

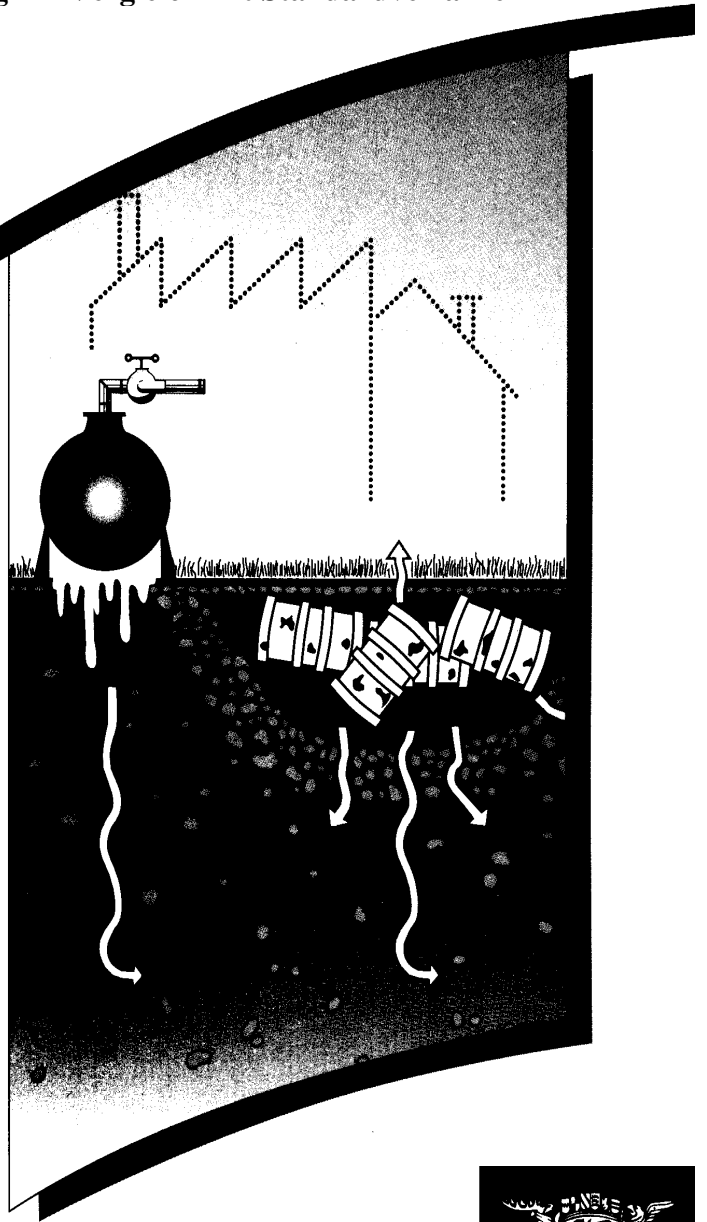
Zentraler Fachdienst Wasser - Boden - Abfall - Altlasten bei
der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

**Handbuch Altlasten
und Grundwasserschadensfälle**

Schnelleluierverfahren und TOC-Testkit

Erprobung für die Abfalleingangskontrolle und Altlasten-
untersuchung im Vergleich mit Standardverfahren

Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung



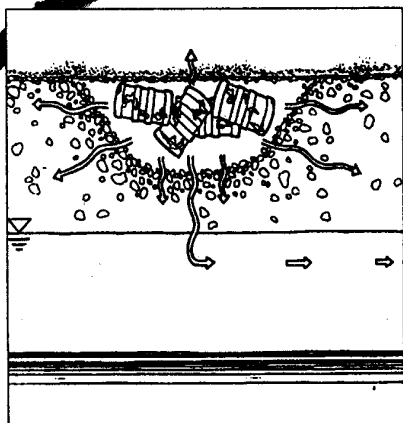
**BODEN
ABFALL
ALLASTEN**



**MINISTERIUM
FÜR UMWELT
UND VERKEHR**

Schnelleluierverfahren und TOC-Testkit

Erprobung für die Abfalleingangskontrolle und Altlasten-
untersuchung im Vergleich mit Standardverfahren



Herausgegeben von der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
1. Auflage

Karlsruhe 1997



Altlastenfachinformation im WWW

Impressum

Herausgeber: Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
Griesbachstr. 1
76185 Karlsruhe

Redaktion: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Abteilung Boden, Abfall, Altlasten
Referat 55 – Labor, MABOWEG
Dr. Werner Eitel

Verfasser: Dr. Arno Maurer
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

Karlsruhe, Juni 1997

Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage. Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt. Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind -auch auszugsweise- nur für eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGEN	1
ZUSAMMENFASSUNG	2
1. EINLEITUNG	3
2. BISHERIGE ERFAHRUNGEN	3
3. ZIELE DER UNTERSUCHUNG	4
4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG	5
4.1 PROBENAUSWAHL UND PROBENVORBEREITUNG.....	5
4.2 PROBENELUTION.....	6
4.2.1 <i>Elution nach DIN</i>	6
4.2.2 <i>Schnellelution</i>	6
4.3 UNTERSUCHUNGSPROGRAMM.....	7
4.3.1 <i>Allgemeines</i>	7
4.3.2 <i>Bestimmung der organoleptischen und physikalischen Parameter</i>	7
4.3.3 <i>Bestimmung des DOC</i>	7
4.3.4 <i>Bestimmung von Nitrit</i>	8
4.3.5 <i>Bestimmung von MKW</i>	8
4.3.6 <i>Bestimmung von Schwermetallen</i>	8
4.3.7 <i>Statistische Auswertung</i>	8
5. ERGEBNISSE	9
5.1 ALLGEMEINES.....	9
5.2 DURCHFÜHRBARKEIT UND REPRODUZIERBARKEIT DER ULTRASCHALLELUTION.....	10
5.3 ZEITVERHALTEN BEI DER SCHNELLELUTION.....	10
5.4 VERGLEICH MIT DER ELUTION NACH DIN.....	12
5.5 ANWENDBARKEIT DES TOC-KÜVETTENTESTS.....	16
6. SCHLUßFOLGERUNGEN	18
7. LITERATUR	19
ANHANG 1: ERGEBNISSE DER ELUATUNTERSUCHUNGEN IM VERGLEICH	20
ANHANG 2: MEßWERTE UND STATISTISCHE AUSWERTUNG	23
ANHANG 3: DOC-MEßWERTE IM VERGLEICH	31
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	33
TABELLENVERZEICHNIS	33
INDEXVERZEICHNIS	34

Abkürzungen

AEK	Abfalleingangskontrolle
AU	Abfalluntersuchung
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
DA	Deklarationsanalyse
DC	gelöster Kohlenstoff
DEV	Deutsche Einheitsverfahren
DIC	gelöster anorganisch gebundener Kohlenstoff
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DOC	gelöster organisch gebundener Kohlenstoff
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MW	Mittelwert
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
R ²	Korrelationskoeffizient
SD	Standardabweichung
TOC	gesamter organisch gebundener Kohlenstoff
TS	Trockensubstanz
US	Ultraschall
VK	Variationskoeffizient

Zusammenfassung

Im Rahmen der Identitätskontrolle von Sonderabfällen und Aushubmaterial aus dem Altlastenbereich wird bei einer Sonderabfalldeponie ein abgekürztes Elutionsverfahren unter Anwendung von Ultraschall eingesetzt. Da als Normverfahren in der Abfallbearbeitung die **Elution nach DIN 38 414 Teil 4** vorgegeben ist, war der Bezug dieses Schnelleluierverfahrens zum Normverfahren zu überprüfen. Anhand von fünf typischen Sonderabfallproben wurde die Handhabung, Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit des Schnellverfahrens beurteilt. Die Konzentrationen im Schnelleluat blieben unter den nach DIN ermittelten Werten. Es zeigte sich, daß die Summenparameter DOC, elektrische Leitfähigkeit und Abdampfdruckstand sowie die Nitritgehalte in einem festen Zusammenhang zu den im DIN-Eluat zu messenden Werten stehen. Die Schwermetalle zeigten ein weniger konsistentes Verhalten. Die Wiederholpräzision, charakterisiert als gemittelter Variationskoeffizient, war im Mittel beim DIN-Verfahren etwas besser. Es läßt sich schließen, daß das Schnelleluierverfahren im Vergleich zum DIN-Verfahren zufriedenstellend genau arbeitet, aber zu Minderbefunden führt, die zu berücksichtigen sind. Ein für den Parameter DOC parallel eingesetzter Küvettentest auf photometrischer Basis erwies sich als praktikabel und erbrachte zur Standardmethode vergleichbare Ergebnisse, allerdings mit verfahrensbedingt geringerer Präzision.

1. Einleitung

Im Rahmen der Sonderabfallannahme an Deponien muß nach der Zweiten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall) eine Identitätskontrolle des angelieferten Materials durchgeführt werden [1]. Um die Mobilisierbarkeit wasserlöslicher Bestandteile zu beurteilen, wird dabei ein besonderer Schwerpunkt auf Eluatkriterien gelegt, wobei für die Elution das Standardverfahren nach DIN 38 414, Teil 4 bzw. DEV S4 [2], im folgenden DIN-Verfahren genannt, vorgeschrieben ist. Die Identität gilt nach TA Abfall als nachgewiesen, wenn die Analysenwerte um nicht mehr als das zweifache von der Deklarationsanalyse abweichen. Bei der Anwendung anderer Verfahren muß die Gleichwertigkeit mit dem Standardverfahren nachgewiesen werden. Das Labor der Sonderabfalldeponie verwendet ein Schnellverfahren, das auf einer Elution der Proben mit Wasser unter Einwirkung von Ultraschall basiert. Das innerhalb von 20 Minuten gewonnene Eluat wird vor Ort auf Schwermetalle und einige weitere Parameter untersucht, sodaß nach etwa 30 Minuten aufgrund der Identifikationsanalyse eine Entscheidung über die Deponierbarkeit getroffen werden kann [3]. Die Elution nach DIN wird auch in der Altlastenbearbeitung zur Beurteilung des Grundwassergefährdungspotentials von Schadstoffen in Altablagerungen und Böden herangezogen.

2. Bisherige Erfahrungen

Die beim DIN-Verfahren vorgegebene Schütteldauer von 24 Stunden ist für eine schnelle Identitätskontrolle, wie auch für andere zeitkritische Entscheidungsprozesse in der Abfall- und Altlastenbearbeitung, nicht praktikabel, weshalb schon seit längerem nach geeigneten schnellen Ersatzverfahren gesucht wird.

In einer früheren LfU-Studie [4] wurden verschiedene Sonderabfallarten mittels zeitlich abgestufter Rühr-, Ultraschall- und Säulenverfahren untersucht und die Ergebnisse anorganischer Parameter mit dem DIN-Verfahren verglichen. Die Anwendbarkeit der Verfahren hing von der Art und Struktur der Abfälle ab. Im allgemeinen bewährten sich zehnminütiges Rühren oder Behandeln im Ultraschallbad. Grobstückiges Material ergab deutliche Minderbefunde gegenüber dem DIN-Eluat. Bei längerer Einwirkung wurden dagegen teilweise mehrfach höhere Werte gefunden, vermutlich infolge der durch mechanische Zerkleinerung vergrößerten Oberfläche. Das Verhalten von Spurenbestandteilen (Schwermetallen) konnte aufgrund der Streuungen bei Meßwerten nahe der Bestimmungsgrenze nicht abschließend beurteilt werden. Von Schwedt [5] wird, ausgehend von einer Vergleichsuntersuchung zwischen DIN-Methoden und Küvettentests an verschiedenen Boden- und Abfallproben, ein Kurzverfahren mit zehnminütiger Rührdauer empfohlen. In dieser Studie wurden Rühr-, Schüttel- und Ultraschallverfahren anhand anorganischer Parameter und des CSB verglichen. Unterschiede in den Ergebnissen wurden primär auf Materialinhomogenitäten zurückgeführt. Bei einer einstündigen Elution von aufbereiteten Baureststoffen [6] unter Rühren und Einwirkung von Ultraschall wurden gute Übereinstimmungen der physikalischen Parameter, Anionen, Kupfer und PAK (eingeschränkt) mit den Werten im DIN-Eluat gefunden.

Für das untersuchte Schnelleluierverfahren stand bisher ein systematischer Vergleich mit der DIN-Methode noch aus, doch war bekannt, daß die Eluatgehalte unter den Gehalten im DIN-Eluat liegen (bei Schwermetallen im Durchschnitt etwa 32 %, [7]). Probleme bereiteten auch

Inkonsistenzen bei den DOC-Werten (DOC = gelöster organisch gebundener Kohlenstoff). Der DOC wird in diesem Fall nicht vor Ort, sondern mit zeitlicher Verzögerung in einem zentralen Labor bestimmt. Der Einfluß von Probennahme-, aufbereitungs- und Transportbedingungen auf den DOC-Gehalt der Eluate kann dabei schwer abgeschätzt werden.

