

Laborvergleichstest zur Normierung der inversen Säulenelektion nach Schössner und Validierung der Parameter und Kriterien für die ökotoxikologische Bewertung von Bauprodukten mittels Ammoniumoxidaions- und Bodenatmungstest als Bestandteil einer ökotoxikologischen Testbatterie zur Bewertung der Wirkung von Bauprodukten auf Böden (Bewertung der ökotoxikologischen Auswirkung von Bauprodukten auf Böden Tl. 3)

T 3280

T 3280

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2012

ISBN 978-3-8167-8733-4

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Abschlussbericht

**Laborvergleichstest zur Normierung der inversen Säulenelution nach Schössner und Validierung der Parameter und Kriterien für die ökotoxikologische Bewertung von Bauprodukten mittels Ammoniumoxidations- und Bodenatmungstest als Bestandteil einer ökotoxikologischen Testbatterie zur Bewertung der Wirkungen von Bauprodukten auf Böden
(Bewertung der ökotoxikologischen Auswirkung von Bauprodukten auf Böden III)**

Freie Universität Berlin

Fachbereich Geowissenschaften
Organische Umweltgeochemie
Malteserstr. 74-100, Haus G
12249 Berlin

Bearbeiter: Dipl.-Geogr. Robert Wagner
Cand. rer. nat. Michaela Dumm

Projektleitung: Prof. Dr. mult. Dr. h. c. Konstantin Terytze

Im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik
Juni 2010

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	10
1 Einleitung (Hintergrund)	13
2 Zielstellungen und Inhalte	14
3 Beteiligte Institutionen	15
Teil I - Validierung der Parameter und Kriterien für die ökotoxikologische Bewertung von Bauprodukten mittels Ammoniumoxidations- und Bodenatmungstest als Bestandteil einer ökotoxikologischen Testbatterie zur Bewertung der Wirkungen von Bauprodukten auf Böden	
4 Arbeitsablauf und Vorgehensweise	16
5 Versuchsvorbereitung	17
5.1 Testböden	17
5.2 Auswahl Bauprodukte	19
5.3 Säulentestanlage	20
5.4 Vorversuche	21
6 Untersuchungen zur ökotoxikologischen Bewertung der Bauprodukte	22
6.1 Eluatherstellung	22
6.1.1 Durchführung	22
6.1.2 Charakterisierung	26
6.1.3 Mischproben für Ökotoxizitätstests	26
6.2 Aquatische Ökotoxizitätstest	28
6.3 Terrestrische Ökotoxizitätstest	28
6.4 Abbautest	29
6.5 Qualitätssicherung	30
7 Ergebnisse	31
7.1 Eluatcharakterisierung (Parameter)	31
7.2 Aquatische Ökotoxtests	37
7.3 Terrestrische Ökotoxtests	40
7.3.1 Eluat Zementleim mit Biozid	40
7.3.2 Eluat Polyacrylat I	44

7.3.3	Eluat Polyacrylat III	49
7.4	Abbautests	53
7.5	NMR-Untersuchungen	54
7.6	Auswertung und Zusammenfassung der Ergebnisse	56
7.6.1	Eluatherstellung	56
7.6.2	Zementleim	57
7.6.3	Polyacrylat	57
7.6.4	Vergleich mit Vorgängervorhaben	61
8	Diskussion und Zusammenfassung	64
8.1	Ökotoxikologische Testergebnisse	64
8.2	Doppelpeaks	65
8.3	Validierung der Parameter und Kriterien für die ökotoxikologische Bewertung	66
8.4	Bildung der Maximalphase	68
Teil II - Laborvergleichstest zur Normierung der inversen Säulenelution		
9	Vorbereitung Laborvergleichstest	69
10	Durchführungen Laborvergleichstest	72
11	Datenauswertung	76
12	Ergebnisse	78
12.1	Rohdaten	78
12.2	Probekörper	85
12.3	Vergleich (Verfahrenskenndaten)	88
12.3.1	Zusammenfassung Verfahrenskenndaten inverser Säulenversuch	90
12.3.2	Referenzlösung	92
12.3.3	Einflüsse	93
13	Zusammenfassung Vergleichsuntersuchung	94
14	Gesamtzusammenfassung Teil 1 und 2	95
15	Literaturverzeichnis	99
16	Anhang	101
16.1	Anhang 1 Reagenzien und Geräte Säulenanlage	
16.2	Anhang 2 Aufbau und Funktionsweise Säulenanlage	
16.3	Anhang 3 Aufbau und Funktionsweise Windkesselanlage	

- Anhang 4** Elutionsprotokolle Eluatherstellung für Ökotoxizitätstests und Abbautest
- Anhang 5** Vereinigung Einzelfractionen zu Mischfractionen (90% TOC)
- Anhang 6** Ergebnistabellen Elutionen für Ökotoxizitätstests und Abbautest
- Anhang 7** Ergebnisse aquatische Ökotoxizitätstests und Abbautest
- Anhang 8** Arbeitsanweisungen Ringversuch
- Anhang 9** Ergebnisse Vergleichsuntersuchung Rohdaten
- Anhang 10** Parametervergleich und graphische Auswertung (Boxplots)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Physikalisch-chemische Eigenschaften der Referenzböden, Vergleich der Böden RefeSol 01-A und Lufa 2.3	17
Tabelle 2:	ausgewählte Bauprodukte und gefährliche Inhaltstoffe	19
Tabelle 3:	Durchgeführte Vorversuche und veränderte Parameter	22
Tabelle 4:	Anmischmengen der Teilkomponenten des Polyacrylats (PAC I)	24
Tabelle 5:	Anmischmengen der Teilkomponenten des Polyacrylats (PAC III)	25
Tabelle 6:	Verfahren zur Bestimmung der allgemeinen Parameter und des TOC	26
Tabelle 7:	Parameter der Mischfraktionen - Zementleim	32
Tabelle 8:	Parameter der Mischfraktionen – Polyacrylat (PAC I)	33
Tabelle 9:	Parameter der Mischfraktionen - Polyurethan	34
Tabelle 10:	Parameter der Mischfraktionen – PAC III	35
Tabelle 11:	Messwerte der Schwermetalle und Ionen für die Mischfraktionen der Eluate	36
Tabelle 12:	Ergebnisse in den ökotoxikologischen Tests	37
Tabelle 13:	Klassifikation der Eluate gemäß DIBt-Merkblatt hinsichtlich ihrer Toxizität	38
Tabelle 14:	Potenzielle Nitrifikation von LUFA 2.3 eine und zwölf Wochen nach Behandlung mit Eluat Zementleim + Biozid (Werte in Prozent zur Kontrolle \pm Standardabweichung)	41
Tabelle 15:	Wirkungen der Eluate (Zementleim mit Wurzelhemmer) auf die Bodenatmung von LUFA 2.3 nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation (Werte in Prozent zur Kontrolle \pm prozentuale Standardabweichung)	44
Tabelle 16:	Potenzielle Nitrifikation von LUFA 2.3 eine und zwölf Wochen nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat I (Werte in Prozent zur Kontrolle \pm Standardabweichung)	44
Tabelle 17:	Wirkungen der Eluate (Polyacrylat I) auf die Bodenatmung von LUFA 2.3 nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation (dargestellt: Werte in Prozent zur Kontrolle \pm prozentuale Standardabweichung)	47
Tabelle 18:	Potenzielle Nitrifikation von LUFA 2.3 eine und zwölf Wochen nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat III (Werte in Prozent zur Kontrolle \pm Standardabweichung)	50
Tabelle 19:	Wirkungen der Eluate (Polyacrylat III) auf die Bodenatmung von LUFA 2.3 nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation (dargestellt: Werte in Prozent zur Kontrolle \pm Standardabweichung)	51
Tabelle 20:	Ergebnisse NMR-Untersuchungen an ausgewählten Eluaten	55
Tabelle 21:	Berechnete organische Kohlenstoffgehalte	55
Tabelle 22:	Gemessene DOC Werte der Mischeluate mit Mittelwert (MW) und Standardabweichung (ST)	56
Tabelle 23:	Eingesetzte Eluate und ihre DOC Konzentration	57

Tabelle 24	DOC Konzentration der eingesetzten Eluate und Hemmwirkung im Nitrifikationstest in % nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation	58
Tabelle 25:	Wirkungen in den ökotoxikologischen Tests aller Vorhaben und DOC Konzentration der eingesetzte Polyacrylateluate aus den Maximalphasen im vergleich zur Kontrolle	61
Tabelle 26	Teilnehmer an der Vergleichsuntersuchung	69
Tabelle 27	Zusammenfassung der übertragenen Versuchsbedingungen VU	73
Tabelle 28	Zusammenfassung der übertragenen Eckdaten zur VU Zementleim	74
Tabelle 29	Zusammenfassung der übertragenen Eckdaten zur VU Polyacrylat	75
Tabelle 30	Verfahren zur Bestimmung der allgemeinen Parameter und des TOC	76
Tabelle 31	Ergebnisse Labor C 8 Zementleim für alle drei Parallelen	79
Tabelle 32	Ergebnisse Labor C 10 Zementleim für alle drei Parallelen	80
Tabelle 33	Ergebnisse Labor C 12 Zementleim für alle drei Parallelen	81
Tabelle 34	Ergebnisse Labor C 8 Polyacrylat für alle drei Parallelen	82
Tabelle 35	Ergebnisse Labor C 10 Polyacrylat für alle drei Parallelen	83
Tabelle 36	Ergebnisse Labor C 12 Polyacrylat für alle drei Parallelen	84
Tabelle 37	Prüfkörper Zementleim	86
Tabelle 38	Prüfkörper Polyacrylat	86
Tabelle 39	Standardabweichung in Prozent der Volumina der gebildeten Baukörper	87
Tabelle 40	Verfahrenskennndaten Vergleichsuntersuchung <i>inverser Säulenversuch</i> – Polyacrylat	90
Tabelle 41	Verfahrenskennndaten Vergleichsuntersuchung <i>inverser Säulenversuch</i> – Zementleim	91
Tabelle 42	Parameter Referenzlösung	92
Tabelle 43	Standardabweichungen Parameter Referenzlösung	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ablaufplan/Vorgehensweise	16
Abbildung 2:	Potenzielle Nitrifikation der Referenzböden RefeSol 01-A und LUFA 2.3	18
Abbildung 3:	Vereinfachte Darstellung des Säulenelutionsverfahrens mit inverser Fließrichtung (nach Schössner, 2005)	20
Abbildung 4:	Säulenanlage mit Vorratsgefäß	21
Abbildung 5:	Injektionspumpe	23
Abbildung 6:	Injektion mittels Windkesselanlage	25
Abbildung 7:	Vereinigung der einzelnen Fraktionen zu Mischproben der Maximal- (MP) und Abklingphase (AP)	27
Abbildung 8:	Diagramm des DOC-Verlaufes und der elektr. Leitfähigkeit des Polyacrylates der 3 parallelen Säulen	32
Abbildung 9:	Diagramm des DOC-Verlaufes und der elektr. Leitfähigkeit des Polyacrylates aller 3 parallelen Säulen	33
Abbildung 10:	Diagramm des DOC-Verlaufes und der elektr. Leitfähigkeit des Polyurethans aller 3 parallelen Säulen	34
Abbildung 11:	Diagramm des DOC-Verlaufes und der elektr. Leitfähigkeit des ersten Tages von Polyacrylat II	35
Abbildung 12:	Potenzielle Nitrifikation von LUFA 2.3 eine (A) und zwölf Wochen (B) nach Behandlung mit Eluat Zementleim + Biozid	40
Abbildung 13:	Bodenatmungskurven von LUFA 2.3 eine (A) und zwölf Wochen (B) nach Behandlung mit Eluat Zementleim + Wurzelhemmer	42
Abbildung 14:	aus den Bodenatmungskurven abgeleitete Parameter für LUFA 2.3 eine (A-D) und zwölf Wochen (E-H) nach Behandlung mit Eluat Zementleim + Wurzelhemmer	43
Abbildung 15:	Potenzielle Nitrifikation von LUFA 2.3 eine (A) und zwölf Wochen (B) nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat I	45
Abbildung 16:	Bodenatmungskurven von LUFA 2.3 eine (A) und zwölf Wochen (B) nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat I	46
Abbildung 17:	Aus den Bodenatmungskurven abgeleitete Parameter für LUFA 2.3 eine (A-D) und zwölf Wochen (E-H) nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat I	48
Abbildung 18:	Potenzielle Nitrifikation von LUFA 2.3 eine (A) und zwölf Wochen (B) nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat III	49
Abbildung 19:	Bodenatmungskurven von LUFA 2.3 eine (A) und zwölf Wochen (B) nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat III	50
Abbildung 20:	aus den Bodenatmungskurven abgeleitete Parameter für LUFA 2.3 eine (A-D) und zwölf Wochen (E-H) nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat III	52

Abbildung 21:	Prozentualer Abbau organischer Inhaltsstoffe (bezogen auf DOC) im OECD-Screening-Test	54
Abbildung 22:	Korrelation der Hemmung im Algentest mit den DOC Konzentrationen der getesteten Eluate	57
Abbildung 23:	Hemmung im Nitrifikationstest in Abhängigkeit zur DOC-Konzentration der eingesetzten Eluate (mit Trendlinien).	58
Abbildung 24:	PAC-Eluate und Hemmung im Nitrifikationstest nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation	59
Abbildung 25:	Parameter C_R der Polyacrylateluate und der Positivkontrolle (CU) nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation	60
Abbildung 26:	Vergleich des Parameters C_R und der DOC-Konzentrationen der Polyacrylateluate nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation, Förderung (+), Hemmung (-)	60
Abbildung 27:	Positive Korrelation der Wirkung aller Polyacrylateluate (Teil I bis III), mit Trendlinie und Bestimmtheitsmaß, nach Ausreißereliminierung (Teil II PAC MP 1te Woche), rote Linie = Bewertungsgrenze von 25%	62
Abbildung 28:	Ergebnisse Bodenatmung aller Polyacrylateluate (Teil I bis III), positive Korrelation der Wirkungen nach zwölfwöchiger Inkubation nach Ausreißereliminierung (PAC I-MP-B), rote Linie = Bewertungsgrenze von 25%	62
Abbildung 29	Ergebnisse Leuchtbakterientest aller Polyacrylateluate (Teil I bis III), positive Korrelation der G_L -Werte und der DOC-Konzentrationen der Eluate, rote Linie = Bewertungsgrenze: Verdünnungsstufe 8	63
Abbildung 30	Kurvenverlauf TOC (A) und ermittelte Boxplots pro Fraktion (B) des Polyacrylats mit Extremen Werten und Ausreißern (Blindwertbereinigt)	78
Abbildung 31	Zementleimkörper der VU	85
Abbildung 32	Polyacrylatkörper der VU	87
Abbildung 33	Variationskoeffizienten der VU Polyacrylat im Vergleich	89
Abbildung 34	Variationskoeffizienten der VU Zementleim im Vergleich	89

Abkürzungsverzeichnis

A, B, C	Bezeichnung der Säulen
AP	Abklingphase
BP	Bauprodukt
BP	Bauprodukt
BW	Blindwert
Corg-Gehalt in %	organischer Kohlenstoff in %
C _R	Kumulative CO ₂ -Abgabe von Substratzugabe bis zum Zeitpunkt des Peakmaximums in der Kontrolle
CV _R	Vergleichsvariationskoeffizient
CV _r	Wiederholvariationskoeffizient
DEA	Diethanolamin
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung
DOC	Dissolved Organic Carbon (Gelöster organischer Kohlenstoff)
EC ₅₀	Effektive Konzentration; Konzentration, bei der 50 % der Versuchsorganismen einen bestimmten Effekt zeigen
EN	Europäische Normen
EW	Elutionswasser
F36	Bezeichnung für Sand einer Charge aus dem Quarzwerk Frechen
Fh-IME	Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie
FMPA	Forschungs- und Materialprüfungsanstalt
FNU	Formazine Nephelometric Units (Kalibriereinheit gemäss der Norm ISO 7027 für Trübungsmessungen im Streulichtverfahren, basiert auf Formazin-Lösung)
Fr.	Fraktion
FU	Freie Universität Berlin
G _A	Verdünnungsstufe G einer Probe, in der das Wachstum der Algen um weniger als 20 % gehemmt wird
G _L	Verdünnungsstufe G einer Probe, in der die Lichtemission der Leuchtbakterien um weniger als 20 % gehemmt wird
G-Werte	Diejenige Verdünnungsstufe, die nicht mehr als 20 % Effekt hervorruft
IC ₅₀	mittlere inhibitorische Konzentration, ist die Konzentration eines Inhibitors, bei der eine halbmaximale Inhibition beobachtet wird
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (Optische Emissionsspektrometrie mittels induktiv gekoppeltem Plasma)

ISO	International Organization for Standardization
Kf-Wert	Durchlässigkeitsbeiwert
LUFA 2.3	Referenzboden
MP	Maximalphase
MPA	Materialprüfungsanstalt bzw. Materialprüfanstalt
MW	Mittelwert
n	Anzahl der ausreißerfreien Einzelwerte
n. a.	Nicht auswertbar
n. b. b.	nicht bestimmbar
n. b.	nicht bestimmt
n. d.	Nicht durchgeführt
n. U.	Nachuntersuchung
N. z. Schb.	Neigung zur Schaumbildung
n_A	Anzahl der Ausreißerwerte
n_{AP}	Anteil der Ausreißer
NMR	Nuclear Magnetic Resonance (Kern(spin)resonanzspektroskopie oder NMR-Spektroskopie)
NO ₂ -N	Stickstoffanteil des Nitrits
OECD	Organization of Economic Cooperation and Development
PAC	Polyacrylat
PLFA	Phosphorlipidfettsäure(n)
PMMA	Polymethylmethacrylat
PTFE	Polytetrafluorethylen
PU	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
Q_R	Respiratorischer Aktivierungsquotient
R^2	Bestimmtheitsmaß
RefeSol 01-A	Referenzboden (Braunerde)
s_R	Vergleichsstandardabweichung
s_r	Wiederholstandardabweichung
ST, STAW, STABW	Standardabweichung
TEA	Triethanolamin
t_{lag}	Lag-Phase
TM	Trockenmasse
TNT	Trinitrotoluol
TOC	Total Organic Carbon (Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff)

t_{peakmax}	Zeit von Substratzugabe bis zum Erreichen des Peakmaximums
TU	Technische Universität Berlin
VU	Vergleichsuntersuchung
WHK_{max}	maximale Wasserhaltekapazität
WKA	Windkesselanlage
x	Gesamtmittelwert
ZL	Zementleim
μ	Maximale Wachstumsgeschwindigkeit

1 Einleitung (Hintergrund)

Mit den Grundsätzen zur „Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ des DIBt liegt eine Bewertungsgrundlage hinsichtlich der Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Boden- und Grundwasserverunreinigung vor. Die Grundsätze sehen eine zweistufige Bewertung von Bauprodukten vor. Stufe 2 der Grundsätze beinhaltet die Ermittlung und Bewertung der mobilisierbaren Inhaltsstoffe von Bauprodukten. Darunter sind, wenn in den vorhergehenden Untersuchungen zur Bewertung der stofflichen Parameter die ökologische Unbedenklichkeit des Bauproduktes nicht nachgewiesen werden konnte, die Ermittlung biologischer Parameter und die entsprechende Durchführung ökotoxikologischer Testverfahren mit Bauprodukteluatenvorgeschrieben (DIBt, 2009). In diesem Falle werden das biologische Abbauverhalten und die ökotoxikologischen Auswirkungen der mobilisierbaren Inhaltsstoffe auf Böden und Grundwasser untersucht. Die aquatischen Testverfahren und das Verfahren zur Ermittlung der biologischen Abbaubarkeit wurden bereits festgelegt.

Die Festlegung der terrestrischen Testverfahren erfolgt bauproduktsspezifisch im Teil II der Grundsätze zur „Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ (DIBt, 2009). Mit den terrestrischen Testverfahren soll sichergestellt werden, dass es nicht zur Beeinträchtigung der Lebensraumfunktion von Böden durch die mobilisierbaren Anteile von Bauprodukten kommt. Als terrestrische Testverfahren werden bisher der Ammoniumoxidationstest (DIN/ISO 15685) genannt. Als weiterer Test soll der Bodenatmungstest (DIN/ISO 17155) festgelegt werden.

In einem ersten Vorläuferprojekt "Bewertung der ökotoxikologischen Auswirkungen von Bauprodukten auf Böden Teil I" wurden in den Jahren 2004 und 2005 der Ammoniumoxidationstest (DIN/ISO 15685) und der Bodenatmungstest (DIN/ISO 17155) hinsichtlich ihrer Eignung zur Bewertung der Auswirkung von Bauprodukten (hier Bodeninjektionsmittel) auf Böden getestet. Die Ergebnisse dieses ersten Forschungsvorhabens wiesen bereits auf eine für die eingesetzten Produkte ausreichend hohe Sensibilität der terrestrischen Verfahren hin. An zwei eingesetzten Testböden konnten deutliche Wirkungen auf die Bodenbiologie festgestellt werden. Es zeigte sich, dass eine ökotoxikologische Testbatterie, bestehend aus nebeneinander durchgeführten aquatischen und terrestrischen Testverfahren sowie dem Abbautest notwendig ist, um die biologischen Wirkungen von Bauprodukten hinreichend bewerten zu können.

In einem zweiten Vorläuferprojekt "Bewertung der ökotoxikologischen Auswirkungen von Bauprodukten auf Böden Teil II" wurde die in Teil I festgestellte Eignung der beiden genannten terrestrischen Testverfahren an zwei weiteren Böden validiert, ein geeigneter Testboden vorgeschlagen und die Ergebnisse hinsichtlich der Entwicklung ökotoxikologischer Testbatterien für bestimmte Produktgruppen interpretiert.

Als Bauprodukte wurden ein Bodeninjektionsmittel auf Acrylatbasis und ein Kanalrohrsanierungsmittel zur Verfügung gestellt und mittels Säulenelution nach SCHÖSSNER im Hygieneinstitut Gelsenkirchen eluiert. Als Testböden kamen ein schwach humoser und ein stark humoser Sandboden zum Einsatz. Die Testergebnisse des ersten Vorhabens wurden auch mit zwei weiteren Böden weitestgehend bestätigt. Es wurden Bewertungsmaßstäbe für die terrestrische Ökotoxizität von Bauprodukten erarbeitet und vorgeschlagen.

Insgesamt reichten die Ergebnisse der beiden Vorhaben nicht aus, um neben den terrestrischen Testverfahren auch die erarbeiteten Bewertungsmaßstäbe ohne Einschränkung in die Grundsätze zur „Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“, zu übernehmen. Beide Bodentests sollten bei weiteren Bodeninjektionsmitteln (mit dem genannten Testboden) eingesetzt und die entwickelten Bewertungskriterien dabei überprüft werden.

Die inverse Säulenelution nach Schössner (2005) ist Bestandteil der Grundsätze zur „Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“. Für dieses Verfahren liegt zurzeit nur eine Arbeitsanweisung des Hygieneinstituts Gelsenkirchen (Stand 2003) vor. Um eine Vergleichbarkeit und Justiziabilität des Elutionsverfahrens zu gewährleisten, sollte eine Vergleichsuntersuchung mit mehreren Laboren durchgeführt und ein Normungsverfahren vorbereitet werden.

2 Zielstellungen und Inhalte

Hinsichtlich der Bewertung von hemmenden oder fördernden Effekten, ist es notwendig weitere Erfahrungen zu sammeln und die ausgewählten Bewertungsmaßstäbe zu überprüfen und weiter abzusichern. Ziel dieses weiterführenden Forschungsvorhabens war es deshalb, die in den Vorgängervorhaben überprüften Testverfahren mit neuen Bodeninjektionsmitteln, von denen mindestens ein Produkt eine erwiesene schädliche Wirkung auf die Umwelt ausüben sollte, durchzuführen und die aufgestellten Bewertungsparameter und -kriterien an Hand der neuen Ergebnisse für die ökotoxikologische Bewertung von Bauprodukten zu validieren.

Für die terrestrischen Testverfahren war ein Boden der RefeSol-Kategorie 01A¹ vorgesehen. Dieser erwies sich in den vorhergehenden Vorhaben als der am besten geeignete Testboden. Aufgrund von einer zu geringen mikrobiellen Aktivität, musste jedoch ein anderer Testboden (Lufa 2.3) verwendet werden (vgl. Kap. 5.1, S. 17).

Drei neue Bauprodukte wurden mit Hilfe der inversen Säulenelution eluiert. Der Ammoniumoxidationstest (DIN/ISO 15685) und der Bodenatmungstest (DIN/ISO 17155) wurden nach 7- und 100tägiger Inkubationsdauer durchgeführt. Gleichzeitig wurden die Abbaubarkeit des Eluates und die Wirkung auf aquatische Organismen getestet.

¹ Die RefeSol-Böden werden im Fraunhofer-Institut Molekularbiologie und Angewandte Oekologie aufbewahrt und verwaltet (Bussian, 2005).

Ein weiteres Ziel war die inverse Säulenelution nach Schössner in einem Laborvergleichstest zu überprüfen und eine Normierung des Elutionsverfahrens voran zu bringen. Der Laborvergleichstest wurde mit drei Laboratorien durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden mit denen der ersten beiden Vorhaben verglichen um die Parameter und Kriterien für die ökotoxikologische Bewertung von Bauprodukten mittels Ammoniumoxidations- und Bodenatmungstest als Bestandteil einer ökotoxikologischen Testbatterie zur Bewertung der Wirkungen von Bauprodukten auf Böden zu validieren.

3 Beteiligte Institutionen

- a) FU Berlin, Fachbereich Geowissenschaften,
AG-Organische Umweltgeochemie ¹
Leiter: Herr Prof. Dr. mult. Dr. h.c. Konstantin Terytze
Projektkoordinierung/wissenschaftliche Betreuung und Auswertung:
Herr Dipl.-Geogr. Robert Wagner
Frau Cand. rer. nat. Michaela Dumm (Diplomandin)
Malteserstraße 74-100, Haus H
12249 Berlin
- b) Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie
und Angewandte Oekologie (IME), Schmallenberg,
Frau Dr. Kerstin Hund-Rinke
Auf dem Aberg 1
57392 Schmallenberg-Grafschaft
- c) TU Berlin, Institut für Ökologie, Landschaftsbau,
Abfallbelastung der Landschaft
Herr Prof. Dr. Dr. Bernd Michael Wilke
Frau Dipl. Agr.-Ing.(FH) Maike Mai
Franklinstr. 28-29
10587 Berlin
- d) *Hygiene-Institut des Ruhrgebiets* ¹
Herr Dr. Andreas Koch
Rotthausen Str. 19
45879 Gelsenkirchen
- e) *MFPA Leipzig GmbH* ¹
Frau Dr.-Ing. Ute Horning
Hans-Weigel-Str. 2b
04319 Leipzig
- f) *MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG* ²
Herr Dr. Wolfgang Karl
Am Kruppwald 1-8
46238 Bottrop

¹ Teilnehmer Vergleichsuntersuchung

² Bereitstellung Bauprodukte

Teil I - Validierung der Parameter und Kriterien für die ökotoxikologische Bewertung von Bauprodukten mittels Ammoniumoxidations- und Bodenatmungstest als Bestandteil einer ökotoxikologischen Testbatterie zur Bewertung der Wirkungen von Bauprodukten auf Böden

4 Arbeitsablauf und Vorgehensweise

Die Vorgehensweise ist in Abbildung 1 dargestellt.

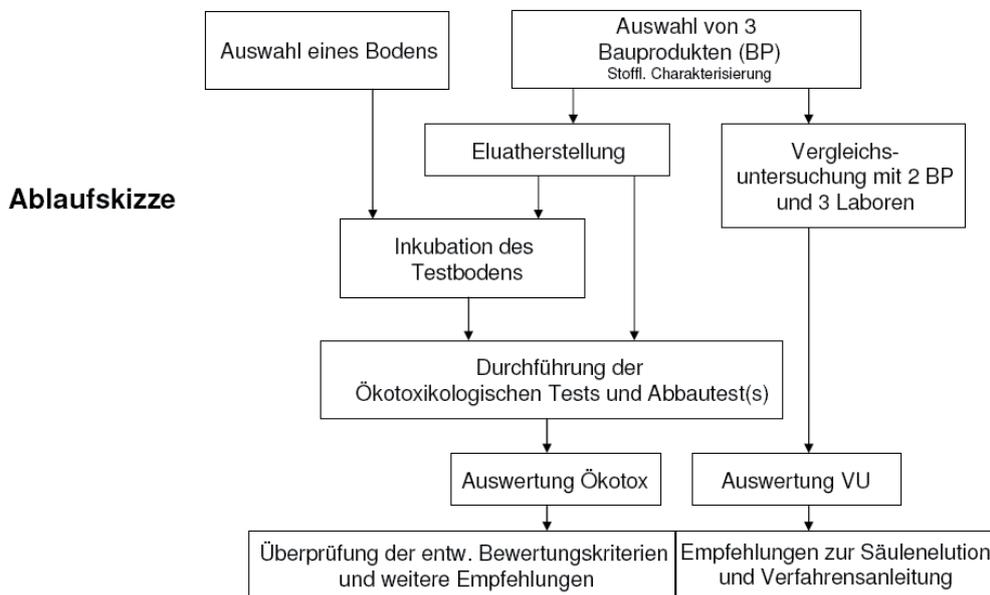


Abbildung 1: Ablaufplan/Vorgehensweise

Das Forschungsvorhaben wurde in 15 aufeinander abgestimmte Arbeitsschritte gegliedert, die im Folgenden aufgeführt sind:

- A Auswertung Vorgängervorhaben – Zusammenstellung aller Daten für das III Vorhaben
- B Abstimmung und Treffen mit Projektpartnern und DIBt
- C Auswahl der Baustoffe
- D Auswahl des Testbodens, Aufbereitung und Charakterisierung
- E Organisation Ringversuch – Auswahl und Abstimmung mit teilnehmenden Laboren
- F Entwurf einer Arbeitsvorschrift
- G Durchführung des Ringversuches
- H Auswertung des Ringversuches
- I Herstellung der Bauprodukteluat für die aquatischen und terrestrischen Tests
- J Aquatische Tests und Abbautests

- K Terrestrische Tests 1te Phase
- L Zwischenberichte
- M Terrestrische Tests 2te Phase
- N Auswertung der Ökotoxtests
- O Abschlussbericht

5 Versuchsvorbereitung

5.1 Testböden

Als Testboden wurde vor Projektbeginn der Boden RefeSol 01-A ausgewählt. Bei Entnahme des Bodens war dieser gefroren. Nach auftauen wurden der Boden auf < 2mm gesiebt und am 20.02.2009 an die TU Berlin geliefert. Bei Lieferung war der Wassergehalt relativ hoch. Die Lagerung des Bodens erfolgte bei 4°C bis zum 09.03.09. Am 11.03.09 wurde an einer Teilprobe die Nitrifikation bestimmt. Mit 47 ng NO₂-N/ g TM-1*h-1 ergab die Messung für diesen Boden eine sehr niedrige Aktivität.

Eine Messung an einem anderen Boden (LUFA 2.3) zeigte eine wesentlich höhere potentielle Nitrifikation von 234 ng NO₂-N/ g TM-1*h-1. Nach dem ersten Testlauf mit dem Bauprodukteluat des Zementleims mit dem Boden RefeSol 01-A ergab der Nitrifikationstest einen noch geringeren Wert, der zu einer unsicheren Auswertung der Ergebnisse führte.

In Anbetracht der niedrigen potentiellen Aktivität der nitrifizierenden Mikrobenpopulation des Bodens RefeSol 01 A wurde entschieden, einen Referenzboden mit höherer Aktivität und mit möglichst ähnlicher Charakteristik (Boden Lufa 2.3) in den Tests einzusetzen (Tab. 1).

Tabelle 1: Physikalisch-chemische Eigenschaften der Referenzböden, Vergleich der Böden RefeSol 01-A und LUFA 2.3

Boden	pH-Wert	Corg in %	Sand in %	Schluff in %	Ton in %	Max. Wasserhaltekapazität (WHK _{max}) in %
RefeSol 01-A (Boden Borstel)	5,5	1,2	67	27	6	27,1
Lufa 2.3	6,4	1,0	61	30	9	34,1

In Abbildung 2 sind die Nitrifikationsaktivitäten beider Böden aufgetragen. Im Gegensatz zum Referenzboden 01-A lag die Nitrifikationsrate des Bodens LUFA 2.3 im Bereich 200-800 ng NO₂-N g-1 TM h-1, der für Kontrollböden zur Untersuchung verunreinigter Böden in DIN ISO 15685 angegeben ist.

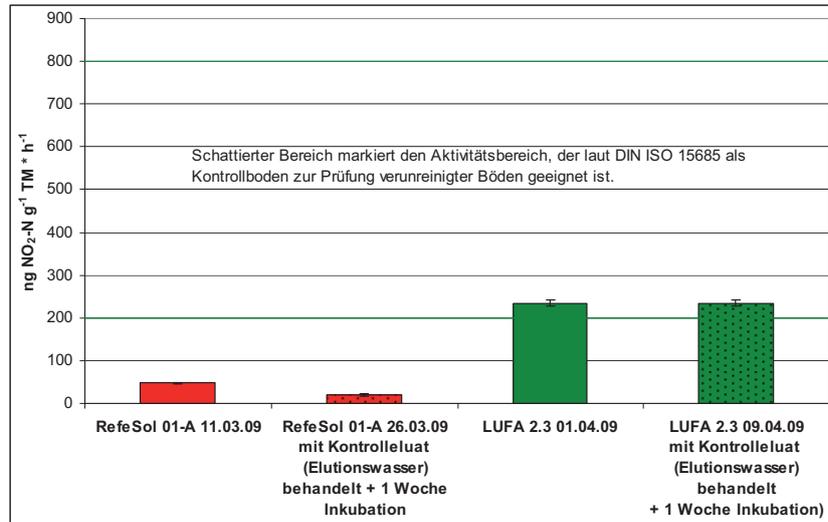


Abbildung 2: Potenzielle Nitrifikation der Referenzböden RefeSol 01-A und LUFA 2.3

5.2 Auswahl Bauprodukte

Die Bereitstellung der Bauprodukte erfolgte durch Herrn Dr. Karl von der Firma MC Bauchemie. Zielstellung bei der Auswahl der Bauprodukte war es, mindestens ein Produkt aus der Klasse der Bodeninjektionsmittel zu erhalten, was eine erwiesene schädliche Wirkung auf die Umwelt besitzt. Diese Anforderung konnte jedoch nicht erfüllt werden, da ein solches Produkt nicht mehr zur Verfügung stand. Daraufhin wurde ein Präparat auf Grundlage einer Zementleim/Biozid-Mischung für die Versuche bereitgestellt. Weitere bereitgestellte Produkte waren: Polyacrylat und Polyurethan (Tab. 2). Die stoffliche Charakterisierung lag nicht vor. Alle Angaben in Tabelle 2 sind den Sicherheitsdatenblättern entnommen.

Tabelle 2: Ausgewählte Bauprodukte und gefährliche Inhaltsstoffe

Bau- produkt	Komponente	Zusammensetzung Gefährliche Inhaltsstoffe	Wassergefährdungs- klasse (Selbsteinstufung)
Zement- leim	A: <i>Portland-Zement</i>	Portland-Zement (chromatarm) (70-100%)	1: <i>schwach wassergefährdend</i>
	B: <i>Wässr. Lsg. eines polymerisierten Melaminsulfonates.</i>	5-Chlor-2-methyl-2H-isothiazol-3- on (<1,5%) (Sehr giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben), 2-Methyl-2H- isothiazol-3-on (<1,5%)	1: <i>schwach wassergefährdend</i>
Poly- acrylat	A 1: <i>keine Angaben durch MC Bauchemie</i>		1: <i>schwach wassergefährdend</i>
	A 2: <i>keine Angaben durch MC Bauchemie</i>		1: <i>schwach wassergefährdend</i>
	A 3: <i>keine Angaben durch MC Bauchemie</i>		1: <i>schwach wassergefährdend</i>
	B: <i>keine Angaben durch MC Bauchemie</i>		1: <i>schwach wassergefährdend</i>
Poly- urethan	A: <i>4,4'- Methyldiphenyldii socyanat</i>	4,4'-Methyldiphenyldiisocyanat (50-70%)	2: <i>wassergefährdend</i>
	B: <i>Mischung</i>	2,2-Dimorpholinodiethylether (<5%), Dioctylzinndilaurat (<2,5%), Dioctylzinndicarboxylate (<2,5%)	2: <i>wassergefährdend</i>

Das bereitgestellten Polyacrylatprodukt wurde durch die von der MC Bauchemie mitgelieferten Sicherheitsdatenblätter nicht näher benannt bzw. es wurden keine näheren Angaben gemacht.

5.3 Säulentestanlage

In den Laboren des Instituts für Geographische Wissenschaften, Fachgebiet Physische Geographie wurde eine Säulenanlage nach Vorbild des Hygieneinstituts Gelsenkirchen geplant und aufgebaut. Die Säulen wurden nach Maßgabe des Hygieneinstituts in Auftrag gegeben (Abb. 3).

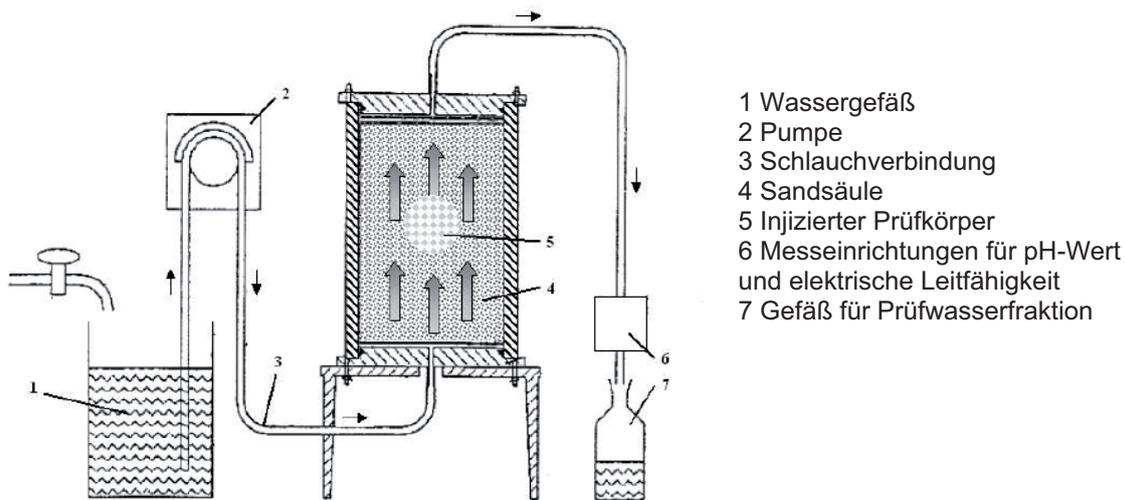


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung des Säulenelutionsverfahrens mit inverser Fließrichtung
(nach Schössner, 2005)

Die dazu nötigen Geräte und Reagenzien sind im Anhang 1 aufgelistet.

Es wurden 3 Säulen installiert die über PVC-Schläuche mit einem Vorratsgefäß (thermostatisiert) verbunden sind. Das Elutionswasser wurde mit jeweils einer Peristaltikpumpe pro Säule aus dem Vorratsgefäß in die Säule gepumpt. Ein weiteres Vorratsgefäß dient zur Anpassung des Elutionswassers an Raumtemperatur. In Abbildung 4 ist die Säulenversuchsanlage der FU Berlin abgebildet.



Abbildung 4: Säulenanlage mit Vorratsgefäß

Die Funktionsweise des Säulenversuchs mit inverser Fließrichtung zur Herstellung der Eluate aus den Bauprodukten wurde ausführlich im Abschlussbericht des ersten Forschungsvorhabens beschrieben und ist dem Anhang 2 zu entnehmen.

5.4 Vorversuche

Die Vorversuche mit der Säulenanlage hatten das Ziel zum einen den ordentlichen Betrieb der Säulenanlage zu gewährleisten und zum anderen die Säulenelution und den Einbau/Injektion der Bauprodukte zu optimieren.

Um die ersten Elutionserfahrungen mittels der Säulenanlage zu sammeln, wurde neben der Prüfung der Funktionstüchtigkeit in einem ersten Schritt sandgefüllte Säulen eluiert, um das Handling der Eluatabnahme zu testen. In einem weiteren Schritt wurden Bauprodukte aus dem Baumarkt (z.B. Zement) in die Säule eingebaut und eluiert und die Parameter pH-Wert und elektr. Leitfähigkeit bestimmt. Ziel war es zu überprüfen inwieweit die parallelen Säulen vergleichbare Ergebnisse liefern.

Nach Lieferung der Windkesselanlage wurden Injektionsversuche mit dem bereitgestellten Polyacrylat durchgeführt und die Injektion optimiert. Hierbei spielte die Frage des Handlings eine große Rolle, insbesondere die Frage nach der benötigten Zeit, für eine Injektion des schnell reagierenden Polyacrylat. Hier wurden verschiedene Ansätze getestet, die die Zeit bis zur Aushärtung verzögerten. Dies wurde mit unterschiedlichen Mengen an Komponente B und verschiedenen Temperaturen getestet. Auf dieser Grundlage wurde für die Vergleichs-

untersuchung die Arbeitsanweisung zur Injektion mittels Windkesselanlage erarbeitet. Die Funktionsweise der Windkesselanlage (WKA) ist in Anlage 3 dargelegt.

In weiteren 3 Vorversuchen (Weitere Versuche waren durch die zeitliche Einschränkung nicht möglich) wurde die maximal eluierbare Menge an TOC aus dem Bauprodukt Polyacrylat ermittelt. Das Szenario, das zu dem höchsten TOC-Gehalt führte, wurde bei einer Wiederholungsinjektion herangezogen. Dabei wurden die Komponente B des Bauproduktes variiert und der Zeitpunkt des Elutionsbeginn. In Tabelle 3 sind die durchgeführten Vorversuche und die veränderten Parameter aufgeführt.

Tabelle 3: Voruntersuchungen und veränderte Parameter

	PAC I	Vorversuch 1	Vorversuch 2	Vorversuch 3
Anzahl Säulen	3	1	1	2
Anmischung - Veränderung zu Herstellerangaben	keine	keine	1,5%ige B-Lösung *	1%ige B-Lösung *
Anmischtemperatur	18°C	10°C	10°C	10°C
Elutionsbeginn nach	10min	3min	2min	3min
TOC [mg/l] – MW 3 höchste Fraktionen	143	182	257	310

* 2%ige B-Lösung nach Herstellerangaben

Zur Vorbereitung der Vergleichsuntersuchungen und zur Optimierung der Arbeitsanweisungen wurden mit den zur Verfügung gestellten Bauprodukten weitere Elutionsversuche durchgeführt.

6 Untersuchungen zur ökotoxikologischen Bewertung der Bauprodukte

6.1 Eluatherstellung

6.1.1 Durchführung

Die zur Verfügung gestellten Bauprodukte (Bodeninjektionsmittel auf Acrylatbasis, Polyurethan und Zementleim mit Biozid) wurden im Abstand von mehreren Wochen eluiert. Die Vorbereitung der Säulen und die Elution der Bauprodukte erfolgten nach der Arbeitsanweisung (Stand 2003) des Hygieneinstituts Gelsenkirchen.

Die Injektion bzw. der Einbau der Bauprodukte erfolgte durch einen Techniker der Firma MC Bauchemie.

Zementleim: Die Eluatherstellung wurde mit der Vorbereitung dreier Säulen und der 24 Stunden Spülung gestartet. Am 12.03.2009 wurden eine Probe des Elutionswassers und eine Probe des Blindwertes je Säule entnommen und bei 4°C bis zur Analyse gelagert. Im Anschluss daran fanden die Vorbereitung und der Einbau des Zementleims statt. Das Bauprodukt bestand aus 2 Komponenten (vgl. Kap. 5.2) und benötigte Leitungswasser zum Anmischen. Die 2,53 Liter der Komponente B wurden mit 13,65 Liter Wasser in einem Mischeimer vermischt. Danach wurde die Komponente A zugegeben und mit einem Rührgerät der Firma Bosch (GPO 12E) eingerührt. Insgesamt 15 min erfolgte die Mischung mittels Rührgerät bei abgedecktem Mischeimer. Laut Herstellerangaben beginnt die Aushärtezeit von 90 min mit abgeschlossener Mischung der Komponenten und des Anmischwassers. Nach 10 min Aushärtezeit wurde die Injektion des angemischten Bauproduktes mit Hilfe einer Injektionsanlage (Abb. 5) gestartet. Nach mehreren Versuchen wurde die Injektion eingestellt, da es durch zu hohen Widerstand in der Säule (zu kleiner Kf-Wert des Sandes, oder Verstopfung des Packers) unmöglich war den Zementleim zu injizieren. Anschließend wurden die Säulen für einen Einbau vorbereitet, d.h. die Säulen wurden geöffnet, der Sand bis zur Höhe des Mauerpackers entfernt und eine Kuhle zur Aufnahme des Zementleims vorbereitet. Nach 30 min Reaktionszeit wurde der noch mal kurz vorher gerührte Zementleim in die Säule überführt. Danach erfolgte der Wiedereinbau des Sandes. Nach abgelaufener Aushärtezeit wurde die Elution mit der Aufsättigung der Säule gestartet. Beim ersten Austritt des Prüfwassers in Säule B musste die Wasserzufuhr kurz unterbrochen werden, da die Säule undicht war. Nach Behebung der Ursache (Deckel saß nicht richtig) wurde die Elution wieder gestartet. Die Probenahmezeiten der Eluate wurden aufgezeichnet. Die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Geruch, Färbung, Trübung und Neigung zur Schaumbildung und Eluattemperatur wurden sofort bestimmt und die Eluate zur weiteren Verwendung bei 4°C gelagert.



Abbildung 5: Injektionspumpe

Am 18.03.2009 wurde die Elution beendet. Danach wurden die Säulen leer gepumpt, der Sand entfernt und der entstandene Probekörper ausgebaut. Die Probekörper wurden vermessen, fotografiert und das Volumen wurde bestimmt (vgl. Anhang 4).

Polyacrylat: Die Eluatherstellung wurde mit der Vorbereitung dreier Säulen und der 24 Stunden Spülung gestartet. Am 26.03.2009 wurden eine Probe des Elutionswassers und eine Probe des Blindwertes je Säule entnommen und bei 4°C bis zur Analyse gelagert. Im Anschluss daran fand die Vorbereitung zur Injektion des Polyacrylats statt. Herr Dr. Karl (MC Bauchemie) war neben dem Techniker selbst anwesend. Das Bauprodukt bestand aus 2 Komponenten. Die erste

Komponente (A) setzte sich aus 3 Teilkomponