
Ca	570	18,3	16470	20,7	690	7,4	11600	16,8	350	9,9	4030	20,8
Cd	1,0	17,3	3,1	**87,3**	2,1	**68,5**	24,0	22,0	1,6	37,5	10,0	**63,0**
Co	0,3	11,7	0,43	**79,0**	0,96		<35		0,29	39,6	<3,57	
Cr	15	33,5	19	**105,2**	17	12,0	602	3,3	8,7	20,7	57	**51,8**
Cu	11	12,2	11	0,0	13	22,9	214	21,4	8,8	21,3	27	47,3
Fe	149	15,3	206	38,6	452	**51,2**	3296	**110,6**	119	17,8	851	**109,8**
K	405	21,4	4460	16,6	497	24,1	1840	18,0	138	**63,5**	343	30,8
Mg	70	6,2	1740	18,7	67	11,1	473	32,6	39	26,6	173	12,1
Mn	5,4	45,5	22	**51,5**	31	48,4	303,0	**73,7**	5,1	25,0	55	**64,9**
Mo	2,6	8,1	1,6	**77,3**	5,0	16,3	48,0	8,4	1,4	27,1	6,1	**51,5**
Na	1460	22,6	49130	15,6	924	23,6	7260	18,2	395	11,6	591	8,9
Ni	5,2	44,2	12	**68,7**	6,6	9,9	30	3,3	8,1	**62,8**	17	**68,1**
Pb	16	41,0	183	**90,0**	830	30,9	37100	18,3	105	**55,1**	3050	**58,9**
Sb	0,3	19,3	0,6	**54,3**	58,00	**62,8**	75,00	6,7	100,0	**65,5**	8,4	**54,5**
Sn	0,9	9,0	2,1	39,3	4,2	16,1	48,0	**87,0**	1,4	21,1	<15,3	
Sr	4,9	**91,4**	66	21,7	7,4	43,5	109	31,5	1,7	24,2	19	31,2
Ti	<5		<5		<5		9,6		<5		<5	
Tl	<0,03		<0,09		<0,375		<15		<0,085		<1,53	
U	0,62	2,5	0,06	**57,7**	<0,125		<5		<0,03		<0,51	
V	4,6	4,6	0,66		<5		<5		1,6	47,1	<5	
Zn	89	27,4	37	33,1	397	32,7	4560	43,6	132	1,2	1182	**74,5**
Zr	<10		<10		<10		<10		<10		<10	
Mittelw.:		24,6		46,0		30,8		35,4		31,3		50,0

Lagen alle Einzelwerte unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze (aufgrund unterschiedlicher Verdünnungen kann diese variieren), wurde diese gemittelt, mit Kleinerzeichen versehen und grau hinterlegt.

Lagen nur ein oder zwei Einzelwerte unter der Bestimmungsgrenze, wurden diese Bestimmungsgrenzen zur Berechnung des Mittelwertes genutzt und die Werte ebenfalls grau hinterlegt.

Tabelle 34: Bestimmungsgrenzen (BG) der unterschiedlichen Analyseverfahren sowie Grenz-, Prüf- und Vorsorgewerte

	BG Sicker-wasser	TVO (2001)	LAWA (1998)	BBod SchV (1999)	Vorsorgewerte BBodSchV (1999)			LAGA (2004) Eluat				LAGA (2004) Feststoff					BG S4 1:2	BG S4 1:10	BG A.-Nitrat-Extrakt	BG Königs-wasser	BG Voll-Aufschl.
					Ton	Lehm	Sand	Z0	Z1.1	Z1.2	Z2	Z0 Sand	Z0 Lehm	Z0 Ton	Z1	Z2					
Einh.	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[mg/kg]			[µg/l]				[mg/kg]					[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
Elem.																					
Al	10	200															0,02	0,1	0,03	0,33	10
As	**0,06**	10	10	10	20	10	5	14	14	20	60	10	15	20	45	150	**0,0001**	**0,001**	**0,0002**	**0,002**	**0,06**
Ba	5	1000															0,01	0,05	0,01	0,17	5
Be	5																0,01	0,05	0,01	0,17	5
Ca	50																0,1	0,5	0,13	1,67	50
Cd	**0,02**	5	5	5	1,5	1	0,4	1,5	1,5	3	6	0,4	1	1,5	3	10	**0,00004**	**0,0002**	**0,0001**	**0,001**	**0,02**
Co	**0,07**			50													**0,0001**	**0,001**	**0,0002**	**0,002**	**0,07**
Cr	**0,5**	50	50	50	100	60	30	12,5	12,5	25	60	30	60	100	180	600	**0,001**	**0,01**	**0,001**	**0,02**	**0,5**
Cu	**1**	2000	20	50	60	40	20	20	20	60	100	20	40	60	120	400	**0,002**	**0,01**	**0,003**	**0,03**	**1**
Fe	5	200															0,01	0,05	0,01	0,17	5
Hg	**0,5**	1	1	1	1	0,5	0,1	<0,5	<0,5	1	2	0,1	0,5	1	1,5	5	**0,001**	**0,01**	**0,001**	**0,02**	**0,5**
K	100	12000															0,2	1	0,25	3,3	100
Mg	50	50000															0,1	0,5	0,13	1,7	50
Mn	**0,5**	50															**0,001**	**0,01**	**0,001**	**0,02**	**0,5**
Mo	**0,04**		25	50													**0,00008**	**0,0004**	**0,0001**	**0,001**	**0,04**
Na	100	2E+05															0,2	1	0,25	3,33	100
Ni	**0,3**	20	20	50	50	20	10	15	15	20	70	15	50	70	150	500	**0,0006**	**0,003**	**0,001**	**0,01**	**0,3**
Pb	**0,1**	25	10	25	100	70	40	40	40	80	200	40	70	100	210	700	**0,0002**	**0,001**	**0,0003**	**0,003**	**0,1**
Sb	**0,01**	5	5	10													**0,00002**	**0,0001**	**0,00003**	**0,0003**	**0,01**
Sn	**0,3**			40													**0,0006**	**0,003**	**0,001**	**0,01**	**0,3**
Sr	10																0,02	0,1	0,025	0,33	10
Ti	5																0,01	0,05	0,01	0,17	5
Tl	**0,03**		1														**0,00006**	**0,0003**	**0,0001**	**0,001**	**0,03**
U	**0,01**																**0,00002**	**0,0001**	**0,00003**	**0,0003**	**0,01**
V	**0,5**		20														**0,001**	**0,01**	**0,001**	**0,02**	**0,5**
Zn	5	5000	300	500	200	150	60	150	150	200	600	60	150	200	450	1500	0,01	0,05	0,013	0,17	5
Zr	1																0,002	0,01	0,003	0,03	1

Fett: Bestimmungsgrenzen der ICP-MS, normal ICP-OES

TVO: Trinkwasserverordnung, LAWA/LAGA: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser/Abfall

Tabelle 35: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 12.8.2002 (Termin 1)

	Material		Bankettschälgut L598									Bankettschälgut A30								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03
As	**0,06**	µg/l	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,3	0,6	0,4	0,2	0,5	0,4	0,4	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3
Ba	**0,01**	mg/l	0,39	0,29	0,22	0,26	0,24	0,35	0,16	0,31	0,18	0,14	0,14	0,14	0,11	0,17	0,21	0,16	0,15	0,066
Be	**0,1**	µg/l	0,16	0,14	0,13	0,14	0,13	0,16	0,33	0,14	0,10	0,30	0,29	0,30	0,27	0,30	0,11	0,29	0,29	0,12
Ca	**0,05**	mg/l	125	97	64	75	61	100	33	82	51	27	32	29	21	31	50	29	29	12
Cd	**0,02**	µg/l	0,13	0,11	0,63	0,53	0,56	0,57	0,16	0,90	0,53	0,58	0,66	0,55	0,68	0,67	0,87	0,86	0,57	0,46
Co	**0,07**	µg/l	1,2	1,0	0,8	0,6	1,0	1,6	1,3	2,2	1,0	0,5	0,3	0,3	0,2	0,6	0,7	0,7	0,5	0,2
Cr	**0,5**	µg/l	1,2	1,7	1,0	1,0	0,9	1,1	0,5	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8	0,6	0,6
Cu	**1**	µg/l	6,0	4,8	3,1	4,6	2,5	2,9	1,8	3,6	2,2	6,3	4,0	4,0	4,0	6,9	9,1	7,2	10	2,9
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	23	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	4,7	<0,5	5,3	<0,5	3,8	<0,5	<0,5	7,4	<0,5
K	**0,1**	mg/l	30	21	12	14	11	28	8,3	22	6,1	4,5	5,4	4,9	3,3	4,9	9,2	5,1	6,0	1,4
Mg	**0,05**	mg/l	12	9,7	6,2	7,8	6,3	13	3,7	10	4,9	1,9	2,6	2,3	1,9	2,3	3,9	2,2	2,2	1,1
Mn	**5**	µg/l	110	82	105	75	110	220	230	410	110	79	42	49	43	93	120	105	190	43
Mo	**0,04**	µg/l	2,1	1,6	0,9	1,0	0,6	1,1	0,4	1,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	0,5	0,1
Na	**0,1**	mg/l	58	39	22	28	20	33	8,1	23	11	36	34	33	13	38	6,3	42	48	1,9
Ni	**0,3**	µg/l	6,8	8,9	7,8	4,6	9,8	7,7	8,7	9,8	6,3	6,5	6,6	5,1	6,1	7,3	7,6	8,4	6,6	4,0
Pb	**0,1**	µg/l	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,3	1,4	1,7	5,1	1,2	1,7	0,7	0,5	1,0
Sb	**0,01**	µg/l	0,64	0,46	0,36	0,68	0,59	1,1	0,33	1,0	0,31	0,35	0,52	0,47	0,35	0,37	0,61	0,44	1,0	0,21
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	2,1	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	<0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,33	0,25	0,17	0,20	0,16	0,25	0,096	0,21	0,13	0,085	0,092	0,088	0,071	0,093	0,14	0,087	0,086	0,041
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,13	0,07	0,08	0,06	0,08	0,13	0,10	0,15	0,07	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	0,08	0,06	0,06	0,04
U	**0,01**	µg/l	2,9	2,7	1,6	1,6	0,88	1,5	0,60	1,7	0,82	0,05	0,01	0,03	0,01	0,03	0,09	0,10	0,21	<0.01
V	**0,5**	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zn	**0,005**	mg/l	2,2	1,3	2,4	0,87	3,5	2,2	2,8	2,8	2,6	1,2	0,83	0,74	0,99	1,3	1,8	1,6	0,96	0,92
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 35 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 12.8.2002 (Termin 1)

	Material		Bauschutt									Hausmüllverbrennungsasche								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,1	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	7,1	0,24	0,26	0,29	0,20	6,0	10	0,32	0,29
As	**0,06**	µg/l	1,7	1,4	1,4	1,4	1,1	0,8	0,7	1,4	1,5	2,8	2,0	2,7	2,7	2,8	3,5	3,6	2,9	2,6
Ba	**0,01**	mg/l	0,096	0,18	0,19	0,15	0,22	0,19	0,15	0,21	0,22	0,054	0,090	0,049	0,034	0,075	0,065	0,045	0,060	0,071
Be	**0,1**	µg/l	0,14	0,49	0,51	0,42	0,37	0,35	0,44	0,33	0,32	0,13	0,15	0,12	0,28	0,12	0,14	0,11	0,12	0,16
Ca	**0,05**	mg/l	140	320	380	270	<0,05	480	330	410	400	92	110	76	38	72	95	74	54	97
Cd	**0,02**	µg/l	0,11	0,17	0,15	0,10	0,16	0,17	0,12	0,12	0,16	0,72	0,60	0,77	0,80	0,75	0,81	0,82	0,79	0,64
Co	**0,07**	µg/l	20	22	25	18	20	9,3	7,8	19	22	1,0	1,0	0,7	0,7	0,9	1,1	1,1	0,8	1,0
Cr	**0,5**	µg/l	220	260	240	190	170	110	160	240	280	12	7,5	11	15	16	9,9	18	13	12
Cu	**1**	µg/l	305	290	390	310	320	110	130	300	335	1880	1480	1420	1290	1220	1810	1750	1180	1470
Fe	**5**	µg/l	35	19	16	7,1	7,3	<5	<5	8,1	5,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	0,74	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,1	<0,5	<0,5	1,3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	740	640	830	770	830	400	430	720	800	490	625	590	425	480	520	440	420	650
Mg	**0,05**	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	42	<5	<5	<5	<5	<5	11	16
Mo	**0,04**	µg/l	100	100	110	105	105	66	72	99	110	870	920	880	770	720	830	820	780	890
Na	**0,1**	mg/l	250	250	300	260	270	105	120	250	290	1700	2200	2100	1500	1700	1800	1500	1500	2400
Ni	**0,3**	µg/l	68	66	80	66	65	27	27	59	65	12	8,0	7,5	7,0	8,4	16	10	12	8,0
Pb	**0,1**	µg/l	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2
Sb	**0,01**	µg/l	0,11	0,11	0,09	0,08	0,08	0,05	0,07	0,11	0,11	3,3	2,7	3,0	4,5	4,1	3,8	4,7	5,2	2,9
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6
Sr	**0,01**	mg/l	8,6	9,9	12	11	12	10	9,4	11	11	0,41	0,52	0,46	0,26	0,36	0,46	0,34	0,28	0,56
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	6,8	6,5	<5	6,0	5,7	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5,4
Tl	**0,03**	µg/l	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03
U	**0,01**	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,12	0,071	0,11	0,15	<0.01	<0.01	0,25	0,14
V	**0,5**	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zn	**0,005**	mg/l	<0,005	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	<0,005	<0,005	0,01	0,00	0,01	<0,005	0,01
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 35 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 12.8.2002 (Termin 1)

	Material		Kehrgut									Referenzmaterial Boden								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,04	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	k. Pr.	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
As	**0,06**	µg/l	1,1	1,5	1,5	1,6	1,0	1,8	3,2	3,0	2,7	1,5	1,4	k. Pr.	1,6	1,6	1,4	0,8	1,3	0,9
Ba	**0,01**	mg/l	0,31	0,34	0,34	0,46	0,34	0,26	0,28	0,17	0,26	0,16	0,17	k. Pr.	0,16	0,24	0,17	0,16	0,17	0,17
Be	**0,1**	µg/l	0,23	0,31	0,30	0,28	0,20	0,23	0,27	0,18	0,23	0,27	0,26	k. Pr.	0,55	0,46	0,28	0,24	0,25	0,22
Ca	**0,05**	mg/l	140	195	200	180	89	120	140	86	130	175	180	k. Pr.	270	450	220	150	190	120
Cd	**0,02**	µg/l	1,3	0,62	1,3	0,38	0,44	0,05	0,18	0,08	0,23	0,60	0,67	k. Pr.	0,58	0,30	0,65	0,65	0,66	0,63
Co	**0,07**	µg/l	0,9	2,5	3,5	5,3	0,6	16	18	20	15	10	11	k. Pr.	13	14	14	10	14	4,9
Cr	**0,5**	µg/l	2,5	3,2	3,5	3,9	2,0	3,0	5,4	4,7	5,1	1,2	0,8	k. Pr.	0,9	1,6	0,9	0,8	0,8	0,8
Cu	**1**	µg/l	3,2	4,4	2,2	<1	4,3	2,9	5,3	9,8	3,0	<1	<1	k. Pr.	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	87	360	310	84	42	18	k. Pr.	32	31	48	<5	18	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	15	26	27	29	17	52	59	71	51	37	38	k. Pr.	40	62	37	33	38	30
Mg	**0,05**	mg/l	30	53	60	56	29	61	72	92	61	25	24	k. Pr.	41	67	32	20	25	16
Mn	**5**	µg/l	240	410	820	1100	390	120	380	34	440	730	670	k. Pr.	690	830	820	550	990	330
Mo	**0,04**	µg/l	3,6	6,8	6,3	7,5	2,6	5,4	9,4	10	8,0	8,7	8,2	k. Pr.	10	7,7	7,0	4,9	6,6	4,5
Na	**0,1**	mg/l	175	250	280	310	160	410	470	520	420	27	31	k. Pr.	29	27	29	26	31	22
Ni	**0,3**	µg/l	9,5	13	15	15	7,7	19	20	34	19	7,7	7	k. Pr.	8,9	12	8,0	5,2	7,8	4,3
Pb	**0,1**	µg/l	1,4	1,0	0,7	0,9	0,5	0,1	1,3	0,2	0,6	0,6	1,1	k. Pr.	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	1,3
Sb	**0,01**	µg/l	4,3	11	8,8	6,4	3,0	1,2	1,3	0,98	1,3	0,78	0,80	k. Pr.	0,92	0,91	0,73	0,65	0,73	0,67
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	2,0	0,8	1,9	0,8	0,6	0,5	k. Pr.	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,67	1,0	1,1	0,99	0,47	1,0	1,2	1,2	1,1	0,49	0,51	k. Pr.	0,81	1,5	0,64	0,41	0,53	0,34
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	5,8	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,14	0,15	0,12	0,17	0,18	0,10	0,25	0,20	0,23	0,17	0,13	k. Pr.	0,14	0,19	0,16	0,16	0,15	0,15
U	**0,01**	µg/l	2,2	2,2	1,9	2,2	1,3	1,3	1,8	1,3	1,6	10	9,2	k. Pr.	15	13	13	4,6	7,5	3,5
V	**0,5**	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	k. Pr.	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zn	**0,005**	mg/l	1,2	2,2	0,40	1,8	0,34	<0,005	0,07	0,01	0,06	0,51	0,40	k. Pr.	0,63	0,93	0,78	0,55	0,17	0,36
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	1,7	2,4	4,9	1,1	<1	<1	k. Pr.	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 35 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 12.8.2002 (Termin 1)

	Material		Pochsand									Auelehm								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
As	**0,06**	µg/l	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ba	**0,01**	mg/l	0,12	0,094	0,12	0,094	0,11	0,13	0,097	0,11	0,098	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Be	**0,1**	µg/l	0,34	0,34	0,38	0,36	0,35	0,35	0,33	0,36	0,37	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ca	**0,05**	mg/l	29	30	29	27	29	31	27	30	28	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cd	**0,02**	µg/l	0,21	0,26	0,20	0,18	0,17	0,22	0,18	0,20	0,16	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Co	**0,07**	µg/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cr	**0,5**	µg/l	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cu	**1**	µg/l	<1	2,1	1,2	2,3	1,3	<1	<1	1,3	2,1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
K	**0,1**	mg/l	1,7	1,7	1,5	1,4	1,6	1,4	1,7	1,7	1,4	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mg	**0,05**	mg/l	9,4	9,4	9,1	8,8	9,1	9,5	9,2	10	9,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	10	<5	14	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mo	**0,04**	µg/l	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Na	**0,1**	mg/l	0,62	0,51	0,51	0,48	0,62	0,66	0,50	0,59	0,53	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ni	**0,3**	µg/l	1,3	1,3	1,6	1,0	1,0	1,7	1,1	1,5	1,1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Pb	**0,1**	µg/l	2,0	1,7	3,0	2,6	2,4	1,0	1,1	1,1	2,6	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sb	**0,01**	µg/l	0,78	1,2	0,81	1,0	0,99	0,83	0,85	0,76	0,97	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sn	**0,3**	µg/l	0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sr	**0,01**	mg/l	0,45	0,47	0,47	0,38	0,46	0,42	0,40	0,39	0,37	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Tl	**0,03**	µg/l	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
U	**0,01**	µg/l	0,08	0,14	0,08	0,07	0,13	0,10	0,07	0,06	0,10	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
V	**0,5**	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Zn	**0,005**	mg/l	0,36	0,19	0,27	0,13	0,17	0,20	0,03	0,12	0,12	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 35 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 12.8.2002 (Termin 1)

	Material		Gießereirestsand									Bleihüttengranulat								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
As	**0,06**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ba	**0,01**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Be	**0,1**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ca	**0,05**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cd	**0,02**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Co	**0,07**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cr	**0,5**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cu	**1**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Fe	**5**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Hg	**0,5**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
K	**0,1**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mg	**0,05**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mn	**5**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mo	**0,04**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Na	**0,1**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ni	**0,3**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Pb	**0,1**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sb	**0,01**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sn	**0,3**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sr	**0,01**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ti	**5**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Tl	**0,03**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
U	**0,01**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
V	**0,5**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Zn	**0,005**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Zr	**1**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 35 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 12.8.2002 (Termin 1)

	Material		Quarzsand								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		91	92	93	94	95	96	97	98	99
Elem.	Best.-Gr.	Einh.									
Al	**0,01**	mg/l	0,04	0,03	0,04	0,03	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,04	0,05
As	**0,06**	µg/l	0,2	0,2	0,2	0,1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,1	0,2
Ba	**0,01**	mg/l	0,051	0,059	0,046	0,068	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,052	0,043
Be	**0,1**	µg/l	0,17	0,18	0,10	0,16	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,16	0,1
Ca	**0,05**	mg/l	5,7	8,1	5,9	9,8	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	5,9	6
Cd	**0,02**	µg/l	0,43	0,5	0,46	0,61	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,47	0,31
Co	**0,07**	µg/l	0,2	0,2	0,3	0,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,6	0,4
Cr	**0,5**	µg/l	0,5	0,5	0,5	0,5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,5	0,6
Cu	**1**	µg/l	1,3	3,2	2,8	1,4	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2,8	2,3
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<5	6,8
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	1,0	<0,5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	1,5	1,3	1,1	2,2	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1,3	1,2
Mg	**0,05**	mg/l	0,43	0,68	0,45	0,89	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,5	0,59
Mn	**5**	µg/l	58	31	49	120	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	54	26
Mo	**0,04**	µg/l	0,1	0,1	0,1	0,1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,3	0,2
Na	**0,1**	mg/l	0,23	0,28	0,21	0,26	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,58	0,32
Ni	**0,3**	µg/l	2,6	3,6	4,4	5,0	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	5	3,7
Pb	**0,1**	µg/l	1,2	0,9	0,9	1,2	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,9	1
Sb	**0,01**	µg/l	0,09	0,12	0,10	0,10	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,1	0,16
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,027	0,031	0,028	0,041	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,028	0,022
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,04	0,05	0,06	0,08	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,06	0,04
U	**0,01**	µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<0.01	<0.01
V	**0,5**	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<0.5	<0.5
Zn	**0,005**	mg/l	0,21	1,2	1,1	1,5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1,5	0,71
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<1	<1

Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von denen in der 2. Spalte abweichen

Tabelle 36: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 30.9.2002 (Termin 2)

	Material		Bankettschälgut L598									Bankettschälgut A30								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	k. Pr.	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
As	**0,06**	µg/l	1,7	1,5	1,8	1,5	1,5	k. Pr.	1,4	1,5	1,1	1,4	1,2	1,5	0,98	0,79	1,8	0,96	1,0	0,53
Ba	**0,01**	mg/l	0,74	0,70	0,83	0,90	1,0	k. Pr.	0,74	0,91	0,75	0,32	0,33	0,31	0,37	0,41	0,34	0,37	0,33	0,19
Be	**0,1**	µg/l	0,16	0,15	0,19	0,19	0,24	k. Pr.	0,17	0,24	0,19	<0,1	0,11	0,13	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,18
Ca	**0,05**	mg/l	234	226	275	277	293	k. Pr.	202	269	220	121	139	141	96	130	153	105	107	35
Cd	**0,02**	µg/l	0,70	0,60	1,1	0,56	1,1	k. Pr.	0,75	0,62	0,88	1,6	1,1	1,4	1,6	1,4	1,6	1,5	1,3	1,3
Co	**0,07**	µg/l	3,8	2,6	3,2	2,8	3,1	k. Pr.	5,4	5,5	2,5	1,7	1,3	1,0	0,95	1,5	2,7	1,3	2,0	0,63
Cr	**0,5**	µg/l	7,5	3,1	2,7	2,7	2,6	k. Pr.	2,4	2,3	2,5	2,5	2,3	2,3	2,1	2,0	3,3	2,5	2,7	2,5
Cu	**1**	µg/l	18	13	12	7,6	6,5	k. Pr.	6,5	7,2	7,9	29	21	26	14	25	28	27	33	6,7
Fe	**5**	µg/l	8	<5	8	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	6	11	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	k. Pr.	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
K	**0,1**	mg/l	71	66	70	68	70	k. Pr.	65	84	42	28	30	32	19	25	32	25	26	7,6
Mg	**0,05**	mg/l	24	23	29	30	34	k. Pr.	26	35	23	8,1	9,1	9,5	6,8	8,9	11,0	7,4	7,7	2,9
Mn	**5**	µg/l	110	78	98	90	105	k. Pr.	580	570	150	78	140	110	200	140	180	120	290	115
Mo	**0,04**	µg/l	25	20	22	26	22	k. Pr.	18	23	16	12	15	14	13	14	18	10	13	1,06
Na	**0,1**	mg/l	130	110	130	130	125	k. Pr.	70	93	77	270	280	295	150	220	280	220	220	470
Ni	**0,3**	µg/l	25	22	22	21	22	k. Pr.	12	11	21	14	11	11	15	11	15	14	13	11
Pb	**0,1**	µg/l	3,5	2,0	1,8	2,2	6,0	k. Pr.	3,2	2,4	2,0	2,1	2,3	2,0	2,1	2,0	4,0	2,3	2,2	1,7
Sb	**0,01**	µg/l	4,0	1,3	1,4	3,0	3,2	k. Pr.	2,1	3,5	0,97	1,8	2,0	2,2	1,1	1,4	2,0	1,9	4,2	0,76
Sn	**0,3**	µg/l	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	k. Pr.	0,4	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4
Sr	**0,01**	mg/l	0,65	0,63	0,75	0,77	0,84	k. Pr.	0,56	0,74	0,62	0,35	0,39	0,41	0,30	0,39	0,43	0,31	0,31	0,13
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,34	0,28	0,29	0,25	0,39	k. Pr.	0,45	0,44	0,30	0,27	0,23	0,21	0,24	0,27	0,27	0,26	0,23	0,14
U	**0,01**	µg/l	11	10	12	9,2	7,6	k. Pr.	7,4	9,8	6,6	1,0	0,65	0,98	0,16	0,67	1,3	1,6	2,7	0,03
V	**0,5**	µg/l	5,8	4,5	5,4	4,9	4,5	k. Pr.	3,8	3,8	4,1	2,8	3,1	3,2	2,2	2,3	5,0	3,2	3,8	1,7
Zn	**0,005**	mg/l	1,1	0,66	1,3	0,46	2,0	k. Pr.	2,5	2,0	2,2	1,6	1,2	1,1	1,4	1,6	1,9	1,6	0,85	1,3
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 36 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 30.9.2002 (Termin 2)

	Material		Bauschutt									Hausmüllverbrennungsasche								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,14	0,15	0,06	0,01	<0.01	<0.01	<0.01	k. Pr.	k. Pr.	5,8	0,13	0,18	0,36	0,16	0,19	1,1	0,20	k. Pr.
As	**0,06**	µg/l	2,8	2,9	2,8	2,8	2,9	1,5	1,3	k. Pr.	k. Pr.	7,5	7,2	7,9	6,8	6,8	8,2	6,8	7,1	k. Pr.
Ba	**0,01**	mg/l	0,080	0,077	0,15	0,11	0,20	0,16	0,10	k. Pr.	k. Pr.	0,013	0,19	0,12	0,070	0,13	0,064	0,011	0,11	k. Pr.
Be	**0,1**	µg/l	0,17	<0,1	0,30	<0,1	0,34	0,12	0,21	k. Pr.	k. Pr.	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	k. Pr.
Ca	**0,05**	mg/l	38	81	247	47	275	160	225	k. Pr.	k. Pr.	19	115	92	48	85	54	9,1	73	k. Pr.
Cd	**0,02**	µg/l	0,69	0,64	0,57	0,78	0,77	0,62	0,77	k. Pr.	k. Pr.	2,1	2,4	2,2	1,7	1,7	1,9	2,3	1,9	k. Pr.
Co	**0,07**	µg/l	37	35	42	30	33	21	12	k. Pr.	k. Pr.	0,98	3,70	1,70	1,0	1,9	0,93	0,94	1,9	k. Pr.
Cr	**0,5**	µg/l	370	290	420	280	350	180	140	k. Pr.	k. Pr.	93	5,9	14	14	6,3	6,0	58	17	k. Pr.
Cu	**1**	µg/l	430	275	500	395	430	200	140	k. Pr.	k. Pr.	2200	1090	1250	1070	660	1160	2070	635	k. Pr.
Fe	**5**	µg/l	60	29	39	9	12	5	<5	k. Pr.	k. Pr.	6	10	<5	6	11	<5	<5	22	k. Pr.
Hg	**0,5**	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	k. Pr.	k. Pr.	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	k. Pr.
K	**0,1**	mg/l	930	900	1160	900	1020	525	470	k. Pr.	k. Pr.	510	700	670	440	560	545	450	470	k. Pr.
Mg	**0,05**	mg/l	<0.05	0,072	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	k. Pr.	k. Pr.	<0.05	0,05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	k. Pr.
Mn	**5**	µg/l	<5	9,5	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	<5	270	74	10	91	19	<5	190	k. Pr.
Mo	**0,04**	µg/l	115	110	140	110	130	74	74	k. Pr.	k. Pr.	1100	1190	1160	980	1080	1060	980	970	k. Pr.
Na	**0,1**	mg/l	420	440	560	440	490	205	180	k. Pr.	k. Pr.	2780	4090	3760	2410	3200	3010	2460	2690	k. Pr.
Ni	**0,3**	µg/l	120	100	150	100	100	60	39	k. Pr.	k. Pr.	19	14	12	11	12	21	18	11	k. Pr.
Pb	**0,1**	µg/l	1,1	1,7	1,4	1,3	3,4	1,3	2,8	k. Pr.	k. Pr.	1,4	2,6	2,0	1,6	1,7	1,7	1,5	1,6	k. Pr.
Sb	**0,01**	µg/l	0,41	0,60	0,48	0,49	0,51	0,46	0,41	k. Pr.	k. Pr.	11	8,7	11	11	7,9	11	11	6,2	k. Pr.
Sn	**0,3**	µg/l	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	k. Pr.	k. Pr.	2,1	2,7	3,0	1,6	2,2	2,0	1,8	2,1	k. Pr.
Sr	**0,01**	mg/l	9,0	6,2	15	12	17	15	11	k. Pr.	k. Pr.	0,26	0,71	0,65	0,34	0,54	0,41	0,23	0,44	k. Pr.
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	<5	7,6	<5	<5	8,1	<5	<5	<5	k. Pr.
Tl	**0,03**	µg/l	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	k. Pr.	k. Pr.	0,18	0,25	0,24	0,18	0,16	0,16	0,21	0,17	k. Pr.
U	**0,01**	µg/l	0,04	0,23	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	k. Pr.	k. Pr.	0,32	1,8	1,4	1,5	1,4	1,5	0,04	1,4	k. Pr.
V	**0,5**	µg/l	15	19	8,5	3,1	3,4	1,8	3,3	k. Pr.	k. Pr.	84	43	59	68	56	68	90	59	k. Pr.
Zn	**0,005**	mg/l	<0.005	0,012	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	k. Pr.	k. Pr.	<0.005	0,084	0,006	0,012	0,006	<0.005	<0.005	<0.005	k. Pr.
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	k. Pr.	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 36 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 30.9.2002 (Termin 2)

	Material		Kehrgut									Referenzmaterial Boden								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
As	**0,06**	µg/l	4,5	4,4	4,1	2,8	3,1	3,4	6,7	7,7	5,7	4,3	4,0	2,3	3,4	3,7	3,3	2,4	2,4	1,5
Ba	**0,01**	mg/l	0,31	0,42	0,30	0,32	0,45	0,29	0,12	0,14	0,19	0,15	0,15	0,17	0,21	0,28	0,20	0,17	0,17	0,20
Be	**0,1**	µg/l	0,27	0,31	0,29	0,20	0,24	0,22	0,28	0,11	0,17	0,21	0,21	0,17	0,55	0,62	0,52	0,25	0,42	0,20
Ca	**0,05**	mg/l	255	347	344	187	243	181	33	63	90	214	220	172	486	527	411	220	255	150
Cd	**0,02**	µg/l	0,83	2,1	2,6	0,69	0,81	0,75	0,59	0,59	0,66	1,6	1,5	1,2	1,7	1,4	1,5	0,77	0,93	1,2
Co	**0,07**	µg/l	2,9	5,10	3,5	7,70	14	13	12	17	13	13	14	11	17	20	18	19	18	16
Cr	**0,5**	µg/l	2,4	2,7	2,4	1,5	1,8	1,7	2,4	3,3	2,5	2,0	1,9	1,7	2,5	1,9	1,8	1,8	1,8	1,6
Cu	**1**	µg/l	3,3	6,7	4,7	5,4	3,5	8,7	11	16	7,2	1,1	1,5	3,0	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	5	<5	<5	38	63	110	14	52	23	<5	13	36	43	22	53	6
Hg	**0,5**	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
K	**0,1**	mg/l	38	48	46	42	38	54	74	78	63	42	43	35	55	71	50	37	42	32
Mg	**0,05**	mg/l	81	95	100	86	77	82	90	96	81	32	33	24	75	77	65	33	37	20
Mn	**5**	µg/l	270	520	610	200	1580	180	<5	<5	8,5	730	590	590	870	1100	1020	860	1020	740
Mo	**0,04**	µg/l	33	42	38	33	27	26	15	25	21	40	35	25	34	32	33	29	32	17
Na	**0,1**	mg/l	590	600	615	580	490	610	800	750	720	32	35	29	43	38	44	36	40	28
Ni	**0,3**	µg/l	18	25	21	19	19	18	28	34	23	25	23	18	27	31	23	17	19	14
Pb	**0,1**	µg/l	1,7	2,5	3,1	4,9	2,2	2,1	1,9	2,1	3,7	2,3	2,9	2,7	2,2	2,2	1,5	2,2	2,0	1,9
Sb	**0,01**	µg/l	6,3	15	11	11	8,5	3,6	2,6	2,2	2,6	1,8	1,7	0,82	1,4	1,3	1,3	1,0	1,1	0,69
Sn	**0,3**	µg/l	0,4	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4
Sr	**0,01**	mg/l	0,18	2,0	2,0	1,5	1,4	1,5	1,0	1,3	1,4	0,69	0,72	0,54	1,7	1,9	1,4	0,71	0,82	0,47
Ti	**5**	µg/l	<5	7,1	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,20	0,26	0,21	0,28	0,36	0,34	0,40	0,45	0,32	0,31	0,27	0,22	0,32	0,42	0,31	0,25	0,24	0,26
U	**0,01**	µg/l	4,8	7,1	6,2	6,1	7,3	5,6	3,3	4,1	2,9	40	43	13	43	41	42	25	33	4,9
V	**0,5**	µg/l	36	39	38	5,1	5,3	5,3	9,4	11	10	5,3	3,9	2,2	4,6	5,0	4,2	1,5	1,5	1,1
Zn	**0,005**	mg/l	0,19	0,15	0,45	0,10	0,39	0,011	<0.005	<0.005	0,005	0,34	0,26	0,30	0,61	1,1	0,75	0,55	0,16	0,52
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2,6	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 36 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 30.9.2002 (Termin 2)

	Material		Pochsand									Auelehm								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	k. Pr.	<0.01	<0.01	k. Pr.	k. Pr.	<0.01	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
As	**0,06**	µg/l	0,67	0,96	0,60	0,75	0,60	0,53	0,59	0,55	0,62	k. Pr.	0,67	0,62	k. Pr.	k. Pr.	0,53	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ba	**0,01**	mg/l	0,19	0,16	0,19	0,15	0,16	0,16	0,11	0,13	0,12	k. Pr.	0,075	0,16	k. Pr.	k. Pr.	0,058	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Be	**0,1**	µg/l	0,13	0,14	0,14	0,28	0,29	0,28	0,26	0,26	0,25	k. Pr.	0,14	0,14	k. Pr.	k. Pr.	<0,1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ca	**0,05**	mg/l	58	56	52	41	41	36	29	33	31	k. Pr.	11	50	k. Pr.	k. Pr.	6,2	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cd	**0,02**	µg/l	0,67	0,68	1,0	0,48	0,51	0,59	0,59	0,63	0,61	k. Pr.	0,92	1,2	k. Pr.	k. Pr.	0,82	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Co	**0,07**	µg/l	0,30	0,36	0,37	0,23	0,25	0,25	0,26	0,30	0,25	k. Pr.	0,34	0,61	k. Pr.	k. Pr.	0,49	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cr	**0,5**	µg/l	0,98	1,3	1,8	1,1	1,0	1,3	1,1	1,1	1,3	k. Pr.	1,2	1,6	k. Pr.	k. Pr.	1,2	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cu	**1**	µg/l	3,5	4,2	4,0	4,0	5,0	5,2	4,2	5,0	3,3	k. Pr.	6,1	5,0	k. Pr.	k. Pr.	6,0	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Hg	**0,5**	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	k. Pr.	<0.5	<0.5	k. Pr.	k. Pr.	<0.5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
K	**0,1**	mg/l	2,1	2,2	1,8	1,6	2,0	1,5	1,8	1,8	1,4	k. Pr.	1,4	2,3	k. Pr.	k. Pr.	0,48	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mg	**0,05**	mg/l	21	19	18	14	13	12	9,9	12	11	k. Pr.	0,87	2,1	k. Pr.	k. Pr.	0,49	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	6,8	7,3	14	8,5	k. Pr.	46	70	k. Pr.	k. Pr.	37	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mo	**0,04**	µg/l	1,1	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,3	0,97	0,98	k. Pr.	0,74	0,79	k. Pr.	k. Pr.	0,75	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Na	**0,1**	mg/l	2,8	2,5	2,6	2,2	2,2	2,3	1,9	2,0	1,9	k. Pr.	1,6	2,3	k. Pr.	k. Pr.	1,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ni	**0,3**	µg/l	4,4	3,9	5,3	3,6	3,3	3,7	2,9	3,7	3,3	k. Pr.	7,8	9,0	k. Pr.	k. Pr.	5,8	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Pb	**0,1**	µg/l	2,6	2,9	7,1	3,6	2,9	1,8	2,0	1,9	4,4	k. Pr.	1,6	2,9	k. Pr.	k. Pr.	1,6	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sb	**0,01**	µg/l	1,2	1,4	1,1	1,1	0,96	0,64	0,82	0,75	0,93	k. Pr.	0,21	0,30	k. Pr.	k. Pr.	0,16	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sn	**0,3**	µg/l	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	k. Pr.	0,4	0,4	k. Pr.	k. Pr.	0,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sr	**0,01**	mg/l	1,0	1,0	1,0	0,68	0,76	0,58	0,50	0,53	0,49	k. Pr.	0,050	0,15	k. Pr.	k. Pr.	0,028	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Tl	**0,03**	µg/l	0,11	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,10	0,08	0,09	k. Pr.	0,10	0,08	k. Pr.	k. Pr.	0,07	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
U	**0,01**	µg/l	0,88	0,91	0,63	0,23	0,46	0,11	0,10	0,09	0,14	k. Pr.	0,03	0,10	k. Pr.	k. Pr.	0,04	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
V	**0,5**	µg/l	0,9	1,2	0,9	0,83	0,8	0,9	0,8	0,7	0,6	k. Pr.	<0.5	0,9	k. Pr.	k. Pr.	0,6	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Zn	**0,005**	mg/l	0,27	0,16	0,24	0,13	0,20	0,23	0,037	0,15	0,17	k. Pr.	0,66	0,43	k. Pr.	k. Pr.	1,1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	<1	<1	k. Pr.	k. Pr.	<1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 36 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 30.9.2002 (Termin 2)

	Material		Gießereirestsand									Bleihüttengranulat								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
As	**0,06**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ba	**0,01**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Be	**0,1**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ca	**0,05**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cd	**0,02**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Co	**0,07**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cr	**0,5**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cu	**1**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Fe	**5**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Hg	**0,5**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
K	**0,1**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mg	**0,05**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mn	**5**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mo	**0,04**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Na	**0,1**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ni	**0,3**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Pb	**0,1**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sb	**0,01**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sn	**0,3**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sr	**0,01**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ti	**5**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Tl	**0,03**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
U	**0,01**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
V	**0,5**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Zn	**0,005**	mg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Zr	**1**	µg/l	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 36 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 30.9.2002 (Termin 2)

	Material		Quarzsand								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		91	92	93	94	95	96	97	98	99
Elem.	Best.-Gr.	Einh.									
Al	**0,01**	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	0,79	0,38	k. Pr.	k. Pr.	<0.01	k. Pr.
As	**0,06**	µg/l	0,48	0,60	0,62	0,81	1,0	k. Pr.	k. Pr.	0,65	k. Pr.
Ba	**0,01**	mg/l	0,078	0,080	0,067	0,77	0,71	k. Pr.	k. Pr.	0,70	k. Pr.
Be	**0,1**	µg/l	0,13	0,13	0,13	0,98	0,71	k. Pr.	k. Pr.	0,11	k. Pr.
Ca	**0,05**	mg/l	7,2	9,7	7,6	200	190	k. Pr.	k. Pr.	6,8	k. Pr.
Cd	**0,02**	µg/l	1,1	1,2	0,76	15	15	k. Pr.	k. Pr.	1,1	k. Pr.
Co	**0,07**	µg/l	0,61	0,54	0,46	21	21	k. Pr.	k. Pr.	1,0	k. Pr.
Cr	**0,5**	µg/l	1,1	25	27	155	152	k. Pr.	k. Pr.	1,1	k. Pr.
Cu	**1**	µg/l	4,3	6,2	4,9	1,5	2,3	k. Pr.	k. Pr.	6,1	k. Pr.
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	9	12	k. Pr.	k. Pr.	5	k. Pr.
Hg	**0,5**	µg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	k. Pr.	k. Pr.	<0.5	k. Pr.
K	**0,1**	mg/l	1,6	1,2	1,2	22	21	k. Pr.	k. Pr.	0,99	k. Pr.
Mg	**0,05**	mg/l	0,57	0,87	0,61	0,25	0,23	k. Pr.	k. Pr.	0,58	k. Pr.
Mn	**5**	µg/l	91	44	55	9000	10900	k. Pr.	k. Pr.	72	k. Pr.
Mo	**0,04**	µg/l	0,63	0,58	0,59	14	17	k. Pr.	k. Pr.	0,85	k. Pr.
Na	**0,1**	mg/l	1,3	1,4	1,2	5,3	5,2	k. Pr.	k. Pr.	1,5	k. Pr.
Ni	**0,3**	µg/l	7,2	7,9	7,1	40	31	k. Pr.	k. Pr.	7,6	k. Pr.
Pb	**0,1**	µg/l	1,6	1,7	1,9	18	13	k. Pr.	k. Pr.	1,7	k. Pr.
Sb	**0,01**	µg/l	0,16	0,20	0,16	0,14	0,14	k. Pr.	k. Pr.	0,19	k. Pr.
Sn	**0,3**	µg/l	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	k. Pr.	k. Pr.	0,3	k. Pr.
Sr	**0,01**	mg/l	0,037	0,043	0,040	0,89	0,85	k. Pr.	k. Pr.	0,037	k. Pr.
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	<5	k. Pr.
Tl	**0,03**	µg/l	0,09	0,09	0,09	0,61	0,59	k. Pr.	k. Pr.	0,11	k. Pr.
U	**0,01**	µg/l	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	k. Pr.	k. Pr.	0,03	k. Pr.
V	**0,5**	µg/l	<0.5	<0.5	0,6	2,3	2,2	k. Pr.	k. Pr.	0,6	k. Pr.
Zn	**0,005**	mg/l	0,37	1,6	1,4	7,4	7,4	k. Pr.	k. Pr.	2,0	k. Pr.
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	k. Pr.	<1	k. Pr.

Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von denen in der 2. Spalte abweichen

Tabelle 37: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 8.1.2003 (Termin 5)

	Material		Bankettschälgut L598									Bankettschälgut A30								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	k. Pr.	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	1,5	1,5	1,6	0,91	0,66	k. Pr.	0,53	0,52	1,2	1,2	1,3	1,6	1,0	1,0	0,90	1,0	0,83	0,71
Ba	**0,01**	mg/l	0,47	0,41	0,51	0,59	0,44	k. Pr.	0,52	0,43	0,55	0,11	<0,0001	0,10	0,42	0,48	0,38	0,29	0,28	0,33
Be	**0,1**	µg/l	<0,1	<0,1	0,11	0,12	0,14	k. Pr.	0,12	<0,1	0,13	<0,1	<0,1	<0,1	0,21	0,25	0,19	0,11	0,12	0,11
Ca	**0,05**	mg/l	196	171	213	285	285	k. Pr.	275	239	233	108	88	93	405	467	361	266	252	290
Cd	**0,02**	µg/l	0,38	0,52	0,48	0,60	0,44	k. Pr.	0,51	0,41	0,36	0,66	0,65	0,65	2,8	3,2	2,1	1,5	1,3	2,0
Co	**0,07**	µg/l	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	k. Pr.	1,3	0,94	0,93	0,42	0,54	0,48	1,3	1,4	1,2	0,88	0,82	1,1
Cr	**0,5**	µg/l	1,7	1,7	1,4	1,5	1,2	k. Pr.	1,0	0,87	0,88	0,89	1,5	1,2	1,4	1,4	1,5	1,0	0,81	1,1
Cu	**1**	µg/l	11	11	7,7	3,7	3,0	k. Pr.	3,5	5,0	8,8	24	31	31	5,2	5,2	9,4	15	14	11
Fe	**5**	µg/l	12	14	11	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	11	18	25	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	56	55	57	78	<0,1	k. Pr.	84	76	64	25	23	22	46	51	47	43	39	36
Mg	**0,05**	mg/l	22	20	24	35	36	k. Pr.	37	32	27	7,6	6,1	6,5	30	34	27	20	19	21
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	2,9	3,9	3,0	3,7	3,8	k. Pr.	4,6	4,3	3,0	1,3	1,7	1,6	0,57	0,71	0,72	1,0	1,6	1,5
Na	**0,1**	mg/l	23	24	23	23	19	k. Pr.	44	33	24	204	191	169	205	199	197	271	226	248
Ni	**0,3**	µg/l	11	9,7	10	9,5	9,1	k. Pr.	12	9,2	9,0	6,4	10	9,7	15	15	12	12	13	15
Pb	**0,1**	µg/l	2,2	2,2	0,96	1,8	1,0	k. Pr.	0,88	0,77	0,95	0,87	2,2	2,5	1,1	1,1	0,91	1,0	1,0	1,2
Sb	**0,01**	µg/l	1,0	1,1	1,2	1,8	1,7	k. Pr.	2,8	2,7	1,1	1,4	1,8	1,7	0,92	1,0	0,93	1,1	1,6	1,7
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	0,31	<0,3	<0,3	<0,3	k. Pr.	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,50	0,42	0,53	0,71	0,68	k. Pr.	0,66	0,56	0,59	0,27	0,22	0,23	1,1	1,2	0,93	0,69	0,64	0,74
Ti	**5**	µg/l	5,8	5,4	5,4	<5	5,9	k. Pr.	6,1	5,3	<5	<5	<5	<5	5,7	6,4	5,9	5,4	5,0	5,9
Tl	**0,03**	µg/l	0,13	0,10	0,11	0,08	0,13	k. Pr.	0,11	0,10	0,10	0,05	0,08	0,09	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08
U	**0,01**	µg/l	1,6	1,9	2,2	2,9	2,7	k. Pr.	3,6	3,6	2,7	0,37	0,42	0,40	0,29	0,22	0,41	0,38	0,45	0,38
V	**0,5**	µg/l	2,1	2,1	1,8	1,4	1,1	k. Pr.	1,0	0,90	1,4	1,4	2,4	1,9	1,5	1,4	1,3	1,3	1,0	1,0
Zn	**0,005**	mg/l	0,69	0,44	0,68	0,12	0,75	k. Pr.	0,47	0,50	0,59	1,6	1,1	1,3	5,2	6,4	4,6	3,4	3,0	3,1
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 37 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 8.1.2003 (Termin 5)

	Material		Bauschutt									Hausmüllverbrennungsasche								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	0,02	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	<0,01	27	31	33	13	17	14	26	16	36
As	**0,06**	µg/l	1,7	1,8	1,3	2,1	2,8	2,5	2,4	2,4	2,8	6,6	9,1	30	7,4	10	7,9	6,2	10	11
Ba	**0,01**	mg/l	0,09	0,07	0,09	0,12	0,12	0,14	0,12	0,10	0,10	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Be	**0,1**	µg/l	0,36	0,24	0,34	0,49	0,41	0,57	0,47	0,17	0,44	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ca	**0,05**	mg/l	659	407	625	602	547	820	609	420	460	13	9,1	12	17	11	17	19	8,4	8,7
Cd	**0,02**	µg/l	0,24	0,29	0,44	0,69	0,33	0,47	0,33	0,53	0,24	0,64	0,87	0,51	0,56	0,74	1,3	0,73	0,84	1,2
Co	**0,07**	µg/l	13	18	11	19	19	16	19	20	21	0,51	0,69	0,61	0,61	1,0	0,77	0,60	0,79	1,0
Cr	**0,5**	µg/l	242	238	234	232	232	213	247	241	273	156	191	189	115	156	176	162	213	219
Cu	**1**	µg/l	127	154	120	169	168	124	152	157	190	1140	1730	1310	1740	1980	2210	1400	1570	2020
Fe	**5**	µg/l	<5	13	<5	6,7	<5	<5	<5	<5	<5	<5	7,6	<5	<5	8,3	<5	<5	<5	5,5
Hg	**0,5**	µg/l	5,8	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,5	5,5	5,5	12,5	4,4	0,7	3,7	1,0	5,3	<0,5
K	**0,1**	mg/l	294	349	306	572	560	426	503	245	585	121	122	127	170	170	195	155	143	162
Mg	**0,05**	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	76	75	73	83	83	69	78	79	88	220	321	235	409	407	915	609	346	412
Na	**0,1**	mg/l	75	101	69	198	182	124	165	163	208	533	594	615	881	894	1027	748	722	865
Ni	**0,3**	µg/l	34	35	37	50	48	38	46	44	59	9,9	9,9	8,1	12	12	17	11	10	12
Pb	**0,1**	µg/l	2,3	2,3	2,3	3,6	3,3	3,8	2,5	1,9	2,9	1,9	1,6	1,3	1,3	2,5	1,7	1,7	1,2	1,3
Sb	**0,01**	µg/l	0,10	0,13	0,08	0,14	0,12	0,16	0,14	0,17	0,20	14	15	14	11	10	11	10	14	13
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,33	0,36	<0,3	0,36	0,54	0,60	0,50	0,82	0,62	0,87	0,53	0,68	0,80
Sr	**0,01**	mg/l	19	14	18	21	21	20	20	16	16	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,07	0,06	0,03	0,03
Ti	**5**	µg/l	7,6	6,7	7,6	6,4	6,0	8,1	7,5	<5	6,4	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,08	0,13	0,09	0,08	0,09	0,09	0,12	0,09	0,11	0,16	0,16	0,11	0,14	0,16	0,16	0,18	0,19	0,23
U	**0,01**	µg/l	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,07	0,14	0,16	0,07	0,08	0,27	0,16
V	**0,5**	µg/l	1,7	5,8	2,0	1,7	2,3	1,5	2,1	2,7	1,8	71	90	84	77	92	77	54	104	90
Zn	**0,005**	mg/l	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 37 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 8.1.2003 (Termin 5)

	Material		Kehrgut									Referenzmaterial Boden								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	0,89	1,3	1,2	1,1	1,2	1,4	1,7	2,0	1,3	1,5	0,81	1,2	0,85	0,88	1,2	1,0	0,54	0,73
Ba	**0,01**	mg/l	0,13	0,09	0,08	0,17	0,14	0,14	0,12	0,12	0,10	0,03	0,03	0,03	0,06	0,07	0,07	0,03	0,03	0,04
Be	**0,1**	µg/l	0,16	0,11	0,13	0,37	0,36	0,39	0,38	0,43	0,23	<0,1	<0,1	<0,1	0,22	0,22	0,22	<0,1	<0,1	<0,1
Ca	**0,05**	mg/l	232	205	210	321	302	307	293	362	275	127	132	144	302	305	305	137	132	143
Cd	**0,02**	µg/l	0,29	0,30	0,33	0,43	0,59	0,43	0,38	0,54	0,39	0,34	0,26	0,19	0,25	0,15	0,29	0,21	0,28	0,33
Co	**0,07**	µg/l	0,83	1,0	0,79	1,5	1,2	1,7	2,3	6,6	1,9	2,0	1,7	2,1	2,5	3,3	3,2	2,0	1,3	1,4
Cr	**0,5**	µg/l	1,3	1,8	1,4	3,1	2,3	3,5	3,1	3,6	2,2	1,6	1,0	1,2	1,2	1,2	1,1	0,93	0,77	0,72
Cu	**1**	µg/l	13,2	26	21	18	15	13	11	5,4	16	28	14	31	<1	<1	1,8	4,8	3,2	1,8
Fe	**5**	µg/l	<5	34	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	40	18	72	<5	<5	10	10	110	12
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	29	31	29	38	36	38	35	41	32	14	14	14	40	40	44	24	23	24
Mg	**0,05**	mg/l	77	77	81	117	103	113	111	119	96	19	16	20	38	38	38	17	16	16
Mn	**5**	µg/l	8,1	7,4	<5	28	27	63	140	856	96	81	88	104	261	493	433	95	95	126
Mo	**0,04**	µg/l	39	44	48	65	56	63	65	48	69	22	22	22	31	29	36	27	29	28
Na	**0,1**	mg/l	314	320	306	524	414	525	559	652	447	7,6	7,6	9,3	11	12	12	8,1	7,2	8,4
Ni	**0,3**	µg/l	8,8	14	9,7	16	16	21	21	47	15	7,7	5,7	8,4	7,4	7,9	8,3	5,4	5,2	5,9
Pb	**0,1**	µg/l	0,96	1,1	0,84	1,4	1,3	1,3	0,92	0,99	1,0	1,1	1,2	1,1	0,87	0,87	1,1	1,1	0,77	0,85
Sb	**0,01**	µg/l	12	18	16	20	21	15	15	12	16	0,93	0,68	0,81	0,66	0,68	0,69	0,66	0,69	0,62
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	1,2	1,1	1,1	1,7	1,6	1,6	1,5	1,8	1,4	0,36	0,38	0,40	0,93	0,95	0,92	0,40	0,39	0,41
Ti	**5**	µg/l	5,7	5,1	5,5	5,7	<5	6,0	6,0	6,3	5,5	5,5	<5	6,2	6,0	5,8	5,6	5,1	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,08	0,10	0,08	0,10	0,09	0,09	0,08	0,11	0,08	0,09	0,07	0,06	0,12	0,10	0,11	0,15	0,09	0,11
U	**0,01**	µg/l	4,8	4,9	4,9	8,2	7,8	7,6	7,5	5,7	8,0	16	18	18	21	19	21	15	14	15
V	**0,5**	µg/l	2,3	2,6	2,4	3,4	2,8	3,8	3,5	3,1	2,1	1,3	1,1	1,4	1,2	1,1	1,3	1,1	0,85	0,85
Zn	**0,005**	mg/l	0,20	0,28	0,09	0,37	0,18	0,17	0,28	1,0	0,16	0,10	0,06	0,08	0,19	0,22	0,20	0,08	0,03	0,06
Zr	**1**	µg/l	1,8	1,2	1,1	1,1	1,2	1,0	1,3	<1	<1	3,1	1,3	4,1	<1	<1	1,3	1,3	1,4	1,3
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 37 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 8.1.2003 (Termin 5)

	Material		Pochsand									Auelehm								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	0,23	0,29	0,36	0,34	0,36	0,56	0,37	0,21	0,26	0,92	1,0	0,93	0,78	0,98	0,78	0,69	0,80	0,79
Ba	**0,01**	mg/l	0,07	0,09	0,09	0,11	0,13	0,12	0,08	0,07	0,08	0,16	0,16	0,14	0,36	0,44	0,36	0,17	0,17	0,16
Be	**0,1**	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,22	0,25	0,22	<0,1	<0,1	<0,1
Ca	**0,05**	mg/l	98	93	95	139	139	137	96	93	91	206	189	177	401	443	380	193	196	184
Cd	**0,02**	µg/l	0,18	0,31	0,24	0,27	0,24	0,21	0,18	0,22	0,25	0,33	0,43	0,35	0,44	0,50	0,44	0,43	0,33	0,35
Co	**0,07**	µg/l	0,34	0,41	0,37	0,44	0,51	0,50	0,38	0,33	0,34	0,82	0,92	0,85	1,3	1,3	1,4	0,66	0,97	0,83
Cr	**0,5**	µg/l	0,68	0,84	0,72	0,81	0,89	1,0	0,65	0,61	0,57	1,4	1,3	1,2	1,5	1,4	1,7	1,0	1,1	1,0
Cu	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	4,2	2,6	3,8	<1	<1	<1	2,0	3,8	5,3
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	7	10	<5	6	5	<5	5	8	12	13	9	8	<5	12	12	10
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	1,8	1,9	1,6	2,1	2,2	2,0	1,8	1,9	2,0	10	10	8,8	13	16	15	10	9,0	8,6
Mg	**0,05**	mg/l	47	42	43	64	63	61	49	47	41	6,6	6,1	5,6	13	14	12	6,5	6,1	5,8
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	8,6	<5	<5	21	<5	<5	<5	4,9	<5
Mo	**0,04**	µg/l	0,26	0,18	0,22	0,22	0,25	0,21	0,20	0,23	0,22	2,4	2,4	2,7	2,0	1,5	2,1	2,0	3,1	3,1
Na	**0,1**	mg/l	4,9	4,7	4,1	4,4	4,8	5,0	3,1	3,0	2,9	8,1	7,4	7,0	10	11	9,7	6,9	7,3	7,3
Ni	**0,3**	µg/l	2,3	2,9	2,4	3,4	3,6	3,5	2,5	2,2	2,6	5,8	6,1	5,6	8,6	8,1	8,1	4,3	7,2	6,4
Pb	**0,1**	µg/l	0,88	1,1	1,2	1,0	0,90	0,96	1,5	0,87	0,96	0,84	0,97	0,93	0,96	0,71	1,0	0,78	0,90	1,0
Sb	**0,01**	µg/l	0,98	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,93	1,2	0,94	2,1	1,9	2,0	1,4	1,2	1,5	1,5	1,8	1,6
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	1,4	1,4	1,4	1,9	2,1	1,9	1,4	1,3	1,4	0,51	0,47	0,43	1,1	1,2	0,97	0,48	0,47	0,44
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	5,1	<5	<5	<5	5,4	5,3	5,0	6,5	5,8	5,8	<5	5,4	5,3
Tl	**0,03**	µg/l	0,05	0,06	0,08	0,07	0,08	0,07	0,05	0,05	0,06	0,08	0,09	0,07	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08
U	**0,01**	µg/l	0,31	0,38	0,38	0,51	0,59	0,68	0,51	0,54	0,48	4,5	3,6	3,2	3,3	3,2	3,3	2,7	3,1	3,0
V	**0,5**	µg/l	0,50	0,75	0,86	0,65	0,64	0,74	0,41	0,44	0,37	0,87	0,75	0,78	1,1	0,90	0,90	0,77	0,64	0,58
Zn	**0,005**	mg/l	0,07	0,06	0,08	0,06	0,12	0,07	0,02	0,03	0,09	0,20	0,16	0,09	0,11	0,20	0,38	0,33	0,19	0,19
Zr	**1**	µg/l	1,0	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	<1	1,3	1,3	1,3
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 37 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 8.1.2003 (Termin 5)

	Material		Gießereirestsand									Bleihüttengranulat								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,9	0,8	0,8	1,5	1,1	1,1
As	**0,06**	µg/l	2,2	4,4	3,0	1,7	3,3	2,5	2,1	1,9	2,3	3,9	2,7	3,8	3,6	2,9	3,5	3,4	3,4	3,4
Ba	**0,01**	mg/l	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Be	**0,1**	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,15	0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ca	**0,05**	mg/l	12	7,3	7,4	17	8,0	8,0	9,2	8,6	12	48	57	45	70	64	72	75	63	56
Cd	**0,02**	µg/l	0,35	1,1	0,42	0,37	0,48	0,36	0,64	0,32	0,40	0,45	0,36	0,48	0,20	0,18	0,33	0,31	0,31	0,30
Co	**0,07**	µg/l	4,2	3,2	3,4	2,7	2,3	2,4	2,6	2,8	3,3	0,34	0,46	0,34	0,26	0,26	0,52	0,27	0,41	0,40
Cr	**0,5**	µg/l	2,6	4,5	3,2	2,7	2,3	2,4	1,8	2,1	2,8	1,9	1,9	1,4	1,4	1,6	1,6	2,1	1,9	2,0
Cu	**1**	µg/l	<1	3,2	2,5	<1	<1	<1	<1	1,6	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Fe	**5**	µg/l	32	32	36	24	22	26	29	28	33	7	14	8	9	8	9	5	8	9
Hg	**0,5**	µg/l	6,8	1,3	9,4	1,4	8,9	3,2	0,5	1,7	<0,5	1,1	0,5	4,6	2,3	7,3	7,3	4,6	3,2	2,9
K	**0,1**	mg/l	5,6	5,0	5,6	7,9	6,6	6,2	6,1	6,7	7,9	11	13	12	20	19	20	18	19	17
Mg	**0,05**	mg/l	2,5	1,5	1,7	5,2	1,9	1,9	2,2	2,0	3,1	3,9	7,0	0,7	0,08	0,08	0,13	<0,05	0,18	0,07
Mn	**5**	µg/l	155	74	68	93	106	87	104	91	138	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	50	81	85	69	56	55	98	68	69	10	6,8	6,4	0,96	0,97	1,1	0,95	1,4	1,9
Na	**0,1**	mg/l	490	473	477	672	534	562	526	593	695	12	30	23	19	23	25	22	21	16
Ni	**0,3**	µg/l	9,5	7,4	8,5	6,2	8,2	6,7	7,2	6,1	8,6	3,6	5,4	7,1	2,4	2,5	3,1	2,6	4,5	6,4
Pb	**0,1**	µg/l	1,8	1,3	1,2	1,2	1,3	1,0	0,98	1,1	1,6	1,4	1,4	2,2	1,1	1,2	1,4	1,2	1,5	1,4
Sb	**0,01**	µg/l	2,3	3,0	3,3	2,0	2,6	2,4	2,0	2,1	2,2	986	698	190	2,3	1,3	2,7	0,46	5,4	16
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	0,30	<0,3	0,34	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,31	0,36	<0,3	<0,3	0,38	0,37
Sr	**0,01**	mg/l	0,04	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,27	0,33	0,24	0,33	0,31	0,36	0,32	0,30	0,27
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,10	0,08	0,10	0,12	0,09	0,06	0,11	0,11	0,11	1,4	0,35	0,15	3,3	2,6	0,38	0,56	0,12	0,29
U	**0,01**	µg/l	7,8	17	14	5,2	8,5	12	5,7	10	11	0,45	1,6	0,43	0,10	0,17	0,26	0,05	0,33	0,11
V	**0,5**	µg/l	3,6	4,7	4,2	3,0	4,2	3,8	3,4	2,9	2,9	1,4	3,2	4,8	9,3	7,7	12	15	12	13
Zn	**0,005**	mg/l	0,02	0,07	0,03	0,15	0,01	0,02	0,09	0,05	0,01	0,09	0,22	0,08	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Zr	**1**	µg/l	2,5	3,2	3,4	1,6	1,8	1,4	1,5	1,6	1,6	1,0	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 37 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 8.1.2003 (Termin 5)

	Material		Quarzsand								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		91	92	93	94	95	96	97	98	99
Elem.	Best.-Gr.	Einh.									
Al	**0,01**	mg/l	3,9	5,7	3,4	1,4	3,7	3,5	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	1,8	1,4	1,8	1,0	1,4	1,1	2,2	0,70	2,4
Ba	**0,01**	mg/l	0,64	0,78	0,42	0,05	0,13	0,12	0,10	0,25	0,14
Be	**0,1**	µg/l	1,5	2,1	1,0	0,73	1,8	1,8	<0,1	<0,1	<0,1
Ca	**0,05**	mg/l	38	40	29	89	170	176	62	147	89
Cd	**0,02**	µg/l	9,1	10	7,9	8,7	18	17	0,61	0,97	0,45
Co	**0,07**	µg/l	18	15	8,8	10	31	35	0,54	0,91	0,68
Cr	**0,5**	µg/l	7,1	7,2	8,3	1,9	3,1	2,9	0,96	1,1	1,2
Cu	**1**	µg/l	7,4	5,5	7,4	3,6	2,3	2,1	8,2	4,2	8,4
Fe	**5**	µg/l	300	126	390	20	25	20	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	7,1	7,7	3,5	36	47	50	15	19	16
Mg	**0,05**	mg/l	21	26	18	11	21	22	3,5	8,2	4,6
Mn	**5**	µg/l	770	910	1000	13750	24180	30790	34	9,1	6,0
Mo	**0,04**	µg/l	0,28	0,29	0,46	0,18	0,31	0,28	4,7	2,9	4,7
Na	**0,1**	mg/l	5,8	6,6	4,3	3,2	4,7	4,9	2,6	3,7	2,9
Ni	**0,3**	µg/l	58	61	41	16	44	40	13	15	12
Pb	**0,1**	µg/l	6,8	4,4	7,8	9,3	24	25	1,1	1,5	1,2
Sb	**0,01**	µg/l	0,68	0,46	0,56	0,25	0,19	0,23	0,57	0,39	0,52
Sn	**0,3**	µg/l	0,38	0,33	<0,3	0,32	0,36	<0,3	0,30	0,30	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,18	0,21	0,11	0,33	0,65	0,66	0,17	0,42	0,23
Ti	**5**	µg/l	6,2	<5	7,9	<5	<5	5,1	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,35	0,29	0,15	0,27	0,44	0,42	0,11	0,16	0,12
U	**0,01**	µg/l	0,45	0,33	0,61	0,10	0,16	0,15	0,23	0,12	0,39
V	**0,5**	µg/l	3,7	3,1	4,0	0,69	0,86	0,83	1,1	0,77	1,2
Zn	**0,005**	mg/l	3,1	4,0	2,0	0,48	3,0	2,9	0,25	1,9	0,45
Zr	**1**	µg/l	13	16	21	1,3	1,0	<1	1,4	1,2	1,3

Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von denen in der 2. Spalte abweichen

Tabelle 38: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 24.2.2003 (Termin 6)

	Material		Bankettschälgut L598									Bankettschälgut A30								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,01	0,02	0,01	<0,01	0,01	k. Pr.	<0,01	0,01	<0,01	0,01	k. Pr.	0,02	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
As	**0,06**	µg/l	1,6	1,6	1,4	0,7	1,0	k. Pr.	0,8	0,6	1,0	1,0	k. Pr.	1,7	0,9	1,3	0,9	1,0	1,0	0,9
Ba	**0,01**	mg/l	0,28	0,31	0,38	0,26	0,17	k. Pr.	0,23	0,19	0,25	0,07	k. Pr.	0,06	0,15	0,13	0,14	0,08	0,08	0,09
Be	**0,1**	µg/l	<0,1	<0,1	0,14	0,10	<0,1	k. Pr.	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	k. Pr.	<0,1	0,10	0,13	0,11	<0,1	<0,1	<0,1
Ca	**0,05**	mg/l	131	143	178	147	143	k. Pr.	150	137	132	87	k. Pr.	72	193	187	186	102	97	103
Cd	**0,02**	µg/l	0,3	0,4	0,6	0,5	0,7	k. Pr.	0,4	0,6	0,4	0,6	k. Pr.	0,7	1,6	1,5	1,6	0,6	1,0	1,0
Co	**0,07**	µg/l	1,1	1,1	1,3	1,0	1,1	k. Pr.	1,1	1,0	0,9	0,8	k. Pr.	0,6	1,0	1,1	1,1	0,9	0,7	0,8
Cr	**0,5**	µg/l	2,2	2,2	2,1	1,8	2,1	k. Pr.	1,6	1,3	1,5	1,6	k. Pr.	2,3	1,8	1,9	2,1	1,5	2,2	1,7
Cu	**1**	µg/l	15	13	9,3	7,9	5,7	k. Pr.	6,8	4,3	8,2	22	k. Pr.	34	18	24	20	28	26	29
Fe	**5**	µg/l	27	28	25	6,3	<5	k. Pr.	<5	<5	6,8	14	k. Pr.	36	6,9	8,2	6,8	9,6	8,3	9,8
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	39	47	49	53	50	k. Pr.	55	50	42	22	k. Pr.	19	27	28	30	25	22	20
Mg	**0,05**	mg/l	14	16	20	17	17	k. Pr.	20	18	15	6,2	k. Pr.	4,9	14	14	13	7,5	7,1	7,2
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	16	18	18	20	19	k. Pr.	21	16	15	11	k. Pr.	9,5	13	16	13	11	14	14
Na	**0,1**	mg/l	10	12	12	8,3	6,2	k. Pr.	14	9,9	7,0	114	k. Pr.	106	48	38	55	72	52	58
Ni	**0,3**	µg/l	8,3	8,7	8,7	7,7	7,6	k. Pr.	8,5	7,3	7,3	6,5	k. Pr.	7,1	8,7	9,3	10	8,2	8,6	9,4
Pb	**0,1**	µg/l	2,5	1,2	1,4	4,5	1,3	k. Pr.	1,4	1,2	1,0	7,5	k. Pr.	5,8	4,7	1,6	1,4	1,1	2,1	2,1
Sb	**0,01**	µg/l	1,3	1,1	1,2	1,9	2,1	k. Pr.	2,9	3,0	1,2	1,4	k. Pr.	1,6	1,3	1,3	1,1	1,6	2,2	2,2
Sn	**0,3**	µg/l	0,4	<0,3	0,3	<0,3	<0,3	k. Pr.	0,3	<0,3	<0,3	0,3	k. Pr.	0,4	<0,3	<0,3	0,3	<0,3	0,5	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,28	0,31	0,38	0,3	0,28	k. Pr.	0,29	0,25	0,26	0,18	k. Pr.	0,15	0,39	0,37	0,37	0,2	0,18	0,2
Ti	**5**	µg/l	5,1	6,0	5,6	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	6,0	5,2	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,11	0,10	0,12	0,09	0,14	k. Pr.	0,12	0,11	0,09	0,09	k. Pr.	0,11	0,10	0,08	0,12	0,08	0,11	0,12
U	**0,01**	µg/l	0,78	1,1	1,1	1,5	1,6	k. Pr.	2,5	2,3	1,5	0,21	k. Pr.	0,17	0,19	0,16	0,22	0,28	0,35	0,34
V	**0,5**	µg/l	2,1	2,0	1,9	1,5	1,6	k. Pr.	1,1	1,1	1,5	1,7	k. Pr.	2,3	1,7	1,9	1,7	1,7	2,2	1,4
Zn	**0,005**	mg/l	0,58	0,43	0,62	0,15	0,43	k. Pr.	0,27	0,26	0,37	1,7	k. Pr.	1,4	2,9	3,2	2,8	1,6	1,4	1,4
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 38 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 24.2.2003 (Termin 6)

	Material		Bauschutt									Hausmüllverbrennungsasche								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	27,5	34,0	39,0	17,6	24,4	18,5	33,9	23,0	52,7
As	**0,06**	µg/l	1,0	1,1	1,1	1,4	1,1	1,2	1,3	1,2	1,6	4,2	4,3	14,6	4,6	6,1	6,7	3,4	6,8	8,2
Ba	**0,01**	mg/l	0,08	0,07	0,07	0,10	0,09	0,11	0,09	0,08	0,09	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Be	**0,1**	µg/l	0,44	0,36	0,39	0,45	0,40	0,55	0,41	0,36	0,40	0,18	<0,1	<0,1	0,13	0,14	0,13	<0,1	0,14	<0,1
Ca	**0,05**	mg/l	631	527	534	618	515	813	586	555	555	7,2	8,3	8,6	9,8	8,1	10,0	12,1	6,0	5,8
Cd	**0,02**	µg/l	0,5	0,3	0,6	0,5	0,5	0,6	0,3	0,5	0,7	0,6	0,8	0,6	0,8	0,8	2,0	1,0	0,7	0,6
Co	**0,07**	µg/l	8,1	9,6	6,6	8,6	9,2	8,7	9,0	10	11	0,5	0,5	0,4	0,5	0,7	0,5	0,4	0,6	0,6
Cr	**0,5**	µg/l	100	124	108	135	133	143	168	130	162	120	115	117	112	134	164	135	139	166
Cu	**1**	µg/l	88	111	91	115	117	84	99	109	126	743	1199	910	1294	1886	1653	924	1230	1448
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5,6	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	7,1	7,2	5,6	6,7	8,9	8,7	6,8	7,3	7,9
K	**0,1**	mg/l	165	227	176	337	314	235	274	310	368	101	102	105	119	119	124	105	102	111
Mg	**0,05**	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	63	70	70	71	72	66	70	75	77	125	204	128	181	225	549	348	157	199
Na	**0,1**	mg/l	36	57	37	88	78	51	67	83	107	431	482	492	547	596	622	474	474	560
Ni	**0,3**	µg/l	22	29	23	33	32	25	28	33	35	9,7	11	13	18	20	24	17	18	17
Pb	**0,1**	µg/l	2,1	2,3	1,7	3,3	2,5	2,6	1,9	2,4	2,9	1,3	1,6	1,2	1,6	1,5	2,1	1,9	1,6	1,5
Sb	**0,01**	µg/l	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	11	13	12	11	10	12	10	12	13
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	0,4	<0,3	0,4	<0,3	<0,3	0,3	<0,3	<0,3	0,6	0,6	<0,3	0,4	0,6	0,6	0,3	0,4	0,5
Sr	**0,01**	mg/l	16	14	15	18	18	16	17	15	14	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01
Ti	**5**	µg/l	7,9	7,5	7,8	7,5	8,4	9,3	8,7	6,9	7,5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,10	0,07	0,10	0,11	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,11	0,11	0,12	0,17	0,13	0,08	0,14	0,12
U	**0,01**	µg/l	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05	0,04	0,11	0,08	0,07	0,07	0,08	0,10
V	**0,5**	µg/l	0,80	1,3	0,67	1,3	1,3	1,0	0,76	1,5	1,2	58	64	57	73	74	79	44	88	72
Zn	**0,005**	mg/l	<0,005	0,008	0,005	0,008	0,006	0,017	0,005	0,011	0,010	<0,005	0,018	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,009	<0,005	<0,005
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 38 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 24.2.2003 (Termin 6)

	Material		Kehrgut									Referenzmaterial Boden								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	1,3	1,1	0,9	1,3	1,1	1,3	1,4	1,9	0,8	1,5	1,3	1,8	1,7	1,3	1,2	1,2	1,0	0,7
Ba	**0,01**	mg/l	0,08	0,05	0,06	0,08	0,05	0,05	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
Be	**0,1**	µg/l	0,19	0,15	0,19	0,22	0,18	0,16	0,15	0,19	0,15	<0,1	0,10	0,13	0,15	0,15	0,16	0,13	0,13	0,17
Ca	**0,05**	mg/l	201	148	188	223	172	161	112	157	144	99	110	122	162	151	146	97	108	112
Cd	**0,02**	µg/l	0,5	0,4	0,7	0,6	0,5	0,6	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,7	0,6	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6
Co	**0,07**	µg/l	1,1	0,9	1,0	1,2	1,0	1,2	1,3	2,1	1,0	1,7	1,8	2,5	1,5	2,1	1,7	1,4	1,4	1,3
Cr	**0,5**	µg/l	2,6	2,7	2,3	3,6	2,9	4,4	2,9	4,5	2,5	2,1	2,7	2,5	1,7	2	1,5	2	1,6	1,5
Cu	**1**	µg/l	9,4	20	20	17	13	15	14	7,6	15	42	20	35	1,1	2,0	3,1	<1	<1	<1
Fe	**5**	µg/l	<5	11	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	94	40	118	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,8	2,2	2,1	1,9	1,7	2,8	3,1	2,5	1,9
K	**0,1**	mg/l	22	24	22	28	24	26	24	27	22	12	13	14	26	26	27	18	18	19
Mg	**0,05**	mg/l	65	66	70	88	74	82	71	74	62	14	13	17	18	16	16	12	13	13
Mn	**5**	µg/l	7	<5	<5	5	<5	7	10	73	5	66	70	96	187	435	176	51	71	94
Mo	**0,04**	µg/l	41	46	48	63	57	62	72	62	67	18	17	17	23	23	21	20	17	14
Na	**0,1**	mg/l	150	181	172	267	165	259	279	385	186	4,8	5,2	6,9	5,0	5,0	4,8	4,9	5,0	5,3
Ni	**0,3**	µg/l	15	16	18	21	19	22	22	42	18	9,5	7,7	11	6	6,5	6,2	4,9	5,5	5
Pb	**0,1**	µg/l	1,7	1,2	1,4	1,3	1,4	2,6	1,1	1,3	1,0	1,3	1,3	1,7	1,1	1,2	1,1	1,5	1,4	1,3
Sb	**0,01**	µg/l	14	18	16	26	28	21	27	17	23	1,1	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,4	<0,3	0,4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,77	0,63	0,67	0,89	0,71	0,73	0,55	0,69	0,59	0,22	0,24	0,27	0,38	0,36	0,35	0,23	0,26	0,26
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5,4	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,11	0,09	0,11	0,09	0,11	0,11	0,12	0,09	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,12	0,10	0,12	0,13	0,10
U	**0,01**	µg/l	4,5	3,9	4,0	6,4	6,2	6,3	6,6	5,4	5,5	14	15	17	13	13	14	11	11	11
V	**0,5**	µg/l	2,5	2,3	2,2	3,0	2,4	4,0	3,0	3,0	2,0	1,7	1,9	1,9	1,4	1,4	1,2	1,8	1,3	1,0
Zn	**0,005**	mg/l	0,20	0,19	0,09	0,17	0,09	0,07	0,06	0,18	0,05	0,12	0,05	0,09	0,11	0,11	0,10	0,05	0,02	0,06
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3,0	1,2	3,4	<1	1,5	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 38 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 24.2.2003 (Termin 6)

	Material		Pochsand									Auelehm								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	0,5	0,5	0,9	0,8	0,4	0,7	0,6	0,8	0,8	1,4	1,3	1,1	1,1	1,5	1,2	0,9	1,1	1,2
Ba	**0,01**	mg/l	0,05	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06	0,05	0,05	0,06	0,12	0,12	0,10	0,12	0,14	0,13	0,10	0,10	0,09
Be	**0,1**	µg/l	0,12	0,16	0,17	0,17	0,20	0,20	0,15	0,14	0,20	0,21	0,22	0,20	0,23	0,21	0,23	0,21	0,20	<0,1
Ca	**0,05**	mg/l	84	90	85	96	103	95	79	80	81	162	157	144	170	186	172	141	136	118
Cd	**0,02**	µg/l	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,5	0,5	0,7	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5
Co	**0,07**	µg/l	0,5	0,5	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6
Cr	**0,5**	µg/l	1,3	1,4	2,1	1,1	0,9	0,9	0,9	1	2,8	1,2	1,5	1,1	1,4	1,6	1,5	1,2	1,1	1,5
Cu	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3,2	1,7	2,5	<1	2,9	1,6	1,0	2,7	5,3
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	2,0	1,9	1,8	1,8	1,9	2,0	1,8	1,9	2,1	8,9	8,9	7,6	7,3	9,5	9,5	8,4	7,5	6,7
Mg	**0,05**	mg/l	40	41	39	45	48	44	41	41	37	5,2	5,1	4,7	5,3	5,8	5,6	4,7	4,3	3,8
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	9,1	8,7	11	9,2	10	7,9	6,1	8,7	8,1	16	17	17	16	15	17	15	16	19
Na	**0,1**	mg/l	4,6	4,2	4,2	3,1	3,7	3,5	2,3	2,3	2,3	6,4	6,3	5,4	6,0	6,3	5,8	5,6	5,5	5,3
Ni	**0,3**	µg/l	3	3,6	20	2,9	2,8	3	2,5	5,7	5,1	5,1	5,9	4,9	5,6	6	4,8	4,9	5,6	6
Pb	**0,1**	µg/l	2,7	1,3	2,4	1,5	1,2	1,0	1,2	1,6	3,0	1,4	1,3	1,1	1,2	7,6	1,3	1,4	1,3	1,6
Sb	**0,01**	µg/l	1,1	1,0	1,2	1,3	1,1	1,0	1,2	1,4	1,2	2,2	2,3	1,9	1,6	1,8	2,2	2,0	2,0	2,0
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,5	<0,3	<0,3	0,3	<0,3	0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,96	1,1	0,98	1,0	1,2	1,1	0,91	0,92	0,96	0,33	0,32	0,29	0,35	0,38	0,35	0,29	0,27	0,29
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5,1	<5	<5	5,3
Tl	**0,03**	µg/l	0,11	0,07	0,13	0,09	0,09	0,12	0,06	0,08	0,10	0,07	0,08	0,08	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09	0,11
U	**0,01**	µg/l	0,25	0,21	0,29	0,39	0,42	0,41	0,36	0,32	0,41	4,2	3,4	2,6	2,6	2,8	2,8	2,3	3,2	2,9
V	**0,5**	µg/l	0,78	0,71	1,3	0,78	0,66	0,62	0,54	0,76	1,7	1,0	0,88	0,90	1,0	0,98	0,97	0,98	0,81	0,90
Zn	**0,005**	mg/l	0,05	0,06	0,08	0,03	0,07	0,04	0,01	0,02	0,14	0,17	0,15	0,08	0,04	0,08	0,17	0,23	0,10	0,09
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 38 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 24.2.2003 (Termin 6)

	Material		Gießereirestsand									Bleihüttengranulat								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,67	0,40	0,33	0,85	0,60	0,84
As	**0,06**	µg/l	3,1	4,2	3,6	2,1	4,2	2,4	1,6	2,6	3,4	5,3	1,5	5,8	3,6	3,0	4,3	3,2	3,7	4,3
Ba	**0,01**	mg/l	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Be	**0,1**	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,19	0,19	0,16	<0,1	<0,1	<0,1	0,21	0,23	0,23
Ca	**0,05**	mg/l	6,8	4,4	4,2	7,8	2,9	3,0	3,5	3,1	4,2	40	37	37	44	46	48	32	45	39
Cd	**0,02**	µg/l	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,2	0,5	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3
Co	**0,07**	µg/l	3,2	2,2	2,8	1,3	1,4	0,9	1,0	1,2	1,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2
Cr	**0,5**	µg/l	3,3	3,2	3,1	2	2,3	2,5	1,7	2,1	2,3	1,1	1,1	1,1	1,4	1,4	1,8	1,7	1,4	1,2
Cu	**1**	µg/l	3,4	8,0	10	1,1	2,6	3,6	2,1	6,7	4,4	1,7	2,0	1,5	<1	<1	1,1	<1	2,5	2,1
Fe	**5**	µg/l	34	35	35	14	13	17	16	18	16	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	0,50	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,52	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	4,9	3,7	4,1	6,0	4,7	3,8	4,5	4,1	4,5	6,0	5,5	8,6	11	12	10	12	13	13
Mg	**0,05**	mg/l	1,6	0,98	1,1	2,6	0,76	0,81	0,92	0,89	1,2	8,1	10,1	3,6	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05
Mn	**5**	µg/l	66	36	31	34	28	23	13	20	21	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	48	38	53	32	31	33	41	45	50	17	15	16	6,6	5,9	2,1	1,5	1,8	1,6
Na	**0,1**	mg/l	398	339	354	346	319	328	336	369	406	7,1	10	12	5,4	7,1	6,6	5,0	5,5	4,4
Ni	**0,3**	µg/l	10	8,3	9,7	4,5	8,4	5,6	5,5	6,6	6,9	2,9	3,2	2,7	2	2	2,5	2,1	2,7	1,8
Pb	**0,1**	µg/l	1,3	1,2	1,1	1,4	1,1	1,1	1,1	1,3	1,1	1,5	1,7	1,3	1,2	1,4	1,4	1,5	1,2	1,3
Sb	**0,01**	µg/l	2,3	3,0	2,9	1,7	2,7	2,1	2,6	2,6	2,8	960	717	234	3,9	1,7	1,7	0,6	2,4	6,6
Sn	**0,3**	µg/l	0,4	<0,3	0,4	<0,3	0,4	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,23	0,17	0,22	0,19	0,19	0,2	0,16	0,2	0,17
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,06	0,06	0,08	0,10	0,09	0,06	0,05	0,07	0,05	0,93	0,53	0,11	1,9	1,9	0,37	0,86	0,10	0,45
U	**0,01**	µg/l	8,7	12	12	4,9	6,6	8,1	8,9	12	12	0,31	0,48	0,42	0,04	0,20	0,27	0,04	0,16	0,05
V	**0,5**	µg/l	4,6	4,6	4,3	2,8	4,3	3,3	2,5	3,2	3,6	1,1	1,7	3,1	10	8,1	14	10	11	12
Zn	**0,005**	mg/l	0,02	0,05	0,02	0,03	<0,005	0,01	0,02	0,02	<0,005	0,03	0,18	0,02	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Zr	**1**	µg/l	2,9	3,6	3,0	<1	<1	<1	<1	1,1	1,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 38 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 24.2.2003 (Termin 6)

	Material		Quarzsand								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		91	92	93	94	95	96	97	98	99
Elem.	Best.-Gr.	Einh.									
Al	**0,01**	mg/l	5,9	9,2	k. Pr.	k. Pr.	0,56	0,98	<0,01	k. Pr.	<0,01
As	**0,06**	µg/l	2,4	1,9	k. Pr.	k. Pr.	1,6	1,6	3,6	k. Pr.	3,9
Ba	**0,01**	mg/l	0,28	0,38	k. Pr.	k. Pr.	0,03	0,04	0,04	k. Pr.	0,05
Be	**0,1**	µg/l	1,8	2,6	k. Pr.	k. Pr.	0,49	0,74	0,27	k. Pr.	<0,1
Ca	**0,05**	mg/l	14,1	13,3	k. Pr.	k. Pr.	23	43	44	k. Pr.	47
Cd	**0,02**	µg/l	5,8	5,5	k. Pr.	k. Pr.	1,9	3,7	0,6	k. Pr.	0,4
Co	**0,07**	µg/l	13	15	k. Pr.	k. Pr.	3,6	7,4	0,3	k. Pr.	0,3
Cr	**0,5**	µg/l	5,4	8,0	k. Pr.	k. Pr.	21	44	0,7	k. Pr.	0,8
Cu	**1**	µg/l	11	7,7	k. Pr.	k. Pr.	6,8	4,7	8,7	k. Pr.	7,7
Fe	**5**	µg/l	1164	647	k. Pr.	k. Pr.	37	39	6,8	k. Pr.	5,1
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	k. Pr.	k. Pr.	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	<0,5
K	**0,1**	mg/l	5,0	5,8	k. Pr.	k. Pr.	16	24	13	k. Pr.	13
Mg	**0,05**	mg/l	8,5	10,2	k. Pr.	k. Pr.	2,9	5,4	2,6	k. Pr.	2,6
Mn	**5**	µg/l	457	607	k. Pr.	k. Pr.	3690	9280	10	k. Pr.	5,5
Mo	**0,04**	µg/l	0,9	1,0	k. Pr.	k. Pr.	0,7	0,7	9,0	k. Pr.	11
Na	**0,1**	mg/l	1,9	2,1	k. Pr.	k. Pr.	0,7	1,4	1,3	k. Pr.	1,3
Ni	**0,3**	µg/l	20	29	k. Pr.	k. Pr.	7,3	11	6,8	k. Pr.	7
Pb	**0,1**	µg/l	12	10	k. Pr.	k. Pr.	5,0	6,9	1,4	k. Pr.	1,2
Sb	**0,01**	µg/l	0,7	0,7	k. Pr.	k. Pr.	0,4	0,3	0,6	k. Pr.	0,7
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	k. Pr.	k. Pr.	<0,3	<0,3	<0,3	k. Pr.	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,06	0,07	k. Pr.	k. Pr.	0,08	0,16	0,1	k. Pr.	0,11
Ti	**5**	µg/l	7,4	5,6	k. Pr.	k. Pr.	<5	<5	<5	k. Pr.	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,31	0,25	k. Pr.	k. Pr.	0,11	0,15	0,06	k. Pr.	0,08
U	**0,01**	µg/l	0,66	0,52	k. Pr.	k. Pr.	0,09	0,09	0,18	k. Pr.	0,22
V	**0,5**	µg/l	3,3	4,4	k. Pr.	k. Pr.	0,83	0,66	1,4	k. Pr.	1,4
Zn	**0,005**	mg/l	0,86	1,2	k. Pr.	k. Pr.	0,34	0,54	0,08	k. Pr.	0,16
Zr	**1**	µg/l	14	23	k. Pr.	k. Pr.	1,2	<1	<1	k. Pr.	1,3

Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von denen in der 2. Spalte abweichen

Tabelle 39: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 3.6.2003 (Termin 7)

	Material		Bankettschälgut L598									Bankettschälgut A30								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	k. Pr.	0,013	0,013	<0,01	<0,01	k. Pr.	<0,01	k. Pr.	k. Pr.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	k. Pr.	<0,01	k. Pr.
As	**0,06**	µg/l	k. Pr.	1,4	1,0	0,7	0,5	k. Pr.	0,6	k. Pr.	k. Pr.	1,3	1,0	1,4	1,1	0,9	1,2	k. Pr.	1,0	k. Pr.
Ba	**0,01**	mg/l	k. Pr.	0,30	0,36	0,23	0,16	k. Pr.	0,22	k. Pr.	k. Pr.	0,074	0,075	0,059	0,084	0,078	0,090	k. Pr.	0,070	k. Pr.
Be	**0,1**	µg/l	k. Pr.	0,14	0,23	0,12	<0,1	k. Pr.	0,14	k. Pr.	k. Pr.	<0,1	<0,1	<0,1	0,12	<0,1	<0,1	k. Pr.	<0,1	k. Pr.
Ca	**0,05**	mg/l	k. Pr.	127	155	126	124	k. Pr.	133	k. Pr.	k. Pr.	83	69	66	105	105	111	k. Pr.	82	k. Pr.
Cd	**0,02**	µg/l	k. Pr.	0,60	0,82	0,74	0,69	k. Pr.	0,67	k. Pr.	k. Pr.	0,93	0,62	0,81	1,1	1,3	0,89	k. Pr.	0,83	k. Pr.
Co	**0,07**	µg/l	k. Pr.	1,4	1,8	1,4	1,4	k. Pr.	1,5	k. Pr.	k. Pr.	0,93	0,78	0,67	1,0	1,1	1,0	k. Pr.	0,94	k. Pr.
Cr	**0,5**	µg/l	k. Pr.	3,1	3,4	2,7	2,6	k. Pr.	2,5	k. Pr.	k. Pr.	2,4	2,5	2,3	2,1	47	7,7	k. Pr.	2,3	k. Pr.
Cu	**1**	µg/l	k. Pr.	18	18	15	13	k. Pr.	12	k. Pr.	k. Pr.	23	28	28	24	30	25	k. Pr.	25	k. Pr.
Fe	**5**	µg/l	k. Pr.	29	28	8,4	6,4	k. Pr.	5,1	k. Pr.	k. Pr.	17	22	24	11	12	11	k. Pr.	8,1	k. Pr.
Hg	**0,5**	µg/l	k. Pr.	0,7	0,7	0,6	0,6	k. Pr.	0,5	k. Pr.	k. Pr.	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	<0,5	k. Pr.
K	**0,1**	mg/l	k. Pr.	41	41	51	46	k. Pr.	50	k. Pr.	k. Pr.	20	20	18	20	21	23	k. Pr.	21	k. Pr.
Mg	**0,05**	mg/l	k. Pr.	14	17	15	15	k. Pr.	18	k. Pr.	k. Pr.	6,1	4,9	4,6	7,6	7,9	8,3	k. Pr.	6,3	k. Pr.
Mn	**5**	µg/l	k. Pr.	3,3	5,3	2,4	3,2	k. Pr.	2,8	k. Pr.	k. Pr.	3,2	3,8	3,0	3,6	4,2	3,6	k. Pr.	2,6	k. Pr.
Mo	**0,04**	µg/l	k. Pr.	18	17	17	16	k. Pr.	20	k. Pr.	k. Pr.	12	2,7	9,5	12	11	13	k. Pr.	10	k. Pr.
Na	**0,1**	mg/l	k. Pr.	7,7	7,3	5,2	3,8	k. Pr.	7,6	k. Pr.	k. Pr.	75	105	81	19	17	24	k. Pr.	30	k. Pr.
Ni	**0,3**	µg/l	k. Pr.	28	35	31	29	k. Pr.	31	k. Pr.	k. Pr.	23	21	19	19	24	19	k. Pr.	19	k. Pr.
Pb	**0,1**	µg/l	k. Pr.	1,0	3,3	1,4	0,8	k. Pr.	0,7	k. Pr.	k. Pr.	1,7	1,4	1,2	1,4	3,8	2,3	k. Pr.	3,0	k. Pr.
Sb	**0,01**	µg/l	k. Pr.	1,4	1,3	2,2	2,4	k. Pr.	3,0	k. Pr.	k. Pr.	1,4	2,1	1,6	1,2	18	3,5	k. Pr.	2,4	k. Pr.
Sn	**0,3**	µg/l	k. Pr.	<0,3	<0,3	0,34	<0,3	k. Pr.	0,32	k. Pr.	k. Pr.	<0,3	0,32	<0,3	<0,3	0,42	0,34	k. Pr.	<0,3	k. Pr.
Sr	**0,01**	mg/l	k. Pr.	0,35	0,42	0,33	0,29	k. Pr.	0,3	k. Pr.	k. Pr.	0,2	0,17	0,16	0,25	0,26	0,26	k. Pr.	0,21	k. Pr.
Ti	**5**	µg/l	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	k. Pr.	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	k. Pr.
Tl	**0,03**	µg/l	k. Pr.	0,16	0,20	0,18	0,20	k. Pr.	0,17	k. Pr.	k. Pr.	0,12	0,12	0,11	0,13	0,13	0,13	k. Pr.	0,14	k. Pr.
U	**0,01**	µg/l	k. Pr.	0,89	1,0	1,6	1,5	k. Pr.	2,4	k. Pr.	k. Pr.	0,22	0,29	0,23	0,17	0,24	0,27	k. Pr.	0,32	k. Pr.
V	**0,5**	µg/l	k. Pr.	2,2	2,1	1,6	1,3	k. Pr.	1,3	k. Pr.	k. Pr.	2,0	2,1	2,0	1,5	2,2	1,9	k. Pr.	1,4	k. Pr.
Zn	**0,005**	mg/l	k. Pr.	0,42	0,57	0,14	0,32	k. Pr.	0,22	k. Pr.	k. Pr.	1,5	1,1	1,2	1,7	1,8	1,8	k. Pr.	1,1	k. Pr.
Zr	**1**	µg/l	k. Pr.	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	<1	k. Pr.	k. Pr.	<1	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	<1	k. Pr.
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 39 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 3.6.2003 (Termin 7)

	Material		Bauschutt									Hausmüllverbrennungsasche								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	25,9	36,7	39,9	16,5	26,8	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
As	**0,06**	µg/l	1,1	0,9	1,0	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2,9	3,3	10,2	4,7	5,6	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ba	**0,01**	mg/l	0,082	0,074	0,076	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,008	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Be	**0,1**	µg/l	0,44	0,39	0,42	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,24	<0,1	<0,1	0,26	<0,1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ca	**0,05**	mg/l	501	391	464	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	10	8,0	10	9,2	7,4	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cd	**0,02**	µg/l	0,54	0,42	0,65	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,81	1,3	0,75	0,96	0,98	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Co	**0,07**	µg/l	9,7	11	8,0	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,35	0,45	0,40	0,41	0,53	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cr	**0,5**	µg/l	81	158	94	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	140	181	152	148	159	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cu	**1**	µg/l	66	72	72	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	483	1040	724	945	1454	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<5	8,2	<5	<5	11,0	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	5,7	8,2	5,9	6,4	7,6	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
K	**0,1**	mg/l	142	194	154	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	95	99	103	115	106	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mg	**0,05**	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mn	**5**	µg/l	2,6	2,2	2,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1,5	2,3	2,6	2,0	2,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mo	**0,04**	µg/l	57	66	62	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	122	342	144	215	186	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Na	**0,1**	mg/l	28	43	28	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	332	378	386	405	416	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ni	**0,3**	µg/l	19	26	24	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	9,5	8,6	8,0	10,0	7,7	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Pb	**0,1**	µg/l	4,7	1,4	1,5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1,0	1,1	1,0	0,8	1,7	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sb	**0,01**	µg/l	0,45	0,58	0,17	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	12	12	13	12	12	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	0,42	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,46	0,39	0,37	0,42	0,66	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sr	**0,01**	mg/l	6,4	4,5	6,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,034	0,026	0,029	0,028	0,026	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ti	**5**	µg/l	6,30	5,90	6,30	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Tl	**0,03**	µg/l	0,12	0,07	0,13	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,10	0,14	0,14	0,14	0,14	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
U	**0,01**	µg/l	0,02	0,03	0,02	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,07	0,07	0,05	0,04	0,03	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
V	**0,5**	µg/l	1,0	1,7	2,0	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	52	60	50	60	64	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Zn	**0,005**	mg/l	<0,005	<0,005	0,005	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<0,005	0,013	<0,005	<0,005	<0,005	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 39 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 3.6.2003 (Termin 7)

	Material		Kehrgut									Referenzmaterial Boden								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,015	0,012	<0,01	<0,01	k. Pr.	<0,01	<0,01	<0,01	k. Pr.	0,011	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
As	**0,06**	µg/l	1,1	0,9	0,9	0,9	k. Pr.	0,7	0,8	0,9	k. Pr.	0,9	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ba	**0,01**	mg/l	0,061	0,061	0,046	0,048	k. Pr.	0,033	0,030	0,031	k. Pr.	0,026	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Be	**0,1**	µg/l	0,15	0,18	0,18	0,17	k. Pr.	0,14	0,16	0,15	k. Pr.	0,16	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ca	**0,05**	mg/l	126	148	126	110	k. Pr.	74	75	86	k. Pr.	100	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cd	**0,02**	µg/l	0,54	0,60	0,69	0,55	k. Pr.	0,63	0,58	0,60	k. Pr.	0,74	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Co	**0,07**	µg/l	1,5	1,5	1,5	1,5	k. Pr.	1,0	1,3	1,8	k. Pr.	1,8	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cr	**0,5**	µg/l	1,7	1,4	1,6	1,7	k. Pr.	1,6	1,5	1,9	k. Pr.	2,0	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Cu	**1**	µg/l	13	19	19	21	k. Pr.	16	14	11	k. Pr.	37	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Fe	**5**	µg/l	39	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	k. Pr.	70	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Hg	**0,5**	µg/l	0,6	<0,5	<0,5	0,6	k. Pr.	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	2,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
K	**0,1**	mg/l	20	21	20	22	k. Pr.	22	21	21	k. Pr.	11	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mg	**0,05**	mg/l	65	67	70	75	k. Pr.	73	63	59	k. Pr.	14	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mn	**5**	µg/l	3,8	2,5	1,8	2,5	k. Pr.	2,0	6,4	21	k. Pr.	55	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Mo	**0,04**	µg/l	31	40	39	60	k. Pr.	50	68	54	k. Pr.	14	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Na	**0,1**	mg/l	95	112	111	152	k. Pr.	159	182	233	k. Pr.	3,6	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ni	**0,3**	µg/l	26	26	25	11	k. Pr.	13	14	31	k. Pr.	19	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Pb	**0,1**	µg/l	0,8	0,7	1,5	0,6	k. Pr.	0,9	0,8	0,9	k. Pr.	1,5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sb	**0,01**	µg/l	16	19	17	28	k. Pr.	19	23	16	k. Pr.	1,1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sn	**0,3**	µg/l	0,41	<0,3	<0,3	<0,3	k. Pr.	<0,3	<0,3	0,34	k. Pr.	<0,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Sr	**0,01**	mg/l	0,77	0,86	0,75	0,87	k. Pr.	0,69	0,55	0,64	k. Pr.	0,27	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Tl	**0,03**	µg/l	0,13	0,11	0,08	0,15	k. Pr.	0,11	0,13	0,14	k. Pr.	0,10	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
U	**0,01**	µg/l	4,6	4,2	4,3	6,2	k. Pr.	5,7	6,1	4,9	k. Pr.	15,1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
V	**0,5**	µg/l	1,8	1,6	1,6	2,1	k. Pr.	2,7	2,1	1,7	k. Pr.	1,7	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Zn	**0,005**	mg/l	0,13	0,14	0,073	0,018	k. Pr.	<0,005	0,075	0,16	k. Pr.	0,11	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	<1	<1	<1	k. Pr.	<1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 39 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 3.6.2003 (Termin 7)

	Material		Pochsand									Auelehm								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,011	<0,01	k. Pr.	k. Pr.	<0,01	<0,01	<0,01	k. Pr.
As	**0,06**	µg/l	0,5	0,5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,9	0,7	k. Pr.	k. Pr.	0,7	0,8	0,7	k. Pr.
Ba	**0,01**	mg/l	0,052	0,070	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,13	0,11	k. Pr.	k. Pr.	0,11	0,10	0,09	k. Pr.
Be	**0,1**	µg/l	0,13	0,17	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,15	0,17	k. Pr.	k. Pr.	0,18	0,16	0,16	k. Pr.
Ca	**0,05**	mg/l	76	84	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	144	134	k. Pr.	k. Pr.	126	117	117	k. Pr.
Cd	**0,02**	µg/l	0,55	0,45	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,36	0,46	k. Pr.	k. Pr.	0,40	0,86	0,32	k. Pr.
Co	**0,07**	µg/l	0,8	0,8	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1,5	1,3	k. Pr.	k. Pr.	1,5	1,4	1,5	k. Pr.
Cr	**0,5**	µg/l	1,7	1,7	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2,1	2,2	k. Pr.	k. Pr.	1,9	1,8	2,2	k. Pr.
Cu	**1**	µg/l	1,7	1,0	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	9,4	9,6	k. Pr.	k. Pr.	9,6	8,7	8,5	k. Pr.
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	<5	<5	<5	k. Pr.
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<0,5	<0,5	k. Pr.	k. Pr.	<0,5	0,6	<0,5	k. Pr.
K	**0,1**	mg/l	1,7	1,7	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	8,1	7,2	k. Pr.	k. Pr.	7,9	7,5	6,6	k. Pr.
Mg	**0,05**	mg/l	37	40	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	4,7	4,3	k. Pr.	k. Pr.	4,1	4,0	3,8	k. Pr.
Mn	**5**	µg/l	2,1	1,9	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2,7	3,1	k. Pr.	k. Pr.	2,1	2,6	5,2	k. Pr.
Mo	**0,04**	µg/l	0,9	9,1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	14	14	k. Pr.	k. Pr.	11	15	15	k. Pr.
Na	**0,1**	mg/l	3,8	3,2	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	4,8	4,3	k. Pr.	k. Pr.	3,9	4,1	4,3	k. Pr.
Ni	**0,3**	µg/l	13	13	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	18	18	k. Pr.	k. Pr.	18	22	19	k. Pr.
Pb	**0,1**	µg/l	1,5	1,2	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,8	1,0	k. Pr.	k. Pr.	0,7	0,8	0,9	k. Pr.
Sb	**0,01**	µg/l	1,4	1,2	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2,1	2,0	k. Pr.	k. Pr.	2,0	1,7	1,8	k. Pr.
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<0,3	<0,3	k. Pr.	k. Pr.	<0,3	<0,3	<0,3	k. Pr.
Sr	**0,01**	mg/l	1,2	1,2	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,37	0,34	k. Pr.	k. Pr.	0,32	0,3	0,28	k. Pr.
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	<5	<5	<5	k. Pr.
Tl	**0,03**	µg/l	0,08	0,12	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,13	0,11	k. Pr.	k. Pr.	0,09	0,14	0,12	k. Pr.
U	**0,01**	µg/l	0,29	0,27	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	3,2	2,4	k. Pr.	k. Pr.	2,4	2,0	3,0	k. Pr.
V	**0,5**	µg/l	0,79	1,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1,4	1,3	k. Pr.	k. Pr.	1,1	1,2	1,4	k. Pr.
Zn	**0,005**	mg/l	0,065	0,072	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,16	0,094	k. Pr.	k. Pr.	0,16	0,26	0,074	k. Pr.
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<1	<1	k. Pr.	k. Pr.	<1	<1	<1	k. Pr.
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 39 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 3.6.2003 (Termin 7)

	Material		Gießereirestsand									Bleihüttengranulat								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,02	0,013	0,02	0,012	0,015	0,02	k. Pr.	k. Pr.	0,02	<0,01	k. Pr.	k. Pr.	0,08	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,14	0,11
As	**0,06**	µg/l	1,7	2,4	2,4	1,2	1,9	2,1	k. Pr.	k. Pr.	2,4	4,3	k. Pr.	k. Pr.	2,5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	3,0	2,8
Ba	**0,01**	mg/l	0,022	0,016	0,016	0,028	0,010	0,011	k. Pr.	k. Pr.	0,009	0,023	k. Pr.	k. Pr.	0,016	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,014	0,014
Be	**0,1**	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	k. Pr.	k. Pr.	<0,1	0,39	k. Pr.	k. Pr.	0,36	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,38	0,39
Ca	**0,05**	mg/l	6,1	4,2	4,1	13	2,5	2,8	k. Pr.	k. Pr.	3,2	38	k. Pr.	k. Pr.	48	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	47	42
Cd	**0,02**	µg/l	0,54	0,42	0,56	0,43	0,50	0,46	k. Pr.	k. Pr.	0,58	0,57	k. Pr.	k. Pr.	0,63	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,34	0,70
Co	**0,07**	µg/l	3,6	1,3	1,8	1,0	1,1	0,76	k. Pr.	k. Pr.	1,0	0,50	k. Pr.	k. Pr.	0,52	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,51	0,38
Cr	**0,5**	µg/l	2,7	5,2	4,0	1,7	2,7	3,6	k. Pr.	k. Pr.	3,4	1,3	k. Pr.	k. Pr.	1,5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1,7	1,7
Cu	**1**	µg/l	7,7	5,0	8,7	1,5	2,0	3,0	k. Pr.	k. Pr.	3,2	2,0	k. Pr.	k. Pr.	1,2	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	2,0	1,7
Fe	**5**	µg/l	30	35	26	9,0	6,7	12	k. Pr.	k. Pr.	13	<5	k. Pr.	k. Pr.	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	0,5	k. Pr.	k. Pr.	0,5	<0,5	k. Pr.	k. Pr.	<0,5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	4,6	3,8	3,9	7,0	4,4	3,6	k. Pr.	k. Pr.	4,1	4,7	k. Pr.	k. Pr.	9,7	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	12	12
Mg	**0,05**	mg/l	1,5	1,1	1,0	4,5	0,69	0,82	k. Pr.	k. Pr.	0,97	9,0	k. Pr.	k. Pr.	<0,05	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,12	<0,05
Mn	**5**	µg/l	63	23	15	35	21	8,7	k. Pr.	k. Pr.	9,3	1,9	k. Pr.	k. Pr.	1,6	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1,5	1,3
Mo	**0,04**	µg/l	47	44	53	30	29	33	k. Pr.	k. Pr.	49	16	k. Pr.	k. Pr.	1,0	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1,1	1,1
Na	**0,1**	mg/l	355	329	325	260	291	295	k. Pr.	k. Pr.	342	6,8	k. Pr.	k. Pr.	3,4	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	4,2	3,5
Ni	**0,3**	µg/l	13	11	11	6,9	10,0	9,8	k. Pr.	k. Pr.	9,3	11	k. Pr.	k. Pr.	10	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	9,5	9,0
Pb	**0,1**	µg/l	0,9	0,7	0,7	1,1	1,1	0,5	k. Pr.	k. Pr.	0,4	0,5	k. Pr.	k. Pr.	0,4	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,4	0,4
Sb	**0,01**	µg/l	2,2	2,9	2,5	1,2	2,4	1,9	k. Pr.	k. Pr.	2,1	864	k. Pr.	k. Pr.	2,4	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	1,9	5,6
Sn	**0,3**	µg/l	0,45	<0,3	0,33	0,30	<0,3	<0,3	k. Pr.	k. Pr.	0,31	0,35	k. Pr.	k. Pr.	<0,3	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,023	0,016	0,015	0,050	0,011	0,012	k. Pr.	k. Pr.	0,012	0,21	k. Pr.	k. Pr.	0,21	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,25	0,22
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	<5	<5	k. Pr.	k. Pr.	<5	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,10	0,09	0,09	0,11	0,09	0,13	k. Pr.	k. Pr.	0,10	1,1	k. Pr.	k. Pr.	1,9	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,19	0,83
U	**0,01**	µg/l	9,5	9,8	11,1	4,0	4,6	6,5	k. Pr.	k. Pr.	10,4	0,43	k. Pr.	k. Pr.	0,04	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	0,43	0,04
V	**0,5**	µg/l	3,4	3,7	3,6	2,2	3,7	3,8	k. Pr.	k. Pr.	3,8	1,1	k. Pr.	k. Pr.	7,6	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	6,3	9,3
Zn	**0,005**	mg/l	0,032	0,053	0,017	0,038	<0,005	<0,005	k. Pr.	k. Pr.	<0,005	0,018	k. Pr.	k. Pr.	<0,005	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<0,005	<0,005
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	k. Pr.	<1	<1	k. Pr.	k. Pr.	<1	k. Pr.	k. Pr.	k. Pr.	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 39 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 3.6.2003 (Termin 7)

	Material		Quarzsand								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		91	92	93	94	95	96	97	98	99
Elem.	Best.-Gr.	Einh.									
Al	**0,01**	mg/l	6,3	9,5	5,7	0,53	k. Pr.	0,62	k. Pr.	0,02	k. Pr.
As	**0,06**	µg/l	2,3	2,0	2,4	1,2	k. Pr.	1,2	k. Pr.	2,6	k. Pr.
Ba	**0,01**	mg/l	0,19	0,16	0,23	0,039	k. Pr.	0,033	k. Pr.	0,046	k. Pr.
Be	**0,1**	µg/l	1,91	2,13	1,64	0,53	k. Pr.	0,62	k. Pr.	0,13	k. Pr.
Ca	**0,05**	mg/l	9,2	5,5	14	26	k. Pr.	24	k. Pr.	51	k. Pr.
Cd	**0,02**	µg/l	3,7	3,2	6,1	1,6	k. Pr.	2,1	k. Pr.	0,37	k. Pr.
Co	**0,07**	µg/l	15	14	8,1	3,4	k. Pr.	5,1	k. Pr.	0,65	k. Pr.
Cr	**0,5**	µg/l	5,2	7,3	7,7	2,1	k. Pr.	2,3	k. Pr.	1,4	k. Pr.
Cu	**1**	µg/l	15	18	15	8,5	k. Pr.	6,8	k. Pr.	10	k. Pr.
Fe	**5**	µg/l	1368	1008	1156	37	k. Pr.	31	k. Pr.	<5	k. Pr.
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	<0,5	k. Pr.	<0,5	k. Pr.
K	**0,1**	mg/l	4,1	4,2	2,6	18	k. Pr.	18	k. Pr.	14	k. Pr.
Mg	**0,05**	mg/l	6	4	9	3	k. Pr.	3	k. Pr.	3,0	k. Pr.
Mn	**5**	µg/l	472	514	918	4277	k. Pr.	5326	k. Pr.	2,9	k. Pr.
Mo	**0,04**	µg/l	0,3	0,3	0,5	0,4	k. Pr.	0,4	k. Pr.	4,6	k. Pr.
Na	**0,1**	mg/l	1,5	1,1	2,1	0,59	k. Pr.	0,59	k. Pr.	1,2	k. Pr.
Ni	**0,3**	µg/l	18	17	19	13	k. Pr.	13	k. Pr.	11	k. Pr.
Pb	**0,1**	µg/l	16	18	13	4,3	k. Pr.	4,2	k. Pr.	1,3	k. Pr.
Sb	**0,01**	µg/l	0,60	0,65	0,59	0,31	k. Pr.	0,28	k. Pr.	0,47	k. Pr.
Sn	**0,3**	µg/l	0,33	0,31	0,38	<0,3	k. Pr.	<0,3	k. Pr.	<0,3	k. Pr.
Sr	**0,01**	mg/l	0,046	0,031	0,057	0,106	k. Pr.	0,106	k. Pr.	0,152	k. Pr.
Ti	**5**	µg/l	6,4	7,3	7,6	<5	k. Pr.	<5	k. Pr.	<5	k. Pr.
Tl	**0,03**	µg/l	0,35	0,30	0,11	0,15	k. Pr.	0,18	k. Pr.	0,10	k. Pr.
U	**0,01**	µg/l	0,78	0,89	0,87	0,11	k. Pr.	0,08	k. Pr.	0,21	k. Pr.
V	**0,5**	µg/l	2,4	3,1	2,7	1,1	k. Pr.	0,79	k. Pr.	1,6	k. Pr.
Zn	**0,005**	mg/l	0,62	0,57	1,1	0,15	k. Pr.	0,28	k. Pr.	0,20	k. Pr.
Zr	**1**	µg/l	13	26	20	<1	k. Pr.	<1	k. Pr.	<1	k. Pr.

Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von denen in der 2. Spalte abweichen

Tabelle 40: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 15.12.2003 (Termin 8)

	Material		Bankettschälgut L598									Bankettschälgut A30								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,14	0,14	0,15	0,13	0,14	k. Pr.	0,13	0,14	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11
As	**0,06**	µg/l	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	k. Pr.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Ba	**0,01**	mg/l	0,70	0,68	0,80	0,42	0,34	k. Pr.	0,33	0,35	0,47	0,13	0,15	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,14	0,11
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	326	294	391	258	275	k. Pr.	212	247	242	166	181	154	143	151	151	130	173	136
Cd	**0,02**	µg/l	0,36	0,55	0,34	0,21	0,24	k. Pr.	0,15	0,16	0,18	0,69	0,73	0,60	0,81	0,89	0,73	0,59	0,71	0,54
Co	**0,07**	µg/l	0,55	0,52	0,60	0,54	0,47	k. Pr.	0,53	0,58	0,42	0,30	0,33	0,32	0,31	0,30	0,34	0,38	0,32	0,36
Cr	**0,5**	µg/l	10,0	12,7	5,6	5,6	5,7	k. Pr.	3,6	3,6	3,4	3,3	3,5	3,7	3,9	3,5	3,6	4,8	3,5	3,6
Cu	**1**	µg/l	18	16	15	11	10,0	k. Pr.	7,3	8,1	11	20	21	25	21	23	21	24	19	20
Fe	**5**	µg/l	12	13	9,6	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	7,5	5,4	11	5,0	7,4	5,0	5,0	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	k. Pr.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
K	**0,1**	mg/l	47	53	50	69	65	k. Pr.	60	56	49	31	32	29	27	27	30	30	28	23
Mg	**0,05**	mg/l	34	32	43	30	32	k. Pr.	28	31	28	12	13	11	10	11	11	10	13	9,7
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	24	23	19	21	18	k. Pr.	19	19	16	16	17	14	15	13	14	14	15	15
Na	**0,1**	mg/l	8,0	8,2	7,8	5,6	5,0	k. Pr.	6,5	6,1	5,2	40	47	50	13	11	15	32	20	21
Ni	**0,3**	µg/l	12	11	13	9,5	11	k. Pr.	8,0	8,6	9,1	8,9	9,7	9,8	11	10	10	12	11	11
Pb	**0,1**	µg/l	0,56	0,73	1,1	0,59	0,65	k. Pr.	0,66	0,37	0,52	0,71	0,68	0,87	0,45	0,40	0,53	0,50	0,55	0,56
Sb	**0,01**	µg/l	3,0	2,6	2,8	3,5	3,8	k. Pr.	3,9	4,0	2,0	2,2	3,0	2,7	2,4	2,4	2,2	3,3	3,2	3,8
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	k. Pr.	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,85	0,72	1,0	0,68	0,70	k. Pr.	0,47	0,58	0,60	0,41	0,44	0,42	0,41	0,39	0,38	0,44	0,46	0,37
Ti	**5**	µg/l	9,4	9,3	10	7,7	8,7	k. Pr.	7,8	9,1	7,9	7,0	7,5	7,8	7,9	7,7	7,0	7,3	6,7	7,5
Tl	**0,03**	µg/l	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	k. Pr.	0,04	0,06	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,06	0,04	0,03
U	**0,01**	µg/l	0,45	0,60	0,70	1,4	1,6	k. Pr.	2,9	2,5	1,2	0,38	0,34	0,30	0,24	0,22	0,26	0,63	0,46	0,49
V	**0,5**	µg/l	2,6	2,8	1,8	1,7	1,5	k. Pr.	4,1	2,6	2,6	2,5	2,5	2,7	2,2	2,2	5,3	4,5	2,4	2,1
Zn	**0,005**	mg/l	0,54	0,49	0,49	0,18	0,43	k. Pr.	0,22	0,27	0,39	2,1	2,0	1,8	1,6	2,2	1,9	1,2	1,9	1,1
Zr	**1**	µg/l	2,0	1,9	1,4	1,2	1,1	k. Pr.	1,1	0,95	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2	0,95	0,95
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 40 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 15.12.2003 (Termin 8)

	Material		Bauschutt									Hausmüllverbrennungsasche								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,22	0,14	0,17	0,13	0,14	0,13	0,13	0,14	0,10	19,00	24,00	22,00	2,40	2,70	7,90	2,20	0,16	k. Pr.
As	**0,06**	µg/l	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	k. Pr.
Ba	**0,01**	mg/l	0,06	0,05	0,03	0,02	0,04	0,06	0,02	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	k. Pr.
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.
Ca	**0,05**	mg/l	153	211	98	19	84	152	151	122	23	4,8	3,2	1,6	4,8	6,7	5,9	7,5	87	k. Pr.
Cd	**0,02**	µg/l	0,06	0,10	0,07	0,07	0,09	0,07	0,95	0,08	0,07	0,37	1,1	0,35	0,85	0,44	2,1	0,96	0,55	k. Pr.
Co	**0,07**	µg/l	10,6	14,1	9,1	10,4	9,5	9,2	8,2	10,1	10,7	0,61	0,70	0,55	0,71	0,85	1,0	0,62	0,66	k. Pr.
Cr	**0,5**	µg/l	171	142	165	162	178	187	157	174	177	127	138	128	123	137	171	140	208	k. Pr.
Cu	**1**	µg/l	114	66	111	120	113	104	51	65	129	949	1050	756	893	698	1450	402	150	k. Pr.
Fe	**5**	µg/l	7,2	<5	<5	18	11	<5	<5	5,2	11	<5	5,0	5,0	6,9	8,4	7,4	5,2	5,0	k. Pr.
Hg	**0,5**	µg/l	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	k. Pr.
K	**0,1**	mg/l	203	245	206	334	264	231	221	281	295	112	120	118	124	117	121	98	132	k. Pr.
Mg	**0,05**	mg/l	0,08	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	0,16	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,9	k. Pr.
Mn	**5**	µg/l	<5	42	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	36	k. Pr.
Mo	**0,04**	µg/l	59	63	55	48	56	57	54	58	55	310	874	285	684	358	1560	817	438	k. Pr.
Na	**0,1**	mg/l	59	68	54	81	62	51	48	73	71	312	366	349	367	375	410	341	419	k. Pr.
Ni	**0,3**	µg/l	58	41	52	53	51	54	22	28	53	3,0	2,6	1,5	2,2	1,8	5,8	1,3	1,7	k. Pr.
Pb	**0,1**	µg/l	0,30	0,32	0,40	0,35	0,85	0,42	2,8	0,67	0,82	0,58	2,1	0,76	0,52	0,75	1,4	0,52	0,48	k. Pr.
Sb	**0,01**	µg/l	0,09	0,29	0,08	0,06	0,06	0,05	0,33	0,49	0,09	31	34	33	28	27	31	24	33	k. Pr.
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,31	0,44	<0,3	<0,3	0,32	0,44	<0,3	<0,3	k. Pr.
Sr	**0,01**	mg/l	13	11	12	10	15	16	7,8	7,0	6,7	0,04	0,01	<0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,35	k. Pr.
Ti	**5**	µg/l	6,8	7,7	5,9	3,6	5,4	6,7	6,9	6,4	<5	5,3	6,9	<5	6,3	5,5	9,8	7,4	7,6	k. Pr.
Tl	**0,03**	µg/l	0,05	0,10	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,05	k. Pr.
U	**0,01**	µg/l	0,04	0,50	0,04	0,03	0,03	0,03	0,57	0,88	0,04	0,08	0,08	0,06	0,68	1,1	0,08	5,8	1,4	k. Pr.
V	**0,5**	µg/l	6,1	7,0	9,5	16	7,8	1,9	15	17	26	92	86	75	81	50	123	31	5,5	k. Pr.
Zn	**0,005**	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,005	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	k. Pr.
Zr	**1**	µg/l	1,0	0,78	0,74	0,73	0,72	0,71	0,69	0,67	0,88	1,0	0,75	0,72	0,76	1,1	0,74	0,93	0,74	k. Pr.
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 40 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 15.12.2003 (Termin 8)

	Material		Kehrgut									Referenzmaterial Boden								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,12	0,13	0,13
As	**0,06**	µg/l	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Ba	**0,01**	mg/l	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	172	173	154	181	157	152	133	127	197	189	202	191	207	212	211	170	188	191
Cd	**0,02**	µg/l	0,06	0,08	0,10	0,14	0,13	0,12	0,14	0,12	0,16	0,12	0,10	0,10	0,09	0,10	0,09	0,07	0,10	0,10
Co	**0,07**	µg/l	0,36	0,41	0,44	0,55	0,58	0,60	0,82	1,1	0,91	1,0	0,67	0,57	0,61	0,86	0,84	0,63	0,49	0,64
Cr	**0,5**	µg/l	3,4	7,2	3,4	3,1	3,3	3,2	3,5	3,7	3,6	3,8	3,3	3,4	4,5	3,0	2,9	3,2	3,2	3,4
Cu	**1**	µg/l	16	24	22	18	18	18	17	15	18	22	16	21	6,4	6,2	7,8	4,4	7,0	4,7
Fe	**5**	µg/l	7,2	6,5	6,0	5,0	5,0	5,0	<5	<5	<5	22	15	40	5,1	5,0	5,0	5,0	7,9	<5
Hg	**0,5**	µg/l	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
K	**0,1**	mg/l	24	26	25	25	24	26	24	23	25	17	16	17	29	29	30	21	22	24
Mg	**0,05**	mg/l	75	78	79	86	74	86	77	68	78	24	22	24	20	20	20	18	20	20
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	52	19	<5	28	294	100	32	10	24
Mo	**0,04**	µg/l	43	48	50	56	53	57	62	56	61	24	24	23	28	26	29	27	30	28
Na	**0,1**	mg/l	68	72	79	106	87	116	145	172	96	4,3	5,3	5,6	3,6	4,2	3,7	4,1	4,6	4,8
Ni	**0,3**	µg/l	14	17	21	16	15	16	19	31	21	8,3	7,6	8,5	5,7	5,6	5,7	4,9	8,5	6,1
Pb	**0,1**	µg/l	0,38	0,38	0,44	0,43	0,42	0,36	0,97	0,79	0,45	1,5	0,59	0,65	0,43	0,41	0,58	0,39	0,75	0,47
Sb	**0,01**	µg/l	22	31	28	30	34	25	27	20	26	1,9	1,5	1,4	2,8	1,1	1,3	1,1	1,2	1,1
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	1,0	1,0	0,92	0,92	0,93	0,89	0,78	0,78	1,1	0,64	0,62	0,53	0,65	0,65	0,66	0,49	0,60	0,64
Ti	**5**	µg/l	7,3	6,7	7,0	8,1	6,7	6,6	6,9	7,6	7,1	7,1	8,1	8,1	7,7	7,9	7,6	7,0	7,4	7,3
Tl	**0,03**	µg/l	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,03	0,03	0,04
U	**0,01**	µg/l	5,0	5,4	5,4	6,2	6,2	6,2	6,6	6,4	6,1	21	19	22	15	14	17	14	17	17
V	**0,5**	µg/l	2,6	2,5	2,4	4,7	3,4	3,3	2,8	2,1	2,0	2,0	1,6	1,8	1,3	1,2	1,2	1,7	1,3	1,2
Zn	**0,005**	mg/l	0,05	0,08	0,05	0,16	0,08	0,05	0,08	0,11	0,11	0,09	0,05	0,08	0,07	0,09	0,09	0,07	0,02	0,06
Zr	**1**	µg/l	1,3	1,3	1,7	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	0,99	1,9	1,3	3,2	0,93	0,80	0,84	0,89	0,83	0,79
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 40 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 15.12.2003 (Termin 8)

	Material		Pochsand									Auelehm								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,10	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,14	0,13	0,14	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,12
As	**0,06**	µg/l	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	0,31	0,25	1,0	1,0	0,95	0,81	0,81	0,76	0,77	0,65	0,70
Ba	**0,01**	mg/l	0,07	0,09	0,08	0,06	0,07	0,06	0,05	0,05	0,06	0,23	0,22	0,24	0,12	0,14	0,17	0,17	0,18	0,14
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	110	116	99	90	89	89	75	76	77	252	232	263	161	162	201	201	219	182
Cd	**0,02**	µg/l	0,07	0,08	0,05	0,05	0,04	0,03	0,05	0,09	0,13	0,25	0,29	0,23	0,14	0,16	0,16	0,46	0,26	0,12
Co	**0,07**	µg/l	0,18	0,19	0,17	0,17	0,17	0,14	0,14	0,13	0,13	0,50	0,52	0,50	0,37	0,42	0,36	0,39	0,51	0,45
Cr	**0,5**	µg/l	3,5	3,4	3,2	4,0	3,8	3,1	3,6	6,1	5,6	5,8	6,5	5,8	5,7	6,5	5,2	5,5	5,1	5,7
Cu	**1**	µg/l	<1	1,2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	9,6	11,9	8,2	7,7	8,8	7,0	7,2	9,0	6,1
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	2,6	2,6	2,3	1,8	2,0	1,8	1,8	1,8	1,9	14	13	13	9	11	12	11	10	9,0
Mg	**0,05**	mg/l	60	62	51	44	44	43	42	41	38	8,3	7,7	8,7	5,1	5,2	6,6	6,8	7,1	6,0
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	11	10	13	9,7	11	8,7	8,4	17	12	20	19	20	18	22	21	17	19	15
Na	**0,1**	mg/l	3,7	3,2	3,0	1,9	2,1	1,9	1,5	1,6	1,7	6,5	6,2	6,1	4,8	4,7	4,8	4,9	5,1	5,3
Ni	**0,3**	µg/l	2,7	3,3	2,5	2,2	2,4	1,9	1,8	1,9	2,3	8,4	9,8	9,1	6,3	7,4	6,4	6,5	6,8	6,0
Pb	**0,1**	µg/l	0,68	1,5	0,64	0,65	0,64	0,44	2,0	1,2	1,5	2,9	2,5	1,1	1,1	1,2	0,75	2,5	1,6	0,62
Sb	**0,01**	µg/l	2,6	2,7	2,1	2,4	2,1	1,7	1,5	2,1	2,0	3,5	3,5	3,6	2,5	3,0	2,9	2,8	2,6	2,4
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	0,37	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	1,8	1,8	1,4	1,4	1,6	1,2	1,1	1,2	1,2	0,74	0,75	0,78	0,47	0,53	0,57	0,56	0,59	0,49
Ti	**5**	µg/l	5,8	5,8	6,2	6,4	5,5	6,4	5,7	5,7	6,1	8,5	8,3	8,2	6,9	6,4	7,3	7,1	8,0	8,3
Tl	**0,03**	µg/l	0,03	<0,03	<0,03	0,03	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,06	0,06	0,06	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,06
U	**0,01**	µg/l	0,68	0,67	0,66	0,82	0,86	0,69	0,73	0,74	0,70	4,8	4,7	3,6	2,2	2,8	2,3	2,1	2,3	2,2
V	**0,5**	µg/l	1,0	1,1	0,85	0,90	0,90	0,77	0,71	1,4	1,3	1,8	1,7	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,2	1,7
Zn	**0,005**	mg/l	0,09	0,09	0,12	0,03	0,06	0,04	0,01	0,02	0,10	0,17	0,18	0,14	0,04	0,06	0,16	0,22	0,11	0,14
Zr	**1**	µg/l	0,69	0,68	0,98	0,76	0,73	0,67	0,66	5,4	5,1	5,4	5,5	5,2	5,1	5,5	4,9	4,9	4,8	4,9
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 40 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 15.12.2003 (Termin 8)

	Material		Gießereirestsand									Bleihüttengranulat								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,07	0,06	0,07	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
As	**0,06**	µg/l	2,7	3,5	3,8	1,3	2,3	2,0	1,5	2,9	2,8	8,0	1,3	4,4	1,3	1,0	1,5	1,1	1,3	2,1
Ba	**0,01**	mg/l	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,06	0,04	0,16	0,16	0,12	0,20	0,14	0,12
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	9,2	6,5	7,2	26	4,3	7,1	5,3	3,2	3,7	54	43	50	71	74	75	72	79	78
Cd	**0,02**	µg/l	0,29	0,15	0,19	0,08	0,09	0,12	0,13	0,11	0,09	0,05	0,04	0,08	0,03	0,02	0,15	0,09	0,04	0,02
Co	**0,07**	µg/l	1,4	1,1	1,2	1,3	0,64	1,3	0,96	0,93	0,65	0,22	0,12	0,14	0,09	0,10	0,25	0,18	0,18	0,18
Cr	**0,5**	µg/l	11	26	27	8,3	7,9	16	10	26	14	5,0	4,5	4,6	5,3	5,2	5,2	6,2	5,4	5,8
Cu	**1**	µg/l	14	8,9	16	5,2	7,2	9,5	7,0	10	8,4	1,3	<1	1,1	<1	<1	1,2	<1	<1	1,3
Fe	**5**	µg/l	21	20	24	12	10	23	13	24	17	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	6,6	5,7	6,1	8,0	5,6	5,5	5,9	4,5	4,6	8,1	5,1	10	16	16	15	21	20	21
Mg	**0,05**	mg/l	2,5	1,9	1,7	8,2	1,3	2,2	1,6	1,1	1,2	16	12	14	7,9	5,5	3,4	3,7	3,2	3,6
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	51	56	70	31	46	45	35	62	58	19	16	22	16	9,9	12	16	14	15
Na	**0,1**	mg/l	367	359	336	224	299	314	302	319	324	6,1	6,1	6,6	6,5	6,9	7,2	7,9	7,5	6,7
Ni	**0,3**	µg/l	5,5	3,1	5,2	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,1	2,4	1,8	1,8	1,5	1,6	1,8	1,8	1,8	2,0
Pb	**0,1**	µg/l	1,2	1,1	1,2	0,49	8,2	0,86	1,1	0,31	0,74	0,43	0,37	0,38	0,43	0,32	1,6	0,74	0,58	0,35
Sb	**0,01**	µg/l	4,0	5,1	5,4	2,1	2,8	2,8	2,2	2,5	2,0	1350	689	745	189	137	132	222	152	242
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,05	0,03	0,03	0,12	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,16	0,12	0,30	0,38	0,40	0,41	0,36	0,46	0,43
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	5,6	<5	<5	<5	5,1	<5	5,9	5,3	<5	5,5	5,7	6,2	6,0	5,9	6,0
Tl	**0,03**	µg/l	0,07	0,03	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	<0,03	5,2	8,4	6,2	20	19	14	20	12	12
U	**0,01**	µg/l	10	8,2	12	4,2	2,7	6,1	6,6	11	10	0,64	0,21	0,34	0,78	0,64	0,64	1,6	0,34	1,99
V	**0,5**	µg/l	4,9	4,6	5,6	2,5	3,7	3,3	3,3	4,3	4,0	2,3	1,9	2,3	1,5	1,5	2,1	1,3	1,6	1,7
Zn	**0,005**	mg/l	0,03	0,04	0,02	0,07	0,01	0,02	0,05	0,01	<0,005	0,02	0,11	0,05	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Zr	**1**	µg/l	6,2	5,4	5,9	5,2	4,7	5,1	4,9	4,8	4,9	4,8	4,7	5,0	4,8	4,8	4,7	4,7	4,8	4,8
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 40 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 15.12.2003 (Termin 8)

	Material		Quarzsand								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		91	92	93	94	95	96	97	98	99
Elem.	Best.-Gr.	Einh.									
Al	**0,01**	mg/l	7,60	8,30	4,70	0,37	0,46	0,50	0,06	0,07	0,06
As	**0,06**	µg/l	1,6	n. b.	1,7	1,3	0,92	0,90	3,6	3,3	3,5
Ba	**0,01**	mg/l	0,20	0,18	0,28	0,05	0,07	0,06	0,04	0,04	0,04
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	14	7,8	25	15	15	17	39	53	42
Cd	**0,02**	µg/l	4,7	5,4	7,5	0,91	1,2	1,4	0,20	1,2	0,26
Co	**0,07**	µg/l	36,0	29,4	29,1	0,36	1,51	0,88	0,17	0,21	0,16
Cr	**0,5**	µg/l	13	8,5	15	5,0	5,2	5,3	4,4	5,0	3,6
Cu	**1**	µg/l	14	9,4	12	6,7	6,1	5,4	5,8	7,5	6,1
Fe	**5**	µg/l	1140	850	615	14	19	10	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	5,2	5,2	4,5	15	15	17	12	14	13
Mg	**0,05**	mg/l	8,8	5,1	14	2,0	2,2	2,2	2,3	3,3	2,3
Mn	**5**	µg/l	970	1020	1870	970	1870	2140	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	0,17	n. b.	0,20	0,14	0,15	0,16	11	12	16
Na	**0,1**	mg/l	1,6	1,2	2,2	0,55	0,57	0,67	0,88	1,1	0,96
Ni	**0,3**	µg/l	38	n. b.	41	7,8	10	12	5,4	6,8	4,8
Pb	**0,1**	µg/l	33	n. b.	16	2,2	2,8	2,6	0,75	2,2	8,5
Sb	**0,01**	µg/l	0,87	n. b.	0,97	0,69	0,71	0,72	1,2	1,4	1,1
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	0,07	0,05	0,11	0,06	0,07	0,08	0,11	0,17	0,09
Ti	**5**	µg/l	8,3	8,5	7,1	6,1	5,4	5,6	5,7	<5	5,1
Tl	**0,03**	µg/l	0,28	n. b.	0,12	0,04	0,06	0,07	0,03	0,05	0,04
U	**0,01**	µg/l	0,80	n. b.	0,69	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03
V	**0,5**	µg/l	2,5	n. b.	3,4	1,4	1,2	1,0	2,9	2,6	2,7
Zn	**0,005**	mg/l	0,81	0,85	1,1	0,17	0,28	0,28	0,08	0,27	0,15
Zr	**1**	µg/l	17	26	23	5,6	5,6	5,8	4,8	5,2	4,3

Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von denen in der 2. Spalte abweichen

Tabelle 41: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 17.2.2004 (Termin 9)

	Material		Bankettschälgut L598									Bankettschälgut A30								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	k. Pr.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	0,99	0,80	0,57	<0,12	<0,12	k. Pr.	<0,12	<0,12	0,16	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
Ba	**0,01**	mg/l	0,47	0,55	0,56	0,52	0,40	k. Pr.	0,38	0,31	0,64	0,19	0,19	0,19	0,21	0,20	0,22	0,21	0,24	0,19
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	270	296	313	410	419	k. Pr.	384	325	373	286	276	276	310	294	311	295	327	267
Cd	**0,02**	µg/l	0,11	0,07	0,12	0,08	0,13	k. Pr.	0,14	0,08	0,10	0,65	0,71	0,43	1,2	1,2	0,93	0,48	0,90	0,38
Co	**0,07**	µg/l	<0,14	<0,14	<0,14	0,24	0,23	k. Pr.	0,32	0,19	<0,14	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7
Cr	**0,5**	µg/l	9,3	9,9	9,8	12	12	k. Pr.	12	9,8	11	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cu	**1**	µg/l	12	11	10	8,0	6,9	k. Pr.	6,2	5,8	7,9	37	<10	11	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fe	**5**	µg/l	9,1	11	9,5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	12	2,4	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	35	40	37	85	79	k. Pr.	72	60	58	37	37	35	36	38	42	39	39	29
Mg	**0,05**	mg/l	28	32	34	46	48	k. Pr.	50	40	43	21	20	20	23	22	24	23	26	19
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	7,6	8,6	10	11	12	k. Pr.	8,1	12	9,2	6,2	6,9	6,9	6,7	8,4	4,2	4,5	6,3	6,5
Na	**0,1**	mg/l	6,0	7,0	5,9	6,9	6,3	k. Pr.	8,0	6,5	7,0	20	24	24	13	12	15	23	19	17
Ni	**0,3**	µg/l	12	10	13	14	15	k. Pr.	14	11	13	<3	<3	<3	3,1	<3	<3	<3	3,3	<3
Pb	**0,1**	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	0,23	<0,2	k. Pr.	0,43	<0,2	<0,2	1,8	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sb	**0,01**	µg/l	2,7	2,5	2,7	3,0	3,0	k. Pr.	3,7	3,5	2,0	1,7	2,1	1,8	1,5	1,6	1,6	1,8	2,2	2,6
Sn	**0,3**	µg/l	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	k. Pr.	<0,6	<0,6	<0,6	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Sr	**0,01**	mg/l	0,7	0,6	0,8	0,9	0,9	k. Pr.	0,8	0,7	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
Ti	**5**	µg/l	8,4	8,6	8,5	9,8	9,5	k. Pr.	9,4	8,6	10	7,8	7,7	7,9	8,2	8,5	8,5	8,1	8,8	7,9
Tl	**0,03**	µg/l	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	k. Pr.	<0,06	<0,06	<0,06	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
U	**0,01**	µg/l	0,22	0,25	0,32	0,85	0,77	k. Pr.	1,7	1,4	0,61	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
V	**0,5**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	<1	<1	<1	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Zn	**0,005**	mg/l	0,44	0,37	0,49	0,19	0,56	k. Pr.	0,32	0,36	0,47	4,0	3,8	3,8	4,4	4,6	4,3	3,6	4,3	2,9
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 41 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 17.2.2004 (Termin 9)

	Material		Bauschutt									Hausmüllverbrennungsasche								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	0,39	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0	0,0	9	14	21	4	9	8	9	1	32	<0,01
As	**0,06**	µg/l	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	4,6	0,45	0,40	1,4	0,20	<0,6	0,34
Ba	**0,01**	mg/l	0,06	0,03	0,06	0,07	0,06	0,10	0,03	0,03	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	248	197	198	207	146	464	113	110	206	6,5	5,3	18	18	6,7	7,6	11	47	3,3
Cd	**0,02**	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,53	1,1	<0,2	0,26
Co	**0,07**	µg/l	6,2	12	5,3	14	11	8,4	9,2	12	12	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	0,7
Cr	**0,5**	µg/l	114	145	127	156	130	153	148	151	156	82	84	90	111	94	111	111	138	126
Cu	**1**	µg/l	90	135	123	151	135	94	121	139	140	800	886	981	1085	956	1252	870	366	904
Fe	**5**	µg/l	<5	7,8	<5	5,1	4,2	<5	6,8	11	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	198	269	239	406	323	258	279	312	341	134	134	142	153	146	142	132	112	128
Mg	**0,05**	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,88	<0,05
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	18	<5
Mo	**0,04**	µg/l	31	47	38	47	38	35	40	48	49	248	444	211	425	266	842	1080	443	665
Na	**0,1**	mg/l	57	82	82	122	103	75	88	106	105	308	359	351	377	370	436	413	414	459
Ni	**0,3**	µg/l	35	39	48	67	55	50	46	46	58	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Pb	**0,1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sb	**0,01**	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	22	23	24	20	20	23	18	54	30
Sn	**0,3**	µg/l	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Sr	**0,01**	mg/l	15	12	11	16	15	20	11	10	14	0,01	<0,01	0,02	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,14	<0,01
Ti	**5**	µg/l	7,2	6,1	6,2	6,6	5,4	11	<5	<5	6,6	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
U	**0,01**	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,50	<0,1	0,13
V	**0,5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	64	57	52	90	70	97	61	36	56
Zn	**0,005**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 41 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 17.2.2004 (Termin 9)

	Material		Kehrgut									Referenzmaterial Boden								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
Ba	**0,01**	mg/l	0,07	0,05	0,05	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,09	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	207	193	191	306	240	267	254	258	354	173	185	191	213	189	191	185	178	172
Cd	**0,02**	µg/l	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Co	**0,07**	µg/l	<0,14	<0,14	<0,14	0,24	0,26	0,42	0,75	1,2	0,73	0,20	0,16	<0,14	<0,14	0,31	0,18	<0,14	<0,14	<0,14
Cr	**0,5**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cu	**1**	µg/l	15	18	18	19	16	17	16	15	16	15	23	21	4,9	5,5	5,1	3,4	3,0	2,8
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	5,3	<5	<5	<5	<5	27	71	86	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	23	23	22	29	25	26	28	27	31	12	15	12	29	28	27	23	21	22
Mg	**0,05**	mg/l	75	69	75	107	78	102	109	103	106	21	21	23	18	16	18	18	17	16
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	50	30	20	70	450	90	30	20	30
Mo	**0,04**	µg/l	26	28	31	37	33	36	44	40	37	10	12	12	16	10	21	21	23	21
Na	**0,1**	mg/l	50	49	56	95	77	95	132	163	94	3,1	5,3	5,1	3,7	3,5	3,4	4,3	4,4	4,2
Ni	**0,3**	µg/l	18	16	18	23	18	24	27	42	31	5,6	6,7	7,3	5,1	4,8	4,0	4,4	3,4	3,5
Pb	**0,1**	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,32	0,23	<0,2	0,22	0,26	<0,2	0,36	0,70	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sb	**0,01**	µg/l	27	26	28	23	26	20	24	19	21	1,3	1,3	1,4	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	0,94
Sn	**0,3**	µg/l	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
Sr	**0,01**	mg/l	1,2	0,86	0,95	1,2	1,0	1,2	1,2	1,1	1,5	0,48	0,48	0,47	0,66	0,61	0,58	0,57	0,48	0,48
Ti	**5**	µg/l	6,4	6,6	6,5	8,3	6,6	7,7	6,8	7,2	9,0	6,6	7,0	7,5	6,3	6,4	5,3	5,8	5,0	5,3
Tl	**0,03**	µg/l	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	0,07	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
U	**0,01**	µg/l	4,0	3,0	4,4	3,8	3,8	3,8	5,1	4,7	4,1	12	13	14	12	11	14	14	11	12
V	**0,5**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Zn	**0,005**	mg/l	0,13	0,15	0,10	0,24	0,15	0,13	0,17	0,26	0,20	0,10	0,06	0,09	0,06	0,08	0,07	0,06	0,02	0,05
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2,4	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 41 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 17.2.2004 (Termin 9)

	Material		Pochsand									Auelehm								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
Ba	**0,01**	mg/l	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,22	0,24	0,23	0,21	0,25	0,25	0,21	0,22	0,21
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	118	123	126	131	122	128	115	118	116	259	277	274	297	304	300	259	287	281
Cd	**0,02**	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,04	0,06	0,08	0,09	0,08	0,12	0,08	0,06	0,05
Co	**0,07**	µg/l	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14
Cr	**0,5**	µg/l	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cu	**1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	3,6	4,1	3,7	3,6	4,0	4,7	4,0	3,7	3,8
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	7,2	<5	<5	<5	<5	24	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	2,5	2,5	2,4	2,2	2,3	2,2	2,3	2,3	2,3	13	13	12	11	13	14	12	12	11
Mg	**0,05**	mg/l	72	75	75	74	70	71	72	71	65	9,2	9,8	9,9	10	10	11	9,1	9,8	9,7
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	5,8	8,4	7,8	9,0	6,9	7,9	7,0	6,0	8,0	14	14	12	14	14	14	14	15	14
Na	**0,1**	mg/l	3,2	3,0	3,0	2,3	2,3	2,7	2,1	2,0	2,0	6,0	6,3	5,8	6,0	5,9	5,3	5,0	5,7	6,2
Ni	**0,3**	µg/l	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	4,8	6,8	7,2	8,2	8,6	7,9	6,5	6,8	7,5
Pb	**0,1**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Sb	**0,01**	µg/l	2,0	2,3	2,6	2,1	1,8	1,9	1,6	1,8	2,5	2,4	2,5	2,8	2,2	2,2	2,6	2,4	2,3	2,2
Sn	**0,3**	µg/l	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
Sr	**0,01**	mg/l	1,5	1,6	1,8	1,7	1,7	1,7	1,5	1,6	2,3	0,56	0,69	0,71	0,79	0,83	0,81	0,65	0,69	0,73
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	5,2	<5	<5	<5	<5	6,3	7,1	7,1	7,2	7,4	7,1	6,9	7,1	7,0
Tl	**0,03**	µg/l	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
U	**0,01**	µg/l	0,09	0,15	0,21	0,21	0,19	0,20	0,08	<0,05	0,23	1,5	2,2	1,5	1,1	1,3	1,2	1,1	1,3	1,3
V	**0,5**	µg/l	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Zn	**0,005**	mg/l	0,07	0,07	0,11	0,04	0,08	0,05	0,03	0,04	0,11	0,14	0,16	0,14	0,06	0,10	0,21	0,26	0,13	0,17
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 41 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 17.2.2004 (Termin 9)

	Material		Gießereirestsand									Bleihüttengranulat								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	0,29	0,77	2,0	<0,12	0,44	0,27	<0,12	1,3	1,8	17	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Ba	**0,01**	mg/l	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,06	0,04	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08	0,06
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	17	12	6,8	34	8,0	11	12	4,4	5,2	46	47	35	38	43	44	32	35	33
Cd	**0,02**	µg/l	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	**0,07**	µg/l	0,39	<0,14	<0,14	0,40	<0,14	0,20	0,61	0,22	0,43	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5
Cr	**0,5**	µg/l	6,7	12	17	3,4	3,3	6,6	3,8	16	13	7,7	6,6	5,5	4,6	4,8	4,9	2,9	3,2	3,0
Cu	**1**	µg/l	4,7	3,3	5,1	2,6	3,5	3,2	4,2	6,4	6,9	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fe	**5**	µg/l	17	8,7	14	12	<5	14	12	11	13	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	6,2	6,1	5,8	7,7	5,8	5,8	6,9	4,7	5,4	12	7,9	11	18	17	18	16	20	19
Mg	**0,05**	mg/l	4,5	3,5	1,6	11	2,3	3,0	3,4	1,4	1,7	26	23	18	9,8	9,2	9,0	3,5	4,4	4,3
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	32	30	44	37	39	34	34	44	57	8,0	12	12	13	13	12	13	9,5	12
Na	**0,1**	mg/l	253	265	277	233	289	273	333	321	352	3,6	4,0	2,9	3,1	3,1	3,7	2,8	3,7	3,3
Ni	**0,3**	µg/l	1,7	<0,6	1,1	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	0,70	1,3	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Pb	**0,1**	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sb	**0,01**	µg/l	2,5	3,7	5,2	1,6	2,6	2,9	2,4	4,5	4,2	2910	3670	2220	2540	2620	2530	1490	1770	1780
Sn	**0,3**	µg/l	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15
Sr	**0,01**	mg/l	0,06	0,04	0,02	0,14	0,03	0,04	0,05	0,01	0,02	0,15	0,10	0,15	0,11	0,12	0,15	0,15	0,16	0,16
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	7,1	16	9,6	16	17	21	16	15	13
U	**0,01**	µg/l	3,9	3,6	6,5	3,2	3,2	3,5	4,5	8,0	10	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
V	**0,5**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Zn	**0,005**	mg/l	0,04	0,05	0,02	0,07	0,01	0,02	0,06	0,01	0,01	0,01	0,07	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 41 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 17.2.2004 (Termin 9)

	Material		Quarzsand								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		91	92	93	94	95	96	97	98	99
Elem.	Best.-Gr.	Einh.									
Al	**0,01**	mg/l	17	20	10	1,7	2,0	2,5	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	0,33	<0,12	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	2,5	2,0	1,9
Ba	**0,01**	mg/l	0,25	0,32	0,28	0,51	0,54	0,46	0,05	0,06	0,08
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	35	20	40	85	72	85	95	105	132
Cd	**0,02**	µg/l	5,1	3,8	6,8	4,3	4,4	5,9	<0,04	<0,04	<0,04
Co	**0,07**	µg/l	22	22	22	0,62	1,7	3,0	<0,14	<0,14	<0,14
Cr	**0,5**	µg/l	4,6	3,4	5,2	<2,5	<2,5	<2,5	<1	<1	<1
Cu	**1**	µg/l	5,7	3,0	4,8	5,5	5,3	5,4	3,6	3,9	3,3
Fe	**5**	µg/l	951	661	656	16	18	16	6,1	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	9,3	10	6,2	32	29	32	17	18	19
Mg	**0,05**	mg/l	22	15	22	11	9,6	11	5,6	6,4	7,3
Mn	**5**	µg/l	610	970	2280	3350	4080	6620	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	<0,08	<0,08	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	3,8	3,6	3,7
Na	**0,1**	mg/l	2,3	1,9	2,6	1,3	1,3	1,3	1,2	1,4	1,8
Ni	**0,3**	µg/l	28	22	28	21	21	25	4,4	5,3	5,5
Pb	**0,1**	µg/l	36	22	15	2,8	3,8	3,7	<0,2	<0,2	<0,2
Sb	**0,01**	µg/l	0,58	0,51	0,58	0,20	0,20	0,19	0,64	0,64	0,66
Sn	**0,3**	µg/l	<0,6	<0,6	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<0,6	<0,6	<0,6
Sr	**0,01**	mg/l	0,17	0,09	0,15	0,47	0,43	0,47	0,26	0,29	0,34
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,85	0,47	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,06	<0,06	<0,06
U	**0,01**	µg/l	0,45	0,31	0,35	<0,05	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02
V	**0,5**	µg/l	<1	<1	<1	<2,5	<2,5	<2,5	<1	<1	<1
Zn	**0,005**	mg/l	0,68	0,59	0,76	0,47	0,54	0,65	0,08	0,32	0,22
Zr	**1**	µg/l	15	24	20	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von denen in der 2. Spalte abweichen

Tabelle 42: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 21.4.2004 (Termin 10)

	Material		Bankettschälgut L598									Bankettschälgut A30								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	k. Pr.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	2,4	2,3	1,9	0,84	0,74	k. Pr.	0,43	0,36	1,6	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	15	<0,04	<0,04
Ba	**0,01**	mg/l	0,30	0,35	0,43	0,34	0,20	k. Pr.	0,21	0,16	0,40	0,20	0,19	0,17	0,20	0,21	0,20	0,17	0,17	0,13
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	178	200	254	289	226	k. Pr.	230	189	238	291	271	243	278	273	264	234	228	172
Cd	**0,02**	µg/l	0,22	0,18	0,23	0,21	0,24	k. Pr.	0,19	0,18	0,23	1,9	1,8	1,4	1,9	1,9	1,7	1,6	1,1	0,77
Co	**0,07**	µg/l	0,36	0,36	0,42	0,45	0,42	k. Pr.	0,56	0,47	0,46	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,80	<0,5	<0,5
Cr	**0,5**	µg/l	10	11	13	14	10	k. Pr.	13	11	11	11	11	10	11	11	9,8	10	8,6	7,1
Cu	**1**	µg/l	14	11	8,9	6,5	7,4	k. Pr.	5,7	6,0	10	10	11	12	13	15	14	14	15	19
Fe	**5**	µg/l	22	16	15	37	5,7	k. Pr.	<5	<5	5,9	<5	5,4	5,2	<5	<5	<5	<5	5,0	5,9
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	21	26	25	64	53	k. Pr.	49	40	43	34	33	30	36	39	39	33	30	24
Mg	**0,05**	mg/l	20	22	29	33	26	k. Pr.	30	23	28	23	21	19	22	22	21	19	19	13
Mn	**5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	<0,5	<0,5	<0,5	<3,3	<3,3	9,3	<3,3	<3,3	<3,3	<3,3	<3,3	<3,3
Mo	**0,04**	µg/l	18	19	18	19	18	k. Pr.	18	16	19	16	14	18	18	16	16	18	15	15
Na	**0,1**	mg/l	3,5	4,6	3,9	4,1	3,2	k. Pr.	4,9	3,3	4,5	11	12	11	9,2	9,4	9,4	12	9,9	8,5
Ni	**0,3**	µg/l	9,5	9,1	11	11	11	k. Pr.	10	8,6	11	14	12	11	13	12	11	38	10	9,0
Pb	**0,1**	µg/l	1,0	0,30	0,47	1,4	0,33	k. Pr.	0,19	0,12	0,30	0,76	<0,67	<0,67	<0,67	<0,67	<0,67	1,2	<0,67	<0,67
Sb	**0,01**	µg/l	3,5	3,1	3,1	3,3	4,0	k. Pr.	4,3	4,1	2,6	1,6	1,9	1,8	1,6	1,5	1,6	2,5	2,2	2,9
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	k. Pr.	<0,3	<0,3	<0,3	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Sr	**0,01**	mg/l	0,45	0,50	0,65	0,69	0,54	k. Pr.	0,53	0,42	0,60	0,76	0,73	0,64	0,74	0,70	0,69	0,71	0,56	0,45
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	k. Pr.	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,03	<0,03	0,03	<0,03	0,04	k. Pr.	0,05	0,05	<0,03	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
U	**0,01**	µg/l	0,13	0,12	0,25	0,41	0,54	k. Pr.	1,1	0,84	0,28	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
V	**0,5**	µg/l	0,87	0,56	<0,5	<0,5	<0,5	k. Pr.	<0,5	<0,5	<0,5	<3,3	<3,3	<3,3	<3,3	<3,3	<3,3	16	<3,3	<3,3
Zn	**0,005**	mg/l	0,42	0,30	0,45	0,23	0,50	k. Pr.	0,30	0,32	0,49	4,6	4,3	3,9	4,6	4,9	4,3	3,4	3,5	2,2
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	k. Pr.	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 42 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 21.4.2004 (Termin 10)

	Material		Bauschutt									Hausmüllverbrennungsasche								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,03	<0,01	6,8	12	16	3,1	9,5	7,2	2,6	13,0	48
As	**0,06**	µg/l	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	2,4	2,6	5,3	4,3	5,1	5,7	7,1	4,4	4,9
Ba	**0,01**	mg/l	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,05	0,05	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	320	299	245	243	211	530	151	172	235	10	8,1	4,7	6,6	10	12	11	19	6,3
Cd	**0,02**	µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,19	0,50	0,06	0,21	0,17	0,46	0,24	1,0	0,38
Co	**0,07**	µg/l	4,7	7,9	5,8	7,0	7,3	6,9	7,7	8,2	8,5	<0,28	<0,28	<0,28	0,30	0,33	0,32	0,38	0,39	0,33
Cr	**0,5**	µg/l	98	122	100	132	114	112	137	142	136	51	56	65	72	74	77	79	80	94
Cu	**1**	µg/l	59	85	75	84	84	63	86	92	88	293	375	353	431	578	517	334	584	488
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	6,9	6,4	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	2,4	<0,5	<0,5	<0,5	2,2	0,65	<0,5	<0,5	<0,5	4,9	<0,5	<0,5	1,8	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	116	162	159	251	243	176	232	262	250	130	136	140	169	149	139	125	142	130
Mg	**0,05**	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mn	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Mo	**0,04**	µg/l	43	52	47	57	50	46	50	61	59	94	217	70	130	116	250	147	467	180
Na	**0,1**	mg/l	26	43	45	66	66	50	69	78	77	247	298	293	327	354	426	418	421	469
Ni	**0,3**	µg/l	34	48	37	41	40	48	45	43	45	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	1,2	<1,2	1,2	<1,2
Pb	**0,1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	1,4	<1	<1	<1	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Sb	**0,01**	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	0,30	0,68	0,20	0,38	0,39	0,32	17	19	16	16	17	21	44	16	23
Sn	**0,3**	µg/l	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2
Sr	**0,01**	mg/l	18	16	16	16	17	19	13	13	15	0,07	0,04	0,03	0,06	0,04	0,07	0,03	0,07	0,03
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12	<0,12
U	**0,01**	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
V	**0,5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	56	54	40	68	71	85	81	60	55
Zn	**0,005**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 42 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 21.4.2004 (Termin 10)

	Material		Kehrgut									Referenzmaterial Boden								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	0,39	0,41	0,30	0,43	0,42	0,44	0,30	0,26	0,39	1,1	1,2	1,4	0,64	0,59	0,59	0,48	0,40	0,41
Ba	**0,01**	mg/l	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	219	202	203	231	199	203	233	231	241	109	106	133	106	116	115	97	89	91
Cd	**0,02**	µg/l	0,07	0,11	0,13	0,15	0,18	0,14	0,13	0,13	0,15	0,06	0,08	0,09	0,12	0,03	0,02	0,03	0,05	0,04
Co	**0,07**	µg/l	0,40	0,41	0,42	0,63	0,64	0,73	1,0	1,5	0,98	0,83	0,69	0,59	0,38	0,71	0,50	0,39	0,32	0,36
Cr	**0,5**	µg/l	21	18	20	24	18	21	24	24	21	<0,5	<0,5	0,66	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cu	**1**	µg/l	10	18	16	18	16	17	13	12	16	48	47	57	7,8	8,2	8,7	5,6	5,3	4,4
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	5,4	<5	<5	<5	<5	<5	89	128	215	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	21	19	18	21	18	20	23	21	22	9,4	9,1	10	21	23	21	16	16	17
Mg	**0,05**	mg/l	70	60	65	73	55	71	87	86	65	14	12	16	8,7	10	9,4	8,3	7,6	7,5
Mn	**5**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,5	<1	43	20	16	46	369	43	15	12	13
Mo	**0,04**	µg/l	32	32	34	42	42	42	46	44	42	13	13	15	15	15	19	20	17	19
Na	**0,1**	mg/l	40	35	43	61	50	60	91	112	57	2,2	3,5	3,3	2,2	2,5	2,3	2,5	2,5	2,4
Ni	**0,3**	µg/l	15	15	16	20	16	18	23	34	24	7,9	8,1	9,8	4,2	4,5	4,2	4,0	4,1	4,0
Pb	**0,1**	µg/l	0,53	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,32	0,52	0,53	0,31	0,11	0,15	<0,1	<0,1	<0,1
Sb	**0,01**	µg/l	25	27	27	26	27	22	22	19	23	1,5	1,4	1,5	1,4	1,2	1,3	1,3	1,3	1,1
Sn	**0,3**	µg/l	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	1,1	0,83	0,83	1,0	0,87	0,91	1,1	1,1	1,1	0,29	0,29	0,35	0,36	0,38	0,37	0,30	0,29	0,28
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,03	<0,03	0,03	0,06	0,06	0,05	<0,03	<0,03	<0,03
U	**0,01**	µg/l	3,2	2,3	2,9	2,8	3,0	2,9	3,4	3,4	2,9	12	11	14	10	9,7	10	9,5	9,0	9,1
V	**0,5**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Zn	**0,005**	mg/l	0,15	0,24	0,19	0,25	0,22	0,14	0,19	0,26	0,22	0,12	0,06	0,11	0,05	0,07	0,06	0,04	0,01	0,04
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3,0	2,8	6,0	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 42 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 21.4.2004 (Termin 10)

	Material		Pochsand									Auelehm								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	0,42	0,37	0,42	0,26	0,27	0,38	0,40	0,39	0,40
Ba	**0,01**	mg/l	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,16	0,19	0,19	0,16	0,20	0,16	0,11	0,14	0,13
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	97	101	100	90	90	87	84	86	85	181	212	228	216	241	201	138	174	177
Cd	**0,02**	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	0,14	0,16	0,15	0,18	0,14	0,12	0,11	0,10
Co	**0,07**	µg/l	<0,18	0,89	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	<0,18	0,19	0,23	0,25	0,23	0,28	0,21	0,20	0,27	0,28
Cr	**0,5**	µg/l	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cu	**1**	µg/l	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	5,7	5,8	5,0	4,9	5,0	5,7	6,6	6,2	6,3
Fe	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	2,3	2,1	2,2	1,9	2,0	1,8	1,9	1,9	1,9	10	11	11	10	12	11	8,9	9,4	9,2
Mg	**0,05**	mg/l	59	61	60	51	52	47	53	52	48	6,1	7,2	7,9	6,9	7,9	6,6	4,6	5,6	5,7
Mn	**5**	µg/l	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Mo	**0,04**	µg/l	8,7	9,1	11	9,0	7,7	7,1	10	8,1	8,1	17	18	13	16	17	17	14	16	17
Na	**0,1**	mg/l	2,7	2,8	2,8	2,4	2,7	2,7	2,2	2,2	2,2	4,2	4,8	4,7	4,0	4,6	3,3	2,8	3,5	3,9
Ni	**0,3**	µg/l	2,3	2,3	2,7	1,9	2,4	2,1	<0,75	<0,75	<0,75	2,5	3,5	3,8	3,6	4,4	3,0	2,6	3,2	3,3
Pb	**0,1**	µg/l	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,1	0,17	<0,1	0,10	0,13	<0,1	1,4	<0,1	0,21
Sb	**0,01**	µg/l	2,4	2,3	2,7	2,4	2,1	2,3	2,0	2,2	2,0	3,3	3,4	3,7	2,7	2,7	3,3	3,3	3,1	3,2
Sn	**0,3**	µg/l	<0,75	<0,75	<0,75	<0,75	<0,75	<0,75	<0,75	<0,75	<0,75	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Sr	**0,01**	mg/l	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	0,48	0,60	0,65	0,56	0,64	0,54	0,37	0,46	0,48
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,03	<0,03	0,04	<0,03	<0,03	<0,03	0,04	0,03	0,03
U	**0,01**	µg/l	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,09	0,11	0,11	0,03	1,6	1,9	1,7	0,90	0,90	1,1	1,1	1,1	1,3
V	**0,5**	µg/l	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<1,25	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Zn	**0,005**	mg/l	0,07	0,07	0,12	0,03	0,09	0,04	0,02	0,03	0,08	0,13	0,16	0,14	0,07	0,22	0,19	0,17	0,13	0,13
Zr	**1**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 42 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 21.4.2004 (Termin 10)

	Material		Gießereirestsand									Bleihüttengranulat								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden			Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Elem.	Best.-Gr.	Einh.																		
Al	**0,01**	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01
As	**0,06**	µg/l	0,90	1,5	2,7	0,88	1,1	1,3	0,85	2,8	3,2	50	<3	18	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Ba	**0,01**	mg/l	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,05	0,03	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	21	23	5,6	20	7,4	7,6	6,2	1,8	2,2	35	33	27	31	37	35	31	28	30
Cd	**0,02**	µg/l	0,02	0,06	<0,02	0,03	<0,02	0,02	<0,02	0,02	<0,02	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Co	**0,07**	µg/l	0,45	0,21	0,18	0,25	0,11	0,20	0,26	0,15	0,17	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5
Cr	**0,5**	µg/l	5,0	13	9,8	4,7	3,1	6,2	3,7	8,7	7,1	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cu	**1**	µg/l	4,2	2,1	3,9	2,0	2,0	2,2	2,5	5,6	3,8	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fe	**5**	µg/l	26	9,4	14	7,3	<5	8,9	9,0	11	10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	4,7	5,6	4,2	5,0	4,1	4,2	4,5	3,0	3,5	8,4	6,7	7,2	8,8	10	10	13	13	13
Mg	**0,05**	mg/l	5,0	5,8	1,3	6,5	1,9	2,0	1,7	0,52	0,72	11	13	9,3	3,7	4,1	4,1	2,9	3,6	3,5
Mn	**5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	3,2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Mo	**0,04**	µg/l	18	16	15	24	17	19	19	20	21	3,7	7,5	4,6	5,9	12	11	9,8	8,9	7,8
Na	**0,1**	mg/l	160	178	197	139	168	175	176	216	247	2,0	2,2	1,5	1,1	1,2	1,3	1,5	1,3	1,4
Ni	**0,3**	µg/l	3,3	2,1	2,2	0,78	0,44	1,0	1,0	2,1	1,7	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Pb	**0,1**	µg/l	<0,1	<0,1	0,14	0,16	<0,1	0,18	0,15	0,12	<0,1	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sb	**0,01**	µg/l	2,5	4,6	4,3	1,9	2,7	3,2	2,4	6,1	5,3	1850	2610	1970	3010	2980	2990	2000	2290	2430
Sn	**0,3**	µg/l	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15
Sr	**0,01**	mg/l	0,07	0,13	0,02	0,09	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,12	0,04	0,07	<0,005	<0,005	<0,005	0,05	0,02	0,02
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	8,5	16	9,6	11	12	15	15	13	12
U	**0,01**	µg/l	3,3	3,2	4,2	3,6	2,3	3,3	3,3	6,2	7,9	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
V	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	0,96	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,7	2,0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Zn	**0,005**	mg/l	0,06	0,10	0,02	0,05	<0,01	0,02	0,04	0,01	<0,01	0,01	0,08	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Zr	**1**	µg/l	2,5	2,5	2,5	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von den in der 2. Spalte angegebenen Werten abweichen																			

Tabelle 42 Fortsetzung: Ergebnisse der Analytik der Lysimetersickerwässer vom 21.4.2004 (Termin 10)

	Material		Quarzsand								
	Abdeckung		Waldboden			Sandboden			Lößboden		
	Lysimeter		91	92	93	94	95	96	97	98	99
Elem.	Best.-Gr.	Einh.									
Al	**0,01**	mg/l	10	13	8,9	1,0	1,2	1,0	<0,01	<0,01	<0,01
As	**0,06**	µg/l	1,1	0,99	0,93	0,78	0,65	0,86	7,4	5,9	6,8
Ba	**0,01**	mg/l	0,13	0,16	0,16	0,21	0,24	0,11	0,02	0,03	0,03
Be	**0,1**	µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ca	**0,05**	mg/l	20	12	24	36	33	22	39	50	60
Cd	**0,02**	µg/l	2,1	1,8	3,0	1,6	2,0	1,3	<0,04	<0,04	<0,04
Co	**0,07**	µg/l	6,8	9,2	9,5	0,22	0,73	0,28	<0,14	<0,14	<0,14
Cr	**0,5**	µg/l	2,3	3,4	3,5	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cu	**1**	µg/l	7,7	5,2	5,6	9,2	9,1	11	5,9	5,9	6,3
Fe	**5**	µg/l	1420	1060	1180	25	32	27	<5	<5	<5
Hg	**0,5**	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
K	**0,1**	mg/l	8,5	8,3	5,8	22	19	17	12	13	14
Mg	**0,05**	mg/l	13	10	12	4,3	4,1	2,6	2,2	3,0	3,1
Mn	**5**	µg/l	212	402	1173	1089	1395	956	<1	<1	<1
Mo	**0,04**	µg/l	<0,08	<0,08	2,5	2,2	2,4	2,6	7,1	10	9,7
Na	**0,1**	mg/l	1,3	1,2	2,0	1,0	0,86	0,74	0,74	0,92	1,1
Ni	**0,3**	µg/l	11	11	12	6,8	7,9	5,3	3,3	3,6	3,6
Pb	**0,1**	µg/l	35	32	20	1,6	2,5	1,5	<0,2	<0,2	<0,2
Sb	**0,01**	µg/l	0,62	0,79	0,64	0,33	0,38	0,32	0,56	0,57	0,57
Sn	**0,3**	µg/l	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
Sr	**0,01**	mg/l	0,10	0,07	0,08	0,20	0,21	0,13	0,12	0,15	0,17
Ti	**5**	µg/l	<5	<5	5,1	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tl	**0,03**	µg/l	0,90	0,73	0,16	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
U	**0,01**	µg/l	0,68	0,66	0,54	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
V	**0,5**	µg/l	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Zn	**0,005**	mg/l	0,32	0,24	0,37	0,16	0,19	0,12	0,04	0,16	0,11
Zr	**1**	µg/l	12	25	21	4,0	4,2	4,3	<1	<1	<1

Durch Verdünnung können sich Bestimmungsgrenzen ergeben, die von denen in der 2. Spalte abweichen

Lebenslauf

Allgemeine Angaben:	
Name	Ralf Bode
Geburtsdatum	31.10.1968
Geburtsort	Osterode am Harz
Staatsangehörigkeit	Deutsch
Schulbildung	1975-1979: Grundschule Dreilinden, Osterode 1979-1981: Orientierungsstufe Dreilinden, Osterode 1981-1988: Gymnasium Osterode
Berufsausbildung	August 1992-Juli 1994: Ausbildung zum Tischler, Alkü Ladeneinrichtungen, Garlebsen, Gesellenprüfung im Juli 1994
Studium	Oktober 1988-März 1992: Studium der Technomathematik, Technische Universität Clausthal Oktober 1995-Juli 2001: Studium der Geographie, Georg-August-Universität Göttingen, Diplomprüfung im Juli 2001 April 2002-April 2005: Promotionsstudium, Georg-August-Universität Göttingen, Promotionsprüfung im April 2005
Berufstätigkeit	August 1994-August 1995: Beschäftigung als Tischlergeselle, Alkü Ladeneinrichtungen, Garlebsen August 2001-März 2002: Anstellung als Grabungstechniker, Landesamt für Archäologie Sachsen Anhalt. Bearbeitung landschaftsgeschichtlich/sedimentologischer Fragestellungen im nordöstlichen Harzvorland im Zuge der Ausgrabung B6n April 2002-Juli 2004: Anstellung als Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Georg-August-Universität Göttingen. Bearbeitung des BMBF-Projektes „Schadstoffaustrag aus schwach belasteten Abfällen, Recyclingprodukten und kontaminierten Materialien