3. Ziele der Untersuchung

Die allgemeine Eignung des Ultraschallverfahrens, ggf. in Abhängigkeit von der Art der Proben und der zu untersuchenden Parameter, sollte anhand eines systematischen Vergleichs mit dem DIN-Standardverfahren geprüft werden. Die Untersuchung umfaßte daher ein erweitertes Meßprogramm mit Mehrfachbestimmungen, Zeitreihen und statistischer Auswertung. Ein Vergleich nach DIN 38 402, Teil 71 „Gleichwertigkeit zweier Analysenverfahren“ war nicht möglich, da es sich hier nicht um Analysenverfahren i.e.S. handelt, die anhand ihrer Verfahrenskenngrößen (z.B. Linearität, Empfindlichkeit, Varianzhomogenität) vergleichbar wären, sondern um Probenaufbereitungsverfahren. Im Rahmen der Erprobung neuer Analysemethoden zur Charakterisierung von Abfällen und Materialien aus dem Altlastenbereich wurde in die Untersuchung auch ein neuartiger TOC-Küvettentest [8] einbezogen und auf seine Anwendbarkeit geprüft. Die Untersuchung sollte Aussagen zu folgenden Fragestellungen ermöglichen:

- **Führt das Ultraschallverfahren zu reproduzierbaren Ergebnissen?**
- **Wie läßt sich das Verhalten der eluierbaren Bestandteile in Abhängigkeit von der Elutionsdauer charakterisieren?**
- **Sind die mit dem Ultraschallverfahren erzielten Analysenwerte im Hinblick auf Richtigkeit und Präzision mit dem DIN-Verfahren vergleichbar?**
- **Bietet der TOC-Küvettentest bei der Anwendung auf Eluate von Sonderabfällen eine Alternative zur instrumentellen TOC-Analytik?**

4. Praktische Durchführung

4.1 Probenauswahl und Probenvorbereitung

Für die Vergleichsuntersuchungen wurden nach Aufkommen und Gefährdungspotential prioritäre Abfallarten ausgewählt. Galvanikschlämme stellen mit etwa 68 % derzeit den weitaus größten Anteil am Sonderabfall dar, gefolgt von belastetem Bodenaushub mit 8 % und Schlacken bzw. Stäuben mit 4 %. In Tab. 1 sind die in der vorliegenden Untersuchung eingesetzten Proben beschrieben. Die nicht aufgeführte Probe mit der Nr. 4, ein kupferhaltiger Galvanikschlamm, wurde nicht weiter untersucht. Tab. 2 enthält die wichtigsten Angaben zur Zusammensetzung der Proben.

Tabelle 1: Auswahl von Sonderabfallproben (ASN = Abfallschlüsselnummer)

Nr.	Bezeichnung	ASN	Herkunft	Hauptkomponenten
1	Kalkschlamm mit schädlichen Verunreinigungen	31621	Aufbereitung von Abwasser aus Eisenphosphatierung und Neutralfettung	Calciumhydroxid, Calciumcarbonat, Eisenhydroxid
2	Galvanikschlamm Cu-haltig	51104	Herstellung von galvanische Überzügen	verschiedene Metallhydroxide
3	Galvanikschlamm Zn-haltig	51105	Verzinken und Chromatierung	Galvanikschlamm; Metallanteile
5	Filterstaub	31301	Verbrennung von Erdgas und Öl	keine
6	ölverunreinigter Boden	31423	Leckagen in Raffinerien	Bodenaushub

Im Anhang 1 sind die Ergebnisse der Deklarationsanalyse, der Abfalluntersuchung und der Abfalleingangskontrolle für die untersuchten Sonderabfälle vergleichend wiedergegeben und mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung gegenübergestellt.

Die Probenahme an Sonderabfällen ist in der TA Abfall, Anhang B, geregelt. Für die vorliegende Untersuchung wurden aus frisch angeliefertem Material Mischproben von 4 - 5 Entnahmepunkten gewonnen. Die Proben liegen ungetrocknet in stichfester Form in Aggregaten mit z.T. sichtbaren farblichen Inhomogenitäten (v.a. bei Galvanikschlämmen) vor. Im Labor wurde die benötigte Menge durch manuelles Zerkleinern und Mischen grob homogenisiert und danach für die Mehrfachbestimmungen geteilt. Auf diese Weise werden die realen Gegebenheiten bei der Identitätskontrolle in etwa angenähert, ohne den Vergleich durch zu große statistische Streuungen zu stören.

Tabelle 2: Zusammensetzung (Gesamtgehalte) der untersuchten Proben; Werte aus der Abfalluntersuchung (AU) 1996

(-: nicht bestimmt; * Schwankungsbreite mehrerer jährlicher AU)

Parameter	Einheit	Probe Nr. (vgl. Tab. 1)				
		1	2	3	5	6
Trockenrückstand	%	50,7	42,2	33,1	41,5	90,7
wasserlös. Anteil	%	2,1	4,4	9,1	1,8	-
TOC (TS)	g/kg	113,3	107,7	57,1	54,1	-
Kohlenwasserstoffe (TS)	g/kg	19,5	5,2	3,6	-	<0,1-23*
Blei	g/kg	0,1	0,32	< 0,1	< 0,1	-
Cadmium	g/kg	< 0,05	0,19	0,05	< 0,05	-
Chrom	g/kg	0,33	1,25	6,02	0,11	-
Kupfer	g/kg	0,24	32,85	0,19	< 0,05	-
Nickel	g/kg	0,43	18	< 0,05	1,3	-
Zink	g/kg	2,06	2,96	91,58	0,24	-

4.2 Probenelution

4.2.1 Elution nach DIN

Die Eluate wurden nach der **DIN-Vorschrift** [2] durch Versetzen einer definierten Probenmasse mit deionisiertem Wasser im Verhältnis 1:10 und 24-stündigem Bewegen auf einer Rüttelmaschine hergestellt. In Abweichung von der Norm wurden Einwaagen kleiner als 100 g verwendet, da mit 1-Liter-Gefäßen gearbeitet wurde. Nach Ablauf der Zeit ließ man die Proben sedimentieren, danach wurde durch Faltenfilter und anschließend durch Membranfilter (0,45 µm) filtriert. Von den so gewonnenen Eluaten wurden Aliquote zur Bestimmung der einzelnen Parameter abgenommen und entsprechend aufbewahrt.

4.2.2 Schnellelution

Das bei der Sonderabfalldeponie angewandte Verfahren sieht eine Einwaage von 30 g Probe vor. Die Probe wird in einem 500 ml-Schraubdeckelglas mit 300 ml deionisiertem Wasser (Verhältnis ebenfalls 1:10) versetzt und in einem temperaturgeregelten Ultraschallbad 20 Minuten lang beschallt. Danach wird mittels Faltenfilter oder einer Extraktionshülse filtriert. Um

einen vom Filtrationsverfahren unabhängigen Vergleich mit dem DIN-Verfahren zu ermöglichen, wurde für das Eluat exakt dieselbe Aufbereitungsmethode verwendet wie unter 4.2.1 beschrieben. Die Temperaturkonstanz des Ultraschallbads wurde mittels eines Umlaufkühlers realisiert und betrug $\pm 1^\circ\text{C}$.

4.3 Untersuchungsprogramm

4.3.1 Allgemeines

Alle Elutionen wurden dreifach durchgeführt und die gemessenen Parameter gemittelt. In einer ersten Versuchsreihe wurde die Abhängigkeit der Eluatgehalte von der Beschallungszeit untersucht. Dazu wurden Parallelversuche mit 10, 20 und 30 Minuten Ultraschalldauer durchgeführt. Für die weiteren Proben wurde eine einheitliche Zeit von 20 Minuten gewählt.

Die Untersuchung umfaßte die Bestimmung der physikalischen Parameter, der Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink, des DOC sowie in einigen Fällen von Nitrit und Mineralölkohlenwasserstoffen. Die jeweiligen Bestimmungsgrenzen sind in den Ergebnistabellen im Anhang 2 aufgeführt.

4.3.2 Bestimmung der organoleptischen und physikalischen Parameter

Die Färbung der Eluate wurde visuell bestimmt. Der pH-Wert wurde mit einem WTW pH 530 und die elektrische Leitfähigkeit mit einem WTW LF 530 gemessen. Zur Ermittlung des Abdampfdruckstands wurden 50 ml des Eluats im Trockenschrank bei 105°C eingedampft und der Rückstand ausgewogen.

4.3.3 Bestimmung des DOC

Allgemeines

Der DOC-Gehalt (gelöster organisch gebundener Kohlenstoff) einer Probe läßt auf die Summe der organische Belastung schließen, erlaubt jedoch keine Aussagen über die Natur der organischen Bestandteile. Der DOC wird bei Abwässern und Abfalleluaten routinemäßig bestimmt. Bei nicht weiter aufbereiteten Proben wird dabei der gesamte organisch gebundene Kohlenstoff (TOC) einschließlich der Schwebstoffe gemessen. Da in der vorliegenden Untersuchung alle Eluate membranfiltriert und so die partikulären Anteile entfernt wurden, liegt per Definition nur noch echt gelöster Kohlenstoff (DOC) vor. Die Normenvorschrift [9] unterscheidet zwischen Austreib- und Differenzmethode. Letztere wird dann empfohlen, wenn nicht zu wenig DOC neben anorganisch gebundenem Kohlenstoff vorliegt, oder wenn flüchtige Bestandteile zu erwarten sind.

Bestimmung mit einem TOC-Analysator

Der DOC wurde nach DIN [9] im Referat 14 der LfU mit den **TOC-Analysern** 500 und 5000 der Fa. Shimadzu bestimmt. Die Eluatproben wurden dazu im Verhältnis 1:10 verdünnt und im Analysator automatisch nach Ansäuern und Austreiben des anorganischen CO₂ katalytisch oxidiert. Das aus organisch gebundenem Kohlenstoff entstehende CO₂ wird über die IR-Absorption quantifiziert (Meßbereich 0,3 bis 10 mg/l).

Bestimmung mit dem TOC-Küvettestest

Zusätzlich wurde der DOC mit einem neuartigen Küvettestest bestimmt, der freundlicherweise von der Fa. Dr. Bruno Lange, Düsseldorf, zur Verfügung gestellt wurde. Der Küvettestest arbeitet nach der Differenzmethode und wird in zwei Meßbereichen geliefert (2 bis 65 mg/l und 60 bis 735 mg/l). Der Aufschluß der Eluate erfolgt dabei in einer Küvette unter Zusatz eines Oxidationsmittels über 2 h bei 100 °C in einem Thermostat. Das entstehende CO₂ diffundiert durch eine gasdurchlässige Membran in eine Indikatorlösung. Die Farbänderung des Indikators wird photometrisch gemessen. Im Vergleich mit einer weiteren Küvette, in der durch Ansäuern lediglich das anorganisch gebundene CO₂ aus der Probe ausgetrieben wurde, berechnet das Photometerprogramm durch Differenzbildung den DOC-Gehalt der Probe. Das Photometer (Dr. Lange CADAS 100) wurde vom Referat 23 der LfU zur Verfügung gestellt.

4.3.4 Bestimmung von Nitrit

Die **Nitritgehalte** wurde nach DEV D10 photometrisch bestimmt.

4.3.5 Bestimmung von MKW

Die **Mineralölkohlenwasserstoffe** wurden nach DEV H18 (DIN 38 409 Teil 18) mit Freon extrahiert, der Extrakt aufgereinigt und die Summe der aliphatischen Kohlenwasserstoffe über IR-Absorption bestimmt.

4.3.6 Bestimmung von Schwermetallen

Die **Schwermetallgehalte** der Eluate wurden aus mit HNO₃ angesäuerter Lösung am ICP-MS bestimmt. Werte oberhalb etwa 0,2 mg/l wurden zusätzlich am ICP-OES gemessen.

4.3.7 Statistische Auswertung

Alle Eluate wurden dreifach durchgeführt. Die Berechnung von Mittelwerten (MW), Standardabweichungen (SD), Variationskoeffizienten ($VK = 100 * SD/MW$) nach DEV Teil A sowie Regressionsgeraden wurde mittels Microsoft ExcelTM 5.0 durchgeführt.

5. Ergebnisse

5.1 Allgemeines

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in den Tabellen im Anhang 2 dargestellt. Angegeben sind Mittelwerte (MW) aus je drei Bestimmungen, Standardabweichungen (SD) und Variationskoeffizienten (VK). Unterhalb der nominellen Bestimmungsgrenze gemessene Werte sind z.T. mit angeführt. Die Analysenergebnisse der Eluate nach DIN sind in Tab. 3 zusammengestellt. Es ist festzustellen, daß die gemessenen Konzentrationen in keinem Fall die nach TA Abfall definierten Zuordnungswerte überschreiten. Eine Aussage über das Verhalten in höheren Konzentrationsbereichen kann daher, da entsprechende höher belastete Proben nicht zur Verfügung standen, nicht gemacht werden.

Tabelle 3: Analysenergebnisse (Eluat nach DIN) für die untersuchten Proben und Vergleich mit Zuordnungswerten der TA Abfall

Parameter (Eluatkriterien)	Einheit	TA Abfall	Probe Nr.				
		Zuordnungswert	1	2	3	5	6
pH - Wert	-	4 bis 13	7,8	7,9	7,7	12,6	7,9
Leitfähigkeit	µS/cm	100000	1559	3847	4320	6483	152
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	10,00	1,70	3,00	3,18	2,47	0,30
Blei	µg/l	2000	< 2	< 2	< 2	< 2	-
Cadmium	µg/l	500	46	37	1	< 1	-
Chrom	µg/l	500	3	31	2	< 1	-
Kupfer	µg/l	10000	26	373	39	< 1	-
Nickel	µg/l	2000	244	687	59	2	-
Zink	µg/l	10000	10	22	8500	12	-
Nitrit	mg/l	30	0,1	8,2	3,7	-	-
DOC	mg/l	200	91	35	65	3	20
DOC (Küvettest)	mg/l	200	94	49	77	9	17
MKW (DEV H18)	mg/l	-	-	-	-	-	3

5.2 Durchführbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ultraschallelution

Die Ultraschallelution erfordert in der Summe der Handhabungsschritte einen leicht erhöhten Arbeitsaufwand gegenüber der DIN-Elution. Während der Elution ist Kühlung erforderlich, da die Temperatur des Ultraschallbades sonst um mehrere °C zunehmen kann und die Probe dann veränderten Bedingungen ausgesetzt ist. Probenmaterialien mit relativ hohem spezifischen Gewicht, z.B. Galvanikschlämme, werden durch die Schalleinwirkung nur schlecht suspendiert und müssen von Zeit zu Zeit manuell geschüttelt werden. Nur unter dieser Bedingung sind die Ergebnisse von parallel durchgeführten Elutionen reproduzierbar.

Bei den Filtrationsschritten ergaben sich keine Auffälligkeiten gegenüber der DIN-Methode. Die Eluate der ölbelasteten Bodenprobe enthielten allerdings Öl in Phase, das sich schlecht durch Filtration entfernen ließ. Die Resttrübungen nach Filtration lagen im allgemeinen unter 0,5 NTU. In einem Fall (3,5 NTU) waren die zugehörigen Schwermetallwerte deutlich erhöht und wurden als Ausreißer behandelt.

Die Variationskoeffizienten (mittlere Standardabweichungen bezogen auf Mittelwert) der Analysenwerte parallel durchgeführter Elutionen liegen abhängig vom untersuchten Parameter zwischen etwa 3 und 20 % (s. dazu Abschnitt 5.4: Vergleich mit dem DIN-Verfahren sowie Tabellen im Anhang 2).

5.3 Zeitverhalten bei der Schnellelution

Erwartungsgemäß sind mit fortschreitender Elutionsdauer zunehmende Stoffkonzentrationen im Eluat zu verzeichnen. Am Beispiel eines zinkhaltigen Galvanikschlammes ist in Abb. 1 und 2 zu erkennen, daß sowohl die summarischen Parameter Leitfähigkeit, Abdampfdruckstand und DOC als auch Nitrit- und die Schwermetallgehalte der Eluate zunehmen, wenn die Beschallungszeit verlängert wird. Der pH-Wert als logarithmische Größe zeigt dagegen wenig Veränderungen. Zwischen 20 und 30 Minuten Beschallungszeit ist bei den meisten Parametern keine signifikante Erhöhung mehr zu verzeichnen, so daß eine Dauer von 20 Minuten einen guten Kompromiß zwischen möglichst weitgehender Elution und möglichst kurzer Bearbeitungszeit darstellt. Eine deutliche Steigerung aller Parameter ist beim Übergang von 30-minütiger Ultraschalleinwirkung zum 24 h-Eluat nach DIN zu beobachten. Eine Überschreitung der DIN-Werte tritt nicht auf.

Bei einer zuvor untersuchten Probe (kupferhaltiger Galvanikschlamm) wurde das manuelle Schütteln noch nicht systematisch durchgeführt. Als Folge konnte hier kein durchgängiger Trend in der Zeitabhängigkeit der Konzentrationen festgestellt werden.

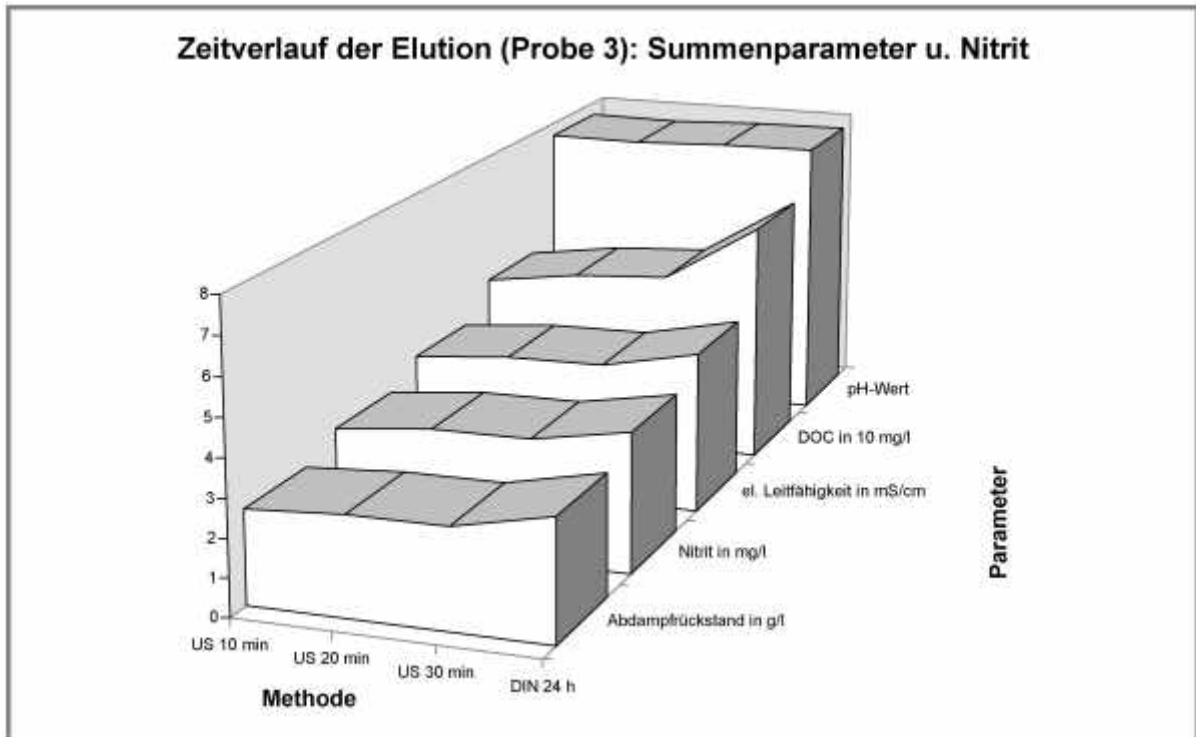


Abbildung 1a: Zeitlicher Verlauf der Eluatgehalte (Galvanikschlamm, Zn-haltig)

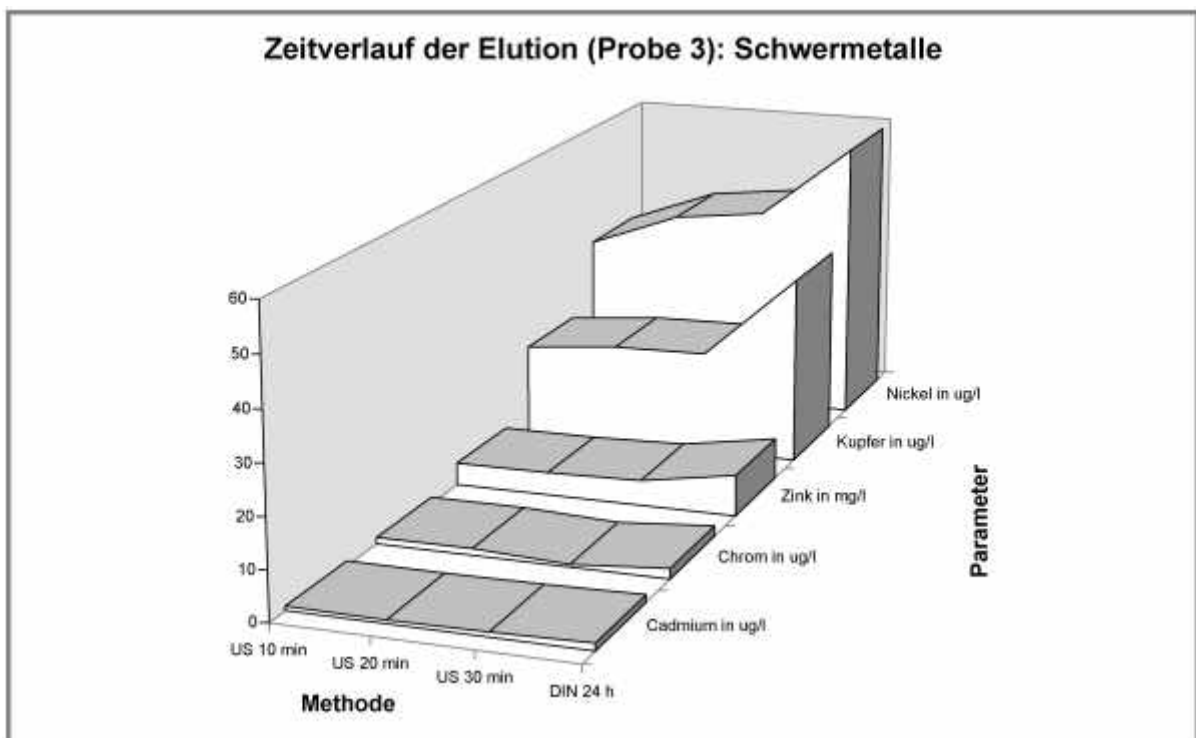


Abbildung 1b: Zeitlicher Verlauf der Schwermetallelution (Galvanikschlamm, Zn-haltig)

5.4 Vergleich mit der Elution nach DIN

Mit der Vorgabe einer einheitlichen Beschallungszeit von 20 Minuten wurden für alle fünf Proben die Vergleichsgrößen ermittelt. Es wurde versucht, die Konzentrationen im DIN-Eluat mit denjenigen im Ultraschall-Eluat linear zu korrelieren. In Abb. 3 bis 5 sind die Meßwertepaare gegeneinander aufgetragen. Dargestellt sind außerdem die Standardabweichungen der DIN-Elution (als horizontale Fehlerbalken) und der Ultraschall-elution (vertikale Fehlerbalken), die aus den Dreifachbestimmungen ermittelt wurden.

Die Abbildungen belegen, daß für die Gesamtheit der untersuchten Sonderabfallproben bei den Parametern Leitfähigkeit, Abdampfrückstand und DOC ein linearer Zusammenhang mit Korrelationskoeffizienten größer oder gleich 0,99 hergestellt werden kann. Entsprechend verhalten sich die mit dem DOC-Küvettest ermittelten Ergebnisse, die hier nicht wiedergegeben sind.

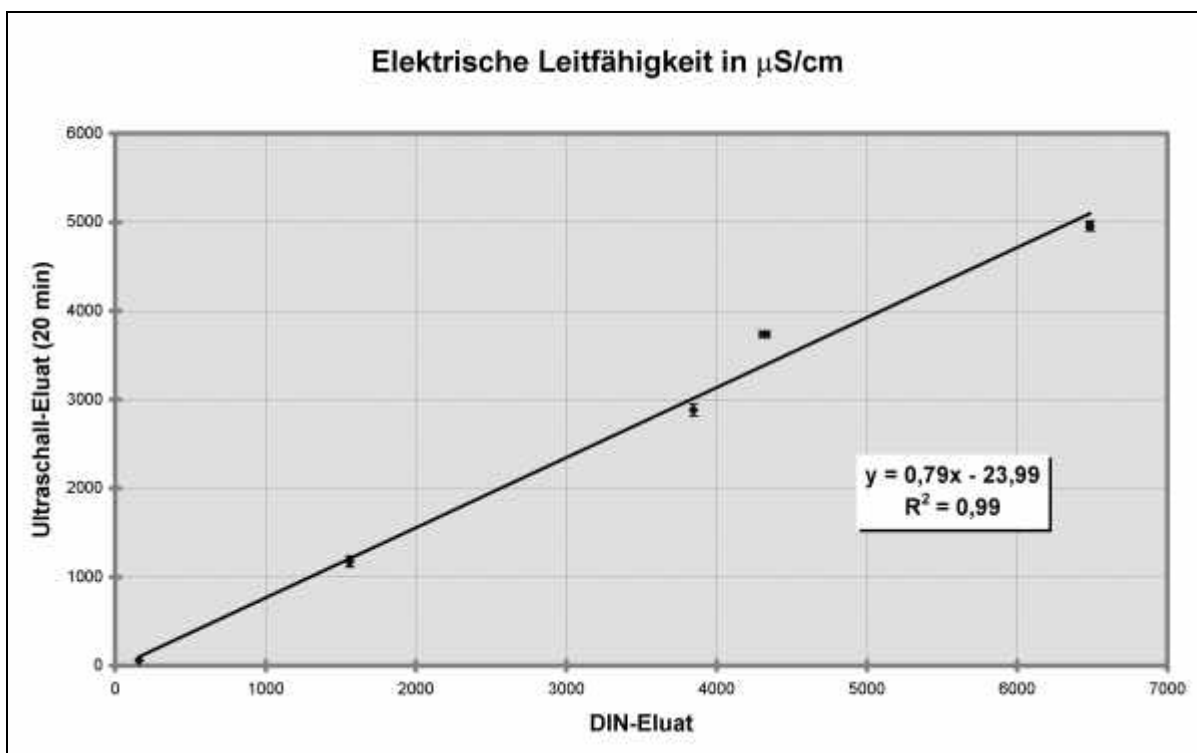


Abbildung 3: Korrelation der elektrischen Leitfähigkeit der Ultraschalleluate mit DIN-Werten für fünf Proben

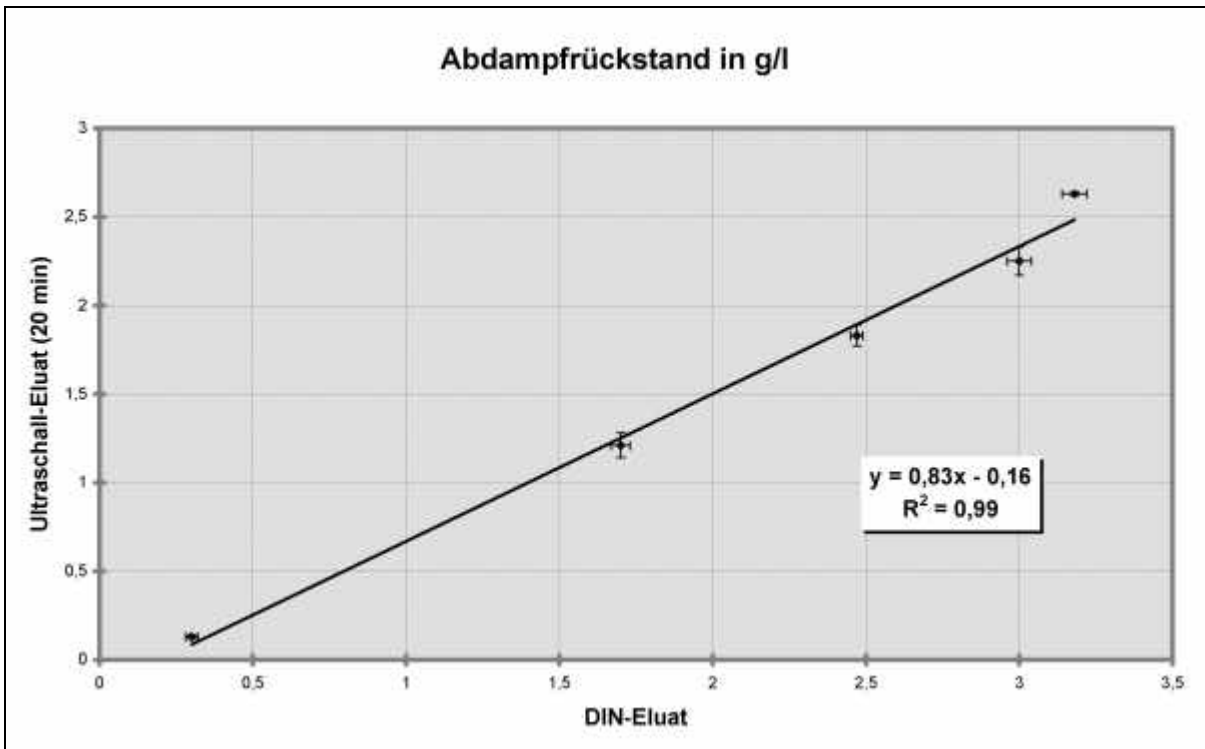


Abbildung 2: Korrelation der Abdampfrückstände der Ultraschalleuate mit DIN-Werten für fünf Proben

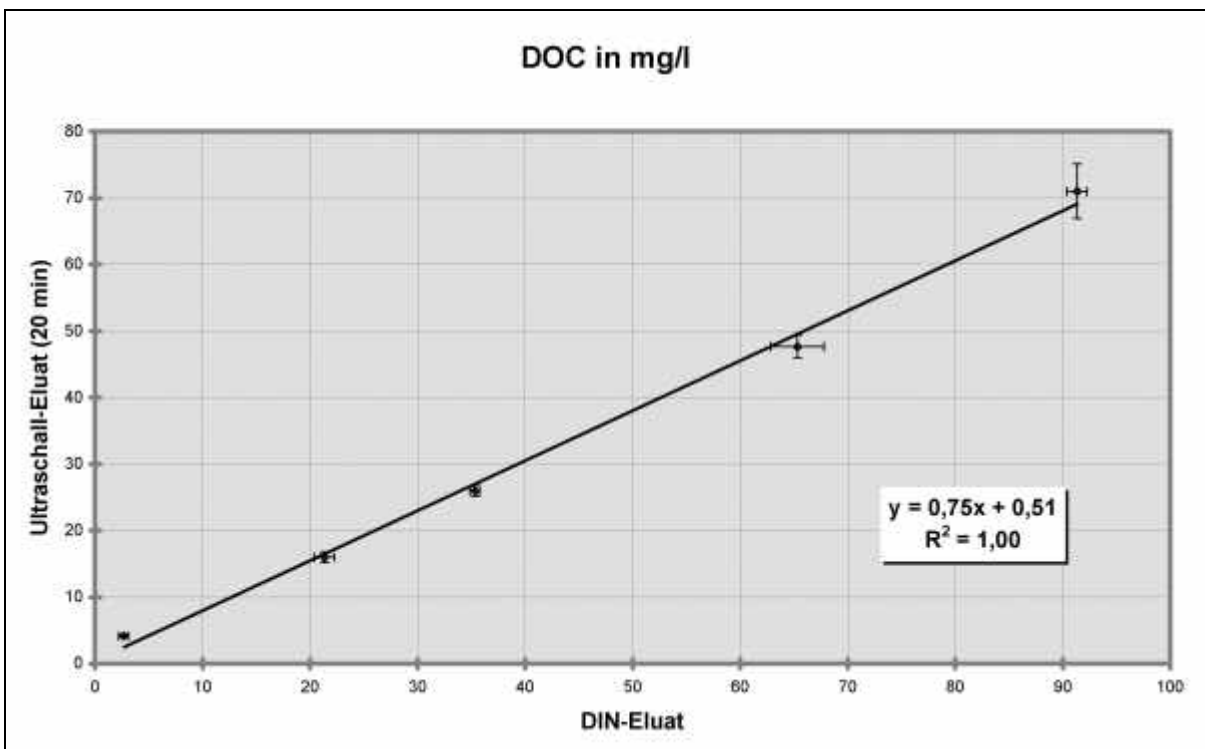


Abbildung 3: Korrelation der DOC-Gehalte der Ultraschalleuate mit DIN-Werten für fünf Proben

Alle Proportionalitätsfaktoren bewegen sich in einem schmalen Bereich von 0,74 bis 0,84. Das bedeutet, daß die aus dem Ultraschalleluat bestimmten Analysenwerte reproduzierbar zwischen 74 und 84 % der nach der Standardmethode zu erwartenden Werte erreichen. Ein ähnliches Verhalten zeigt auch das Nitrit-Ion; hier lagen allerdings nur drei Wertepaare vor, sodaß auf eine Darstellung der Korrelation verzichtet wird. In einem Fall (Kalkschlamm) lagen die Nitritwerte im Schnelleluat mit 0,22 mg/l höher als im DIN-Eluat (0,14 mg/l), was möglicherweise auf Abbaureaktionen während der 24-stündigen Elution zurückgeführt werden kann.

Eine auffallende Diskrepanz zwischen DIN- und Ultraschalleluat tritt bei den Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) auf. Im DIN-Eluat der Bodenprobe wurden, in Übereinstimmung mit der Deklarationsanalyse, etwa 3 mg/l gemessen. Im Ultraschalleluat lagen dagegen 17 mg/l vor, was annähernd einer gesättigten Lösung entspricht. Offensichtlich wird durch die Ultraschalleinwirkung das Bodengefüge so verändert, daß eine höhere MKW-Freisetzung (bis zur Bildung einer Ölphase) stattfindet.

Für die einzelnen Schwermetalle lagen insgesamt zu wenig Wertepaare oberhalb der Bestimmungsgrenzen vor, um eine lineare Korrelation zwischen DIN- und Schnelleluat herzustellen. Abb. 6 zeigt die Verhältnisse zwischen den Konzentrationen im Schnelleluat und im DIN-Eluat für fünf Metalle bei mehreren Proben, wobei jeweils die Mittelwerte aus drei parallel durchgeführten Eluaten verwendet wurden. Die Probe 2 fällt durch insgesamt niedrige Werte von 15 bis 53 % auf. Bei dieser Probe wurde, wie bereits erwähnt, das manuelle Aufschütteln während der Ultraschallbehandlung noch nicht systematisch durchgeführt. Ohne Berücksichtigung dieser Probe findet man Verhältnisse von Ultraschall- zu DIN-Eluat zwischen 50 und 80 % mit einem Mittelwert von etwa 60 %.

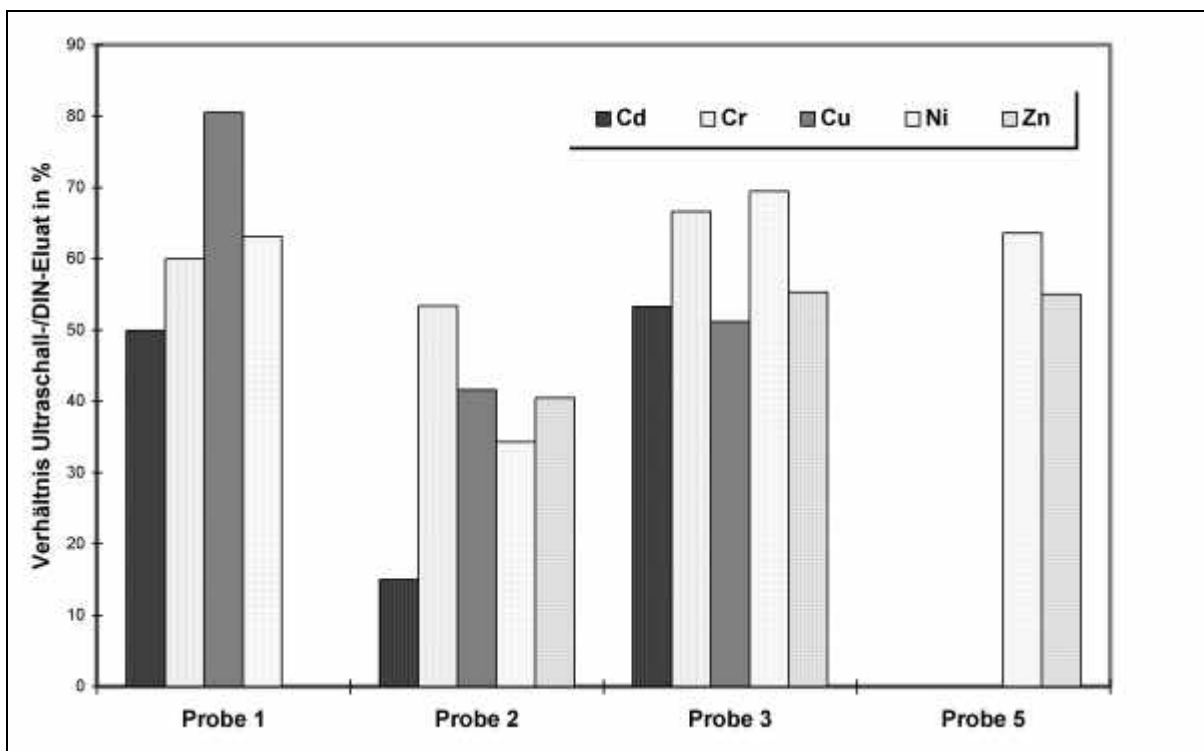


Abbildung 4: Vergleich der Schwermetallkonzentrationen im Ultraschalleluat (20 min) zu Konzentrationen im DIN-Eluat

Um die Zuverlässigkeit und Präzision des Ultraschallverfahrens zu beurteilen, wurden aus den Dreifachbestimmungen die jeweiligen Variationskoeffizienten (VK) berechnet und über alle untersuchten Proben gemittelt. Die gemittelten Variationskoeffizienten (VK_m) für die aus dem Ultraschalleluat bestimmte Parameter sind in Tab. 4 denjenigen des DIN-Verfahrens gegenübergestellt.

Bei den physikalischen Parametern scheint die Reproduzierbarkeit des DIN-Verfahrens besser zu sein. Dasselbe gilt auch für die Schwermetalle, wo die Werte im Schnelleluat um den Faktor zwei bis fünf größere Variationskoeffizienten aufweisen. Es muß allerdings berücksichtigt werden, daß die Konzentrationen im Ultraschalleluat oft niedriger liegen und in der Nähe der Bestimmungsgrenze auch die Streuungen größer sind.

Bei den Parametern DOC und Nitrit scheint das Schnellverfahren geringfügig zuverlässiger zu sein als das DIN-Verfahren. Für den Parameter MKW liegt nur ein Wertepaar vor, die Streuung ist hier bei beiden Verfahren besonders groß. Im Schnitt errechnet sich ein über alle Parameter gemittelter Variationskoeffizient (VK_m) von 5,25 beim DIN-Elutionsverfahren gegenüber 8,07 beim Ultraschallverfahren. Die beim DIN-Verfahren erreichte durchschnittliche Präzision liegt also bei etwa 5 % und die des Ultraschallverfahrens bei etwa 8 %. Dies dürfte unter anderem auch auf die beim Ultraschallverfahren verringerte Probenmenge von 30 g (gegenüber 100 g beim DIN-Verfahren) zurückzuführen sein.

Tabelle 4: Durchschnittliche Variationskoeffizienten für alle gemessenen Parameter (n = Anzahl der Proben; US = Ultraschalleluat, 20 min)

Parameter	pH-Wert	Leitfähigkeit	Abdampfrückst.	DOC	DOC (Küvettest)	Nitrit	MKW
n (Proben)	5	5	5	5	5	3	1
VK_m (DIN)	0,14	0,50	2,56	5,66	12,3	5,78	(23,47)
VK_m (US)	0,37	2,36	3,70	4,64	11,3	2,75	(22,0)

Parameter	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Mittel
n (Proben)	3	3	3	4	2 bzw. 1	
VK_m (DIN)	2,67	4,44	1,73	1,48	(2,34)	5,25
VK_m (US)	12,9	19,9	3,89	3,98	(9,19)	8,07

5.5 Anwendbarkeit des TOC-Küvettentests

Die Anwendung und Durchführung des **TOC-Küvettentests** wurde nach einer gewissen Einarbeitungszeit als relativ einfach empfunden. Bei größeren Probenserien summieren sich die einzelnen Schritte der Handhabung zu spürbarem körperlichen Einsatz. Schwierigkeiten bereitete gelegentlich die Interpretation von unerwarteten Probenverfärbungen, z.B. bei Über- oder Unterschreitung des Meßbereichs oder hohem Chloridgehalt, sowie Flockungserscheinungen. Bei Ergebnissen außerhalb des zulässigen Bereichs muß die Messung nach Verdünnen oder Wechseln des Meßbereichs (anderer Küvettenersatz) wiederholt werden. In einem Fall (Galvanikschlamm, Cu-haltig) wurden Werte zwischen 40 und 50 mg/l erhalten (Bestimmungsgrenze: 60 mg/l). Diese Messungen wurden nicht in die Auswertungen aufgenommen. Eine tabellarische Aufstellung der Ergebnisse findet sich in Anhang 3.

In Abb. 7 sind alle gültigen Meßwerte von 29 Eluaten gegen die mittels instrumenteller DOC-Analytik bestimmten Ergebnisse aufgetragen. Man erkennt, daß die mit dem Küvettentest bestimmten Gehalte mit den Vergleichswerten zufriedenstellend übereinstimmen. Die Unterschiede sind von der Art der Probe abhängig. Die Korrelation ist insgesamt mit einem Koeffizienten von $> 0,95$ als gut zu bezeichnen.

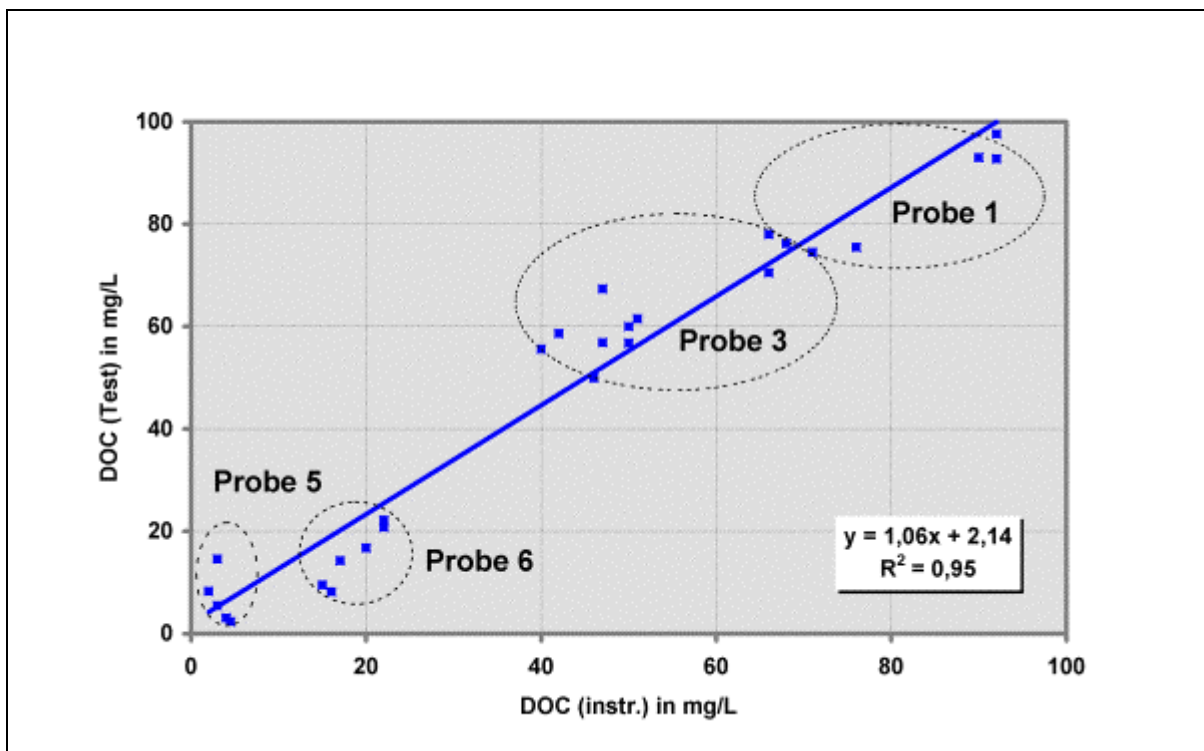


Abbildung 5: Korrelation zwischen instrumenteller DOC-Analytik und Küvettentest (4 Proben, 29 Eluate)

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, daß der Küvettentest in der bisher vorliegenden Ausführung grundsätzlich nach der Differenzmethode arbeitet. In einer Parallelbestimmung werden Gesamtkohlenstoffgehalt (DC) und anorganischer Kohlenstoffgehalt (DIC) getrennt ermittelt und aus der Differenz der DOC berechnet. Die instrumentelle DOC-Analytik konnte während der Untersuchung aus technischen Gründen nur mit der Austreibmethode arbeiten. Bei dieser Methode ist mit Verlusten flüchtiger organischer Kohlenstoff-

verbindungen zu rechnen. Dies mag ein Grund dafür sein, daß bei dem Vergleich der beiden Analysemethoden die mit dem Küvettentest bestimmten Werte im Schnitt um den Faktor 1,06 über den instrumentell bestimmten Werten liegen.

Ein Vergleich der mittleren Variationskoeffizienten (Tabelle 4) läßt darauf schließen, daß der Küvettentest unabhängig von der Herstellungsweise des Eluats etwas weniger genau (VK_m um 12) arbeitet als die instrumentelle DOC-Analytik (VK_m um 5). und Dieser Unterschied läßt sich u.a. damit erklären, daß sich bei einer Differenzmethode die Streuungen der jeweiligen Einzelmeßwerte aufsummieren können. Möglicherweise fällt auch die noch fehlende Routine bei der Bearbeitung ins Gewicht. Der Hersteller des Küvettentests bietet inzwischen auch eine Version an, die mit der Austreibmethode arbeitet, was sowohl die Handhabung als auch die Vergleichbarkeit mit dem instrumentellen Verfahren verbessern dürfte.

Einem Einsatz des Küvettentests in der Abfalleingangskontrolle steht die lange Aufschlußdauer von zwei Stunden entgegen. Es wurde eine Versuchsreihe mit kürzeren Zeiten gemacht (Abb. 8). Nach 30 Minuten wurden 85 % und nach 60 Minuten etwa 89 % des Kohlenstoffs wiedergefunden. Dies gilt sowohl für den DOC als auch für den DC (Gesamtkohlenstoff), da der anorganische Kohlenstoff (DIC) bereits innerhalb der ersten 30 Minuten quantitativ erfaßt wird. Für den Fall, daß eine solche schnelle Anwendung als sinnvoll erachtet wird, müßten Untersuchungen in größerem Umfang durchgeführt werden, um eine verallgemeinerungsfähige Aussage zu gewinnen.

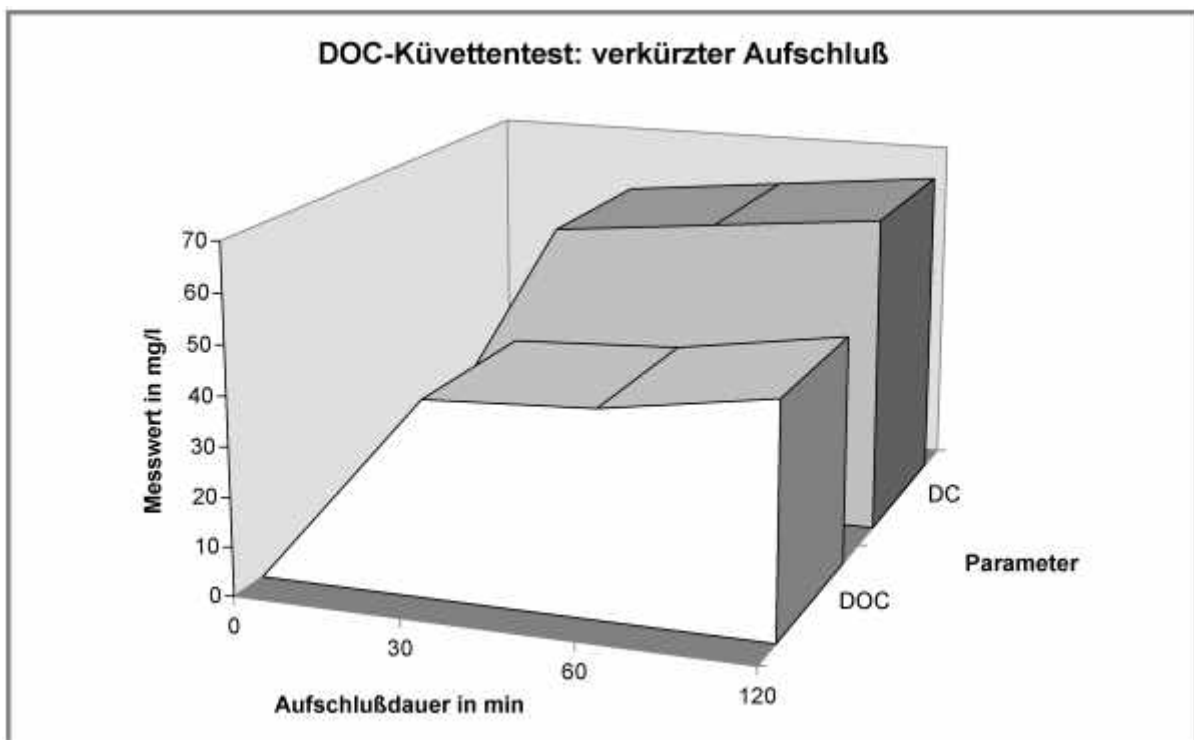


Abbildung 6: Abhängigkeit des DOC- und DC-Meßwerts von der Aufschlußdauer

6. Schlußfolgerungen

Das untersuchte Ultraschall-Elutionsverfahren liefert Werte, die in aller Regel unterhalb der im DIN-Eluat zu messenden Konzentrationen liegen. Eine Beschallungsdauer von 20 Minuten hat sich als Optimum erwiesen. In diesem Fall erreichten die physikalischen Parameter sowie die DOC- und Nitritgehalte bei allen untersuchten Proben etwa 74 - 84 % der nach DIN bestimmten Werte. Die Schwermetalle werden in geringerem Ausmaß eluiert (im Mittel etwa 53 %). Mineralölkohlenwasserstoffe werden durch die Ultraschalleinwirkung weitgehend aufgeschlossen und erreichen höhere Konzentrationen als beim DIN-Verfahren.

Die Präzision des Ultraschallverfahrens liegt mit einem über alle gemessenen Parameter gemittelten Variationskoeffizienten von etwa 8 % nur leicht unter derjenigen des DIN-Verfahrens (ca. 5 %), wobei ein höherer Fehler auch durch die geringere Probeneinwaage verursacht wird. Für den geforderten Zweck, die rasche Bestimmung der wichtigsten Parameter im Eluat, scheint das Schnellverfahren hinreichend genau zu sein. Zu achten ist auf eine ausreichende und regelmäßige Durchmischung der Proben während der Beschallung, da sich spezifisch schwere Materialien schnell am Boden absetzen und damit die Lösungsvorgänge nicht mehr reproduzierbar sind.

Der Einsatz des TOC-Küvettentests zur DOC-Bestimmung in Eluaten von Sonderabfällen hat sich als praktikabel erwiesen. Die Werte stimmen zufriedenstellend mit der instrumentellen Analytik überein; der Korrelationskoeffizient beträgt $> 0,95$. Mit einem mittleren Variationskoeffizient um 12 ist die Präzision (Wiederholbarkeit) niedriger als bei der Standardanalytik (um 5). Die empfohlene Aufschlußdauer von zwei Stunden kann möglicherweise verringert werden; dazu sind aber weitere Untersuchungen notwendig.

7. Literatur

- [1] Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall), 12. März 1991.
- [2] DIN 38 414 Teil 4: Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser, Ausgabe Okt. 1984.
- [3] Eichberger, M.: Deponieeingangskontrolle: Ein Bericht aus der Praxis. Tagung „Schnellanalytische Methoden zur Beurteilung von Abfällen“, Duisburg, 1996.
- [4] Eitel, W.; Kluge, C.; Limbach, W.; Müller, M.: Erfassung, Aufbereitung und Auswertung spezifischer Daten aus dem Bereich der Abfallwirtschaft, insbesondere Daten zu Abfallarten. UBA-Forschungsbericht 103 03 104/02 (1980).
- [5] Schwedt, G.: Photometrische Küvettestests für Sickerwasser, Boden und Abfall - Breites Spektrum. Umweltanalytik 12 (1994).
- [6] Blümel, W.; Düser, O.; Steinkamp, S.: Verwendung von Baureststoffen beim Ausbau der Zentraldeponie Hannover. AbfallwirtschaftsJournal 6, 4 (1994), S. 209-214.
- [7] pers. Mitt. Dr. Völker, SBW-Labor, Stuttgart (1996).
- [8] Schmidt, K.D.: TOC Küvettestest. Dr. Lange Aktuell 12 (1995), S. 6.
- [9] DIN 38 409 Teil 3: Bestimmung des gesamten organisch gebundenen Kohlenstoffs (TOC), Ausgabe Juni 1983.

Anhang 1: Ergebnisse der Eluatuntersuchungen im Vergleich

Legende:

DA	= Deklarationsanalyse (DIN-Eluat)
AU 96	= Abfalluntersuchung im Jahr 1996 (DIN-Eluat)
AEK	= Abfalleingangskontrolle (Schnelleluat)
DIN	= Ergebnisse der Vergleichsuntersuchung (DIN-Eluat)
US 20	= Ergebnisse der Vergleichsuntersuchung (Schnelleluat, 20 min)
-	= entfällt oder nicht bestimmt

Eluat, Probe 1 (Kalkschlamm m.s.V.), Labor Nr. 3460

UNTERSUCHTE PARAMETER	Einheit	DA	AU 96	AEK	DIN	US 20
PHYSIKALISCHE PARAMETER						
Farbe/ Färbung	-	farblos	gelb	-	-	-
pH - Wert	-	7,4	7,3	7,2	7,8	7,5
Leitfähigkeit	µS/cm	1690	2490	529	1559	1176
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	1,23	2,12	-	1,70	1,21
ANORGANISCHE PARAMETER						
Blei	µg/l	< 50	< 200	< 200	< 2	< 2
Cadmium	µg/l	< 10	< 100	< 100	46	23
Chrom	µg/l	< 50	< 100	< 100	3	2
Kupfer	µg/l	< 50	200	< 100	26	21
Nickel	µg/l	< 50	200	100	244	154
Zink	µg/l	< 100	< 100	< 100	10	< 20
Nitrit	mg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,2
ORGANISCHE PARAMETER						
DOC	mg/l	19	76	115	91	71
DOC (Küvettestest)	mg/l	-	-	-	94	74

Eluat, Probe 2 (Galvanikschlamm Cu-haltig), Labor Nr. 3461

UNTERSUCHTE PARAMETER	Einheit	DA	AU 96	AEK	DIN	US 20
PHYSIKALISCHE PARAMETER						
Farbe/ Färbung	-	schw. gelb	l. gelb	-	-	-
pH - Wert	-	8,8	8,4	7,7	7,9	7,9
Leitfähigkeit	µS/cm	6060	4980	1539	3847	2883
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	4,89	4,41	-	3,00	2,25
ANORGANISCHE PARAMETER						
Blei	µg/l	< 200	< 200	< 200	< 2	< 2
Cadmium	µg/l	< 100	< 100	< 100	37	6
Chrom	µg/l	< 100	< 100	900	31	17
Kupfer	µg/l	500	5700	500	373	155
Nickel	µg/l	100	4200	300	687	237
Zink	µg/l	< 100	< 100	300	22	9
Nitrit	mg/l	< 0,1	0,6	5,0	8,2	7,0
ORGANISCHE PARAMETER						
DOC	mg/l	97	103	19	35	26
DOC (Küvettestest)	mg/l	-	-	-	49	46

Eluat, Probe 3 (Galvanikschlamm Zn-haltig), Labor Nr. 3462

UNTERSUCHTE PARAMETER	Einheit	DA	AU 96	AEK	DIN	US 20
PHYSIKALISCHE PARAMETER						
Farbe/ Färbung	-	farblos	gelb	-	-	-
pH - Wert	-	7,4	8,4	7,9	7,7	7,6
Leitfähigkeit	µS/cm	4570	14040	1600	4320	3737
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	3,45	9,15	9,15	3,18	2,63
ANORGANISCHE PARAMETER						
Blei	µg/l	< 200	< 200	< 200	< 2	< 2
Cadmium	µg/l	< 100	< 100	< 100	1	1
Chrom	µg/l	-	< 100	< 100	2	1
Kupfer	µg/l	100	500	500	39	21
Nickel	µg/l	< 100	200	200	59	41
Zink	µg/l	8100	14400	1500	8500	4700
Nitrit	mg/l	< 0,1	< 0,1	1,0	3,7	3,2
ORGANISCHE PARAMETER						
DOC	mg/l	37	412	51	65	48
DOC (Küvettestest)	mg/l	-	-	-	77	58

Eluat, Probe 5 (Filterstaub), Labor Nr. 3464

UNTERSUCHTE PARAMETER	Einheit	DA	AU 96	AEK	DIN	US 20
PHYSIKALISCHE PARAMETER						
Farbe/ Färbung	-	-	farblos	-	-	-
pH - Wert	-	12,6	11,7	11,9	12,6	12,3
Leitfähigkeit	µS/cm	8170	3310	2890	6483	4957
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	2,25	1,76	-	2,47	1,83
ANORGANISCHE PARAMETER						
Blei	µg/l	10	200	200	< 2	< 2
Cadmium	µg/l	< 1	< 100	< 100	< 1	< 1
Chrom	µg/l	-	< 100	100	< 1	< 1
Kupfer	µg/l	< 10	100	< 100	< 1	< 1
Nickel	µg/l	10	100	100	2	1
Zink	µg/l	60	< 100	< 100	12	7
Nitrit	mg/l	-	-	-	-	-
ORGANISCHE PARAMETER						
DOC	mg/l	-	12	-	3	4
DOC (Küvettest)	mg/l	-	-	-	9	3

Eluat, Probe 6 (Boden, ölverunreinigt), Labor Nr. 3523

UNTERSUCHTE PARAMETER	Einheit	DA	AU 96	AEK	DIN	US 20
PHYSIKALISCHE PARAMETER						
Farbe/ Färbung	-	farblos	farblos	-	gelb	gelblich
pH - Wert	-	6,9	7,6	8,6	7,9	7,4
Leitfähigkeit	µS/cm	1780	87	80	152	62
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	-	-	-	0,30	0,12
ORGANISCHE PARAMETER						
DOC	mg/l	-	-	-	20	17
DOC (Küvettest)	mg/l	-	-	-	17	14
MKW (H18)	mg/l	3	2	-	3	16

Anhang 2: Meßwerte und statistische Auswertung

Legende:

BG	= Bestimmungsgrenze
-	= nicht bestimmt
MW	= Mittelwert
SD	= Standardabweichung
VK	= Variationskoeffizient in %

Eluat, Probe 1 (Kalkschlamm m.s.V.), Labor Nr. 3460

UNTERSUCHTE PARAMETER	Einheit	BG	A20 ¹⁾	B20 ¹⁾	C20 ¹⁾	Eluat A ²⁾	Eluat B ²⁾	Eluat C ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
Farbe/ Färbung	-	-	gelblich	gelblich	gelblich	gelblich	gelblich	gelblich
pH - Wert	-	-	7,5	7,5	7,6	7,8	7,8	7,8
Leitfähigkeit	µS/cm	-	1102	1253	1174	1547	1565	1565
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	-	1,12	1,30	1,20	1,74	1,66	1,70
ANORGANISCHE PARAMETER								
Blei	µg/l	2	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
Cadmium	µg/l	1	19,5	25	24	46	45	46
Chrom	µg/l	1	2,7	1,5	1,2	3,0	3,2	2,9
Kupfer	µg/l	1	20	22	20	26	25	26
Nickel	µg/l	2	144	168	151	243	242	248
Zink	µg/l	20	<BG	<BG	<BG	9,9	7,7	11,7
Nitrit	mg/l	0,02	0,22	0,23	0,21	0,14	0,12	0,16
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	66,0	76,0	71,0	90,0	92,0	92,0
DOC (Küvettestest)	mg/l	2	70,5	75,5	74,5	93,0	97,6	92,8

STATISTIK	Einheit	BG	MW ¹⁾	SD ¹⁾	VK ¹⁾	MW ²⁾	SD ²⁾	VK ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
Farbe/ Färbung	-	-						
pH - Wert	-	-	7,5	0,0	0,6	7,8	0,0	0,0
Leitfähigkeit	µS/cm	-	1176,3	61,7	5,2	1559,0	8,5	0,5
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	-	1,2	0,1	6,1	1,7	0,0	1,9
ANORGANISCHE PARAMETER								
Blei	µg/l	2	< 2	-	-	< 2	-	-
Cadmium	µg/l	1	22,8	2,4	10,5	45,7	0,5	1,0
Chrom	µg/l	1	1,8	0,6	36,0	3,0	0,1	4,1
Kupfer	µg/l	1	20,7	0,9	4,6	25,7	0,5	1,8
Nickel	µg/l	2	154,3	10,1	6,5	244,3	2,6	1,1
Zink	µg/l	20	< 20	-	-	9,8	1,6	16,7
Nitrit	mg/l	0,02	0,2	0,0	3,7	0,1	0,0	11,7
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	71,0	4,1	5,7	91,3	0,9	1,0
DOC (Küvettestest)	mg/l	2	73,5	2,2	2,9	94,5	2,2	2,3

1) ULTRASCHALL 20 MIN

2) S4-ELUATE

Eluat, Probe 2 (Galvanikschlamm Cu-haltig), Labor Nr. 3461

UNTERSUCHTE PARAMETER	Einheit	BG	A10 ¹⁾	B10 ¹⁾	C10 ¹⁾	A20 ²⁾	B20 ²⁾	C20 ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
Farbe/ Färbung	-	-	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos
pH - Wert	-	-	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,8
Leitfähigkeit	µS/cm	-	3050	3090	3110	2940	2920	2790
Abdampfdruckstand (105 °C)	g/l	-	2,43	2,36	2,48	2,29	2,31	2,14
ANORGANISCHE PARAMETER								
Blei	µg/l	2	< BG	< BG	< BG	0,02*	< BG	< BG
Cadmium	µg/l	1	6	6,3	6,6	8,4*	5,9	5,3
Chrom	µg/l	1	15,4	15,9	16,4	420*	17,9	15,5
Kupfer	µg/l	1	-	-	-	320*	160	150
Nickel	µg/l	2	-	-	-	250	230	230
Zink	µg/l	20	6,3	7,2	6,9	28*	10	7,8
						*Ausreißer		
Nitrit	mg/l	0,02	7,6	7,3	7,3	7,2	7,1	6,7
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	27,0	25,0	28,0	26,0	25,0	27,0
DOC (Küvettestest)	mg/l	2	43,7	45,2	41,7	46,5	46,0	45,2

STATISTIK	Einheit	BG	A10 ¹⁾	B10 ¹⁾	C10 ¹⁾	A20 ²⁾	B20 ²⁾	C20 ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
pH - Wert	-	-	7,9	0,0	0,0	7,9	0,0	0,6
Leitfähigkeit	µS/cm	-	3083,3	24,9	0,8	2883,3	66,5	2,3
Abdampfdruckstand (105 °C)	g/l	-	2,4	0,0	2,0	2,2	0,1	3,5
ANORGANISCHE PARAMETER								
Blei	µg/l	2	< 2	-	-	< 2	-	-
Cadmium	µg/l	1	6,3	0,2	3,9	5,6	0,3	5,4
Chrom	µg/l	1	15,9	0,4	2,6	16,7	1,2	7,2
Kupfer	µg/l	1	-	-	-	155,0	5,0	3,2
Nickel	µg/l	2	-	-	-	236,7	9,4	4,0
Zink	µg/l	20	6,8	0,4	5,5	8,9	1,1	12,4
Nitrit	mg/l	0,02	7,4	0,1	1,9	7,0	0,2	3,1
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	26,7	1,2	4,7	26,0	0,8	3,1
DOC (Küvettestest)	mg/l	2	43,5	1,5	3,4	45,9	0,5	1,1

1) ULTRASCHALL 10 MIN

2) ULTRASCHALL 20 MIN

Fortsetzung: Eluat, Probe 2 (Galvanikschlamm Cu-haltig), Labor Nr. 3461

UNTERSUCHTE PARAMETER	Einheit	BG	A30 ¹⁾	B30 ¹⁾	C30 ¹⁾	Eluat A ²⁾	Eluat B ²⁾	Eluat C ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
Farbe/ Färbung	-	-	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos
pH - Wert	-	-	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
Leitfähigkeit	µS/cm	-	2650	2530	2820	3850	3850	3840
Abdampfdruckstand (105 °C)	g/l	-	1,94	1,89	1,88	3,06	2,98	2,96
ANORGANISCHE PARAMETER								
Blei	µg/l	2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cadmium	µg/l	1	5,2	4,1	5,7	36	38	38
Chrom	µg/l	1	12,4	11,3	13,7	32	30	32
Kupfer	µg/l	1	-	-	-	370	370	380
Nickel	µg/l	2	-	-	-	660	700	700
Zink	µg/l	20	7,2	7,5	7,9	21	23	22
Nitrit	mg/l	0,02	6,2	6,6	7,1	7,9	8,6	8,2
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	23	24	25	35	36	35
DOC (Küvettest)	mg/l	2	47,5	36,9	46,7	49,0	44,8	52,2

STATISTIK	Einheit	BG	MW ¹⁾	SD ¹⁾	VK ¹⁾	MW ²⁾	SD ²⁾	VK ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
pH - Wert	-	-	7,9	0,0	0,0	7,9	0,0	0,0
Leitfähigkeit	µS/cm	-	2666,7	119,0	4,5	3846,7	4,7	0,1
Abdampfdruckstand (105 °C)	g/l	-	1,9	0,0	1,5	3,0	0,0	1,4
ANORGANISCHE PARAMETER								
Blei	µg/l	2	< 2	-	-	< 2	-	-
Cadmium	µg/l	1	5,0	0,7	13,4	37,3	0,9	2,5
Chrom	µg/l	1	12,5	1,0	7,9	31,3	0,9	3,0
Kupfer	µg/l	1	-	-	-	373,3	4,7	1,3
Nickel	µg/l	2	-	-	-	686,7	18,9	2,7
Zink	µg/l	20	7,5	0,3	3,8	22,0	0,8	3,7
Nitrit	mg/l	0,02	6,6	0,4	5,6	8,2	0,3	3,5
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	24,0	0,8	3,4	35,3	0,5	1,3
DOC (Küvettest)	mg/l	2	43,7	4,8	11,0	48,6	3,0	6,2

1) ULTRASCHALL 30 MIN

2) S4-ELUATE

Eluat, Probe 3 (Galvanikschlamm Zn-haltig), Labor Nr. 3462

UNTERSUCHTE PARAMETER	Einheit	BG	A10 ¹⁾	B10 ¹⁾	C10 ¹⁾	A20 ²⁾	B20 ²⁾	C20 ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
Farbe/ Färbung	-	-	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos
pH - Wert	-	-	7,7	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Leitfähigkeit	µS/cm	-	3440	3720	3360	3710	3720	3780
Abdampfdruckstand (105 °C)	g/l	-	2,40	2,62	2,36	2,62	2,62	2,64
ANORGANISCHE PARAMETER								
Blei	µg/l	2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cadmium	µg/l	1	1,0	0,9	0,8	1,0	0,8	0,5
Chrom	µg/l	1	1,7	1,2	1,0	1,4	1,6	1,1
Kupfer	µg/l	1	18,2	21	18,3	22	20	21
Nickel	µg/l	2	31	34	36	42	40	41
Zink	mg/l	1,1	4,3	5	4,5	5,3	4,5	4,3
Nitrit	mg/l	0,02	2,9	3,2	2,8	3,3	3,2	3,2
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	42,0	50,0	40,0	50,0	46,0	47,0
DOC nach Dr. Lange	mg/l	2	58,7	56,8	55,6	56,8	50,0	67,4

STATISTIK	Einheit	BG	MW ¹⁾	SD ¹⁾	VK ¹⁾	MW ²⁾	SD ²⁾	VK ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
Färbung	-	-						
pH - Wert	-	-	7,6	0,0	0,6	7,6	0,0	0,0
Leitfähigkeit	µS/cm	-	3506,7	154,3	4,4	3736,7	30,9	0,8
Abdampfdruckstand (105 °C)	g/l	-	2,5	0,1	4,6	2,6	0,0	0,4
ANORGANISCHE PARAMETER								
Blei	µg/l	2	< 2	-	-	< 2	-	-
Cadmium	µg/l	1	0,9	0,1	10,6	0,8	0,2	22,9
Chrom	µg/l	1	1,3	0,3	22,3	1,4	0,2	16,5
Kupfer	µg/l	1	19,2	1,3	6,8	21,0	0,8	3,9
Nickel	µg/l	2	33,7	2,1	6,1	41,0	0,8	2,0
Zink	mg/l	1,1	4,6	0,3	6,4	4,7	0,4	9,2
Nitrit	mg/l	0,02	3,0	0,2	5,7	3,2	0,0	1,5
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	44,0	4,3	9,8	47,7	1,7	3,6
DOC (Kiivettentest)	mg/l	2	57,0	1,3	2,2	58,1	7,2	12,3

1) ULTRASCHALL 10 MIN

2) ULTRASCHALL 20 MIN

Fortsetzung: Eluat, Probe 3 (Galvanikschlamm Zn-haltig), Labor Nr. 3462

UNTERSUCHTE PARAMETER	Einheit	BG	A30 ¹⁾	B30 ¹⁾	C30 ¹⁾	Eluat A ²⁾	Eluat B ²⁾	Eluat C ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
Farbe/ Färbung	-	-	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos
pH - Wert	-	-	7,7	7,7	7,7	7,8	7,7	7,7
Leitfähigkeit	µS/cm	-	3850	3680	3770	4280	4320	4360
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	-	2,70	2,56	2,66	3,12	3,20	3,22
ANORGANISCHE PARAMETER								
Blei	µg/l	2	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Cadmium	µg/l	1	1,1	0,9	1,0	1,6	1,4	1,5
Chrom	µg/l	1	0,6	0,4	0,5	2,0	2,1	2,3
Kupfer	µg/l	1	22	21	21	40	39	38
Nickel	µg/l	2	43	42	45	59	59	59
Zink	mg/l	1,1	5,6	5	5,1	8,5	8,4	8,6
Nitrit	mg/l	0,02	3,4	3,1	3,2	3,6	3,8	3,7
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	47	50	51	62	66	68
DOC nach Dr. Lange	mg/l	2	56,9	60,0	61,6	76,1	78,1	76,3

STATISTIK	Einheit	BG	MW ¹⁾	SD ¹⁾	VK ¹⁾	MW ²⁾	SD ²⁾	VK ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
Färbung	-	-						
pH - Wert	-	-	7,7	0,0	0,0	7,7	0,0	0,6
Leitfähigkeit	µS/cm	-	3766,7	69,4	1,8	4320,0	32,7	0,8
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	-	2,6	0,1	2,2	3,2	0,0	1,4
ANORGANISCHE PARAMETER								
Blei	µg/l	2	< 2	-	-	< 2	-	-
Cadmium	µg/l	1	1,0	0,1	5,7	1,5	0,1	4,5
Chrom	µg/l	1	0,5	0,1	17,5	2,1	0,1	6,2
Kupfer	µg/l	1	21,3	0,5	2,2	39,0	0,8	2,1
Nickel	µg/l	2	43,3	1,2	2,9	59,0	0,0	0,0
Zink	mg/l	1,1	5,2	0,3	5,0	8,5	0,1	1,0
Nitrit	mg/l	0,02	3,3	0,2	4,6	3,7	0,1	2,2
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	49,3	1,7	3,4	65,3	2,5	3,8
DOC (Küvettest)	mg/l	2	59,5	2,0	3,3	76,8	0,9	1,2

1) ULTRASCHALL 30 MIN

2) S4-ELUATE

Eluat, Probe 5 (Filterstaub), Labor Nr. 3464

UNTERSUCHTE PARAMETER	Einheit	BG	A20 ¹⁾	B20 ¹⁾	C20 ¹⁾	Eluat A ²⁾	Eluat B ²⁾	Eluat C ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
Farbe/ Färbung	-	-	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos
pH - Wert	-	-	12,3	12,3	12,3	12,6	12,6	12,6
Leitfähigkeit	µS/cm	-	4970	5020	4880	6510	6460	6480
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	-	1,84	1,90	1,76	2,44	2,50	2,46
ANORGANISCHE PARAMETER								
Blei	µg/l	2	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
Cadmium	µg/l	1	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
Chrom	µg/l	1	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
Kupfer	µg/l	1	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
Nickel	µg/l	2	1,4	1,3	1,4	2,2	2,3	2,2
Zink	µg/l	20	11	4	6	20	10	5
Nitrit	mg/l	0,02	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG	<BG
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	4,5	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0
DOC (Küvettestest)	mg/l	2	2,4	3,1	2,2	14,6	5,5	8,3

STATISTIK	Einheit	BG	MW ¹⁾	SD ¹⁾	VK ¹⁾	MW ²⁾	SD ²⁾	VK ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
Farbe/ Färbung	-	-						
pH - Wert	-	-	12,3	0,0	0,0	12,6	0,0	0,0
Leitfähigkeit	µS/cm	-	4956,7	57,9	1,2	6483,3	20,5	0,3
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	-	1,8	0,1	3,1	2,5	0,0	1,0
ANORGANISCHE PARAMETER								
Blei	µg/l	2	< 2	-	-	< 2	-	-
Cadmium	µg/l	1	< 1	-	-	< 1	-	-
Chrom	µg/l	1	< 1	-	-	< 1	-	-
Kupfer	µg/l	1	< 1	-	-	< 1	-	-
Nickel	µg/l	2	1,4	-	-	2,2	0,0	2,1
Zink	µg/l	20	7,0	2,9	42,1	11,7	6,2	53,5
Nitrit	mg/l	0,02	< 0,02	-	-	< 0,02	-	-
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	4,2	0,2	5,7	2,7	0,5	17,7
DOC (Küvettestest)	mg/l	2	2,6	0,4	15,3	9,5	3,8	40,1

1) ULTRASCHALL 20 MIN

2) S4-ELUATE

Eluat, Probe 6 (Boden, ölverunreinigt), Labor Nr. 3523

UNTERSUCHTE PARAMETER	Einheit	BG	A20 ¹⁾	B20 ¹⁾	C20 ¹⁾	Eluat A ²⁾	Eluat B ²⁾	Eluat C ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
Farbe/ Färbung	-	-	gelblich	gelblich	gelblich	gelb	gelb	gelb
pH - Wert	-	-	7,4	7,4	7,3	7,9	7,8	7,9
Leitfähigkeit	µS/cm	-	62	62	63	152	159	160
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	-	0,12	0,14	0,14	0,30	0,32	0,28
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	17,0	16,0	15,0	20,0	22,0	22,0
DOC (Küvettestest)	mg/l	2	14,3	8,2	9,5	16,8	20,8	22,2
MKW	mg/l	0,02	16	22	13	3,4	3,2	1,9

STATISTIK	Einheit	BG	MW ¹⁾	SD ¹⁾	VK ¹⁾	MW ²⁾	SD ²⁾	VK ²⁾
PHYSIKALISCHE PARAMETER								
Farbe/ Färbung	-	-						
pH - Wert	-	-	7,37	0,05	0,64	7,87	0,05	0,60
Leitfähigkeit	µS/cm	-	62,33	0,47	0,76	157,00	3,56	2,27
Abdampfrückstand (105 °C)	g/l	-	0,13	0,01	7,07	0,30	0,02	5,44
ORGANISCHE PARAMETER								
DOC	mg/l	3	16,0	0,8	5,1	21,3	0,9	4,4
DOC (Küvettestest)	mg/l	2	10,7	2,6	24,6	19,9	2,3	11,6
MKW	mg/l	0,02	17,0	3,7	22,0	2,8	0,7	23,5

1) ULTRASCHALL 20 MIN

2) S4-ELUATE

Anhang 3: DOC-Meßwerte im Vergleich

Legende:	S4A, -B, -C:	DIN-Eluat (Dreifachbestimmung)
	10/20/30A, -B, -C:	Ultraschalleluat 10, 20, 30 min (je Dreifachbestimmung)
	LCK	Dr. Lange Küvettestest
	instr.	bestimmt mit TOC-Analysator
	n.b.	nicht bestimmt
	-	nicht auswertbar
	DOC	gelöster organisch gebundener Kohlenstoff
	DIC	gelöster anorganisch gebundener Kohlenstoff
	DC	gelöster gesamter Kohlenstoff

ProbeNr. 1 (3460): Kalkschlamm mit schäd. Verunreinigungen

Eluat	LCK Nr.	DOC (LCK)	DIC (LCK)	DC (LCK)	DOC (instr.)	DC (instr.)
3460/S4A	381	93,0	38,6	131,6	90,0	n.b.
3460/S4B	381	97,6	38,6	136,2	92,0	n.b.
3460/S4C	381	92,8	41,1	133,9	92,0	n.b.
3460/20A	381	70,5	22,6	93,1	66,0	n.b.
3460/20B	381	75,5	24,6	100,1	76,0	n.b.
3460/20C	381	74,5	22,1	96,6	71,0	n.b.

Probe Nr. 2 (3461): Galvanikschlamm Cu-haltig

Eluat	LCK Nr.	DOC (LCK)	DIC (LCK)	DC (LCK)	DOC (instr.)	DC (instr.)
3461/S4A	381	49,0	44,2	93,1	35,0	n.b.
3461/S4B	381	44,8	47,2	92,0	36,0	n.b.
3461/S4C	381	52,2	42,1	94,3	35,0	n.b.
3461/10A	381	43,7	18,0	61,7	27,0	n.b.
3461/10B	381	45,2	18,8	64,0	25,0	n.b.
3461/10C	381	41,7	20,0	61,7	28,0	n.b.
3461/20A	381	46,5	17,5	64,0	26,0	n.b.
3461/20B	381	46,0	20,3	66,3	25,0	n.b.
3461/20C	381	45,2	18,8	64,0	27,0	n.b.
3461/30A	381	47,5	16,5	64,0	23,0	n.b.
3461/30B	381	36,9	15,5	52,4	24,0	n.b.
3461/30C	381	46,7	18,5	65,2	25,0	n.b.

DOC und DC z.T. außerhalb des Meßbereichs. Werte wurden nicht in Auswertung einbezogen.

Probe Nr. 3 (3462): Galvanikschlamm Zn-haltig

Eluat	LCK Nr.	DOC (LCK)	DIC (LCK)	DC (LCK)	DOC (instr.)	DC (instr.)
3462/S4A	381	76,1	22,8	98,9	62,0	89,0
3462/S4B	381	78,1	24,4	102,4	66,0	91,0
3462/S4C	381	76,3	23,8	100,1	68,0	91,0
3462/10A	381	58,7	11,9	69,8	42,0	56,0
3462/10B	381	56,8	17,8	74,5	50,0	63,0
3462/10C	381	55,6	11,2	67,5	40,0	55,0
3462/20A	381	56,8	14,2	71,0	50,0	64,0
3462/20B	381	50,0	15,2	65,2	46,0	67,0
3462/20C	381	67,4	12,9	80,3	47,0	62,0
3462/30A	381	56,9	12,9	69,8	47,0	66,0
3462/30B	381	60,0	12,2	72,2	50,0	62,0
3462/30C	381	61,6	12,9	74,5	51,0	62,0

DIC, DOC, DC z.T. knapp außerhalb des Meßbereichs. Werte wurden als gültig betrachtet

Probe Nr. 5 (3464): Filterstaub

Eluat	LCK Nr.	DOC (LCK)	DIC (LCK)	DC (LCK)	DOC (instr.)	DC (instr.)
3464/S4A	380	14,6	5,7	20,3	3,0	n.b.
3464/S4B	380	5,5	6,1	11,6	3,0	n.b.
3464/S4C	380	8,3	5,8	14,1	2,0	n.b.
3464/20A	380	2,4	4,8	7,1	4,5	n.b.
3464/20B	380	3,1	5,2	8,3	4,0	n.b.
3464/20C	380	-	4,9	2,7	4,0	n.b.

Auswertung z.T. durch Flockenbildung gestört; DC und DIC z.T. außerhalb des Meßbereichs

Probe Nr. 6 (3523): Ölverunreinigter Boden

Eluat	LCK Nr.	DOC (LCK)	DIC (LCK)	DC (LCK)	DOC (instr.)	DC (instr.)
3523/S4A	380	16,8	22,1	38,9	20,0	n.b.
3523/S4B	380	20,8	18,8	39,5	22,0	n.b.
3523/S4C	380	22,2	19,5	41,8	22,0	n.b.
3523/20A	380	14,3	10,4	24,6	17,0	n.b.
3523/20B	380	8,2	17,0	25,2	16,0	n.b.
3523/20C	380	9,5	14,2	23,7	15,0	n.b.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1a: Zeitlicher Verlauf der Eluatgehalte (Galvanikschlamm, Zn-haltig)	11
Abbildung 1b: Zeitlicher Verlauf der Schwermetallelution (Galvanikschlamm, Zn-haltig)	11
Abbildung 3: Korrelation der elektrischen Leitfähigkeit der Ultraschalleluat mit DIN-Werten für fünf Proben	12
Abbildung 2: Korrelation der Abdampfrückstände der Ultraschalleluat mit DIN-Werten für fünf Proben.....	13
Abbildung 3: Korrelation der DOC-Gehalte der Ultraschalleluat mit DIN-Werten für fünf Proben	13
Abbildung 4: Vergleich der Schwermetallkonzentrationen im Ultraschalleluat (20 min) zu Konzentrationen im DIN-Eluat.....	14
Abbildung 5: Korrelation zwischen instrumenteller DOC-Analytik und Küvettentest (4 Proben, 29 Eluate).....	16
Abbildung 6: Abhängigkeit des DOC- und DC-Meßwerts von der Aufschlußdauer.....	17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl von Sonderabfallproben (ASN = Abfallschlüsselnummer).....	5
Tabelle 2: Zusammensetzung (Gesamtgehalte) der untersuchten Proben; Werte aus der Abfalluntersuchung (AU) 1996 (-: nicht bestimmt; * Schwankungsbreite mehrerer jährlicher AU).....	6
Tabelle 3: Analysenergebnisse (Eluat nach DIN) für die untersuchten Proben und Vergleich mit Zuordnungswerten der TA Abfall	9
Tabelle 4: Durchschnittliche Variationskoeffizienten für alle gemessenen Parameter (n = Anzahl der Proben; US = Ultraschalleluat, 20 min).....	15

Indexverzeichnis

A			
Abdampfrückstand.....	12	TOC-Analysator.....	8
Abfalleingangskontrolle		TOC-Küvettest.....	8
Allgemeines	3	Zuordnungswerte der TA Abfall.....	9
Analysenergebnisse	9	F	
Eluatuntersuchungen Fallbeispiele	20	Fallbeispiele	
Elution nach DIN.....	6	Eluatuntersuchungen.....	20, 23, 31
organoleptische und physikalische		K	
Parameter	7	KW, Mineralöl-Kohlenwasserstoffe	
Probenauswahl und Probenvorbereitung		Elution nach DIN 38 414 Teil 4.....	8
.....	5	Schnelleluierverfahren	8
Schnelleluion	6	M	
Sonderabfallproben.....	5	Mineralölkohlenwasserstoffe	
TOC-Küvettestests	16	Elution nach DIN 38 414 Teil 4.....	8
Zuordnungswerte der TA Abfall	9	Schnelleluierverfahren	8
Zusammensetzung (Gesamtgehalte).....	6	N	
D		Nitrit	
DOC-Gehalt		Elution nach DIN 38 414 Teil 4.....	8
Allgemeines	13	Schnelleluierverfahren	8
E		O	
elektrische Leitfähigkeit	12	organoleptische und physikalische	
Eluatuntersuchungen Fallbeispiele	20	Parameter	
Eluat, Probe 1 (Kalkschlamm m.s.V.)20,		Abfalleingangskontrolle.....	7
24, 31		Schnelleluierverfahren	7
Eluat, Probe 2 (Galvanikschlamm Cu-		S	
haltig).....	21, 25, 31	Schnelleluierverfahren	
Eluat, Probe 3 (Galvanikschlamm Zn-		Abdampfrückstand.....	12
haltig).....	21, 27, 32	Allgemeines	3, 6
Eluat, Probe 5 (Filterstaub).....	22, 29, 32	Analysenergebnisse.....	9
Eluat, Probe 6 (Boden, ölverunreinigt)		DOC-Gehalt	13
.....	22, 30	Durchführbarkeit.....	10
Elution nach DIN 38 414 Teil 4		elektrische Leitfähigkeit.....	12
Abdampfrückstand.....	12	Eluatgehalte.....	10
Allgemeines	2, 3, 6	Eluatuntersuchungen Fallbeispiele	20
Analysenergebnisse	9	gemessene Parameter	15
DOC-Gehalt.....	13	Mineralölkohlenwasserstoffe	8
elektrische Leitfähigkeit	12	Nitrit.....	8
Eluatuntersuchungen Fallbeispiele	20	organoleptische und physikalische	
gemessene Parameter	15	Parameter	7
Mineralölkohlenwasserstoffe.....	8	Probenauswahl und Probenvorbereitung	
Nitrit	8	5
Probenauswahl und Probenvorbereitung		Reproduzierbarkeit.....	10
.....	5	Schwermetalle.....	8
Schwermetalle	8	Schwermetalleluion	11
Schwermetallkonzentrationen	14	Schwermetallkonzentrationen.....	14
Sonderabfallproben.....	5	Sonderabfallproben	5
		TOC-Analysator.....	8

TOC-Küvettest.....	8	T	
Vergleich mit der Elution nach DIN...	12	TOC-Analysator	
Zeitverhalten	10	Elution nach DIN 38 414 Teil 4.....	8
Zuordnungswerte der TA Abfall	9	Schnelleluierverfahren	8
Schwermetalle		TOC-Küvettest	
Elution nach DIN 38 414 Teil 4	8	Elution nach DIN 38 414 Teil 4.....	8
Schnelleluierverfahren.....	8	Schnelleluierverfahren	8
Vergleich von Eluierverfahren	14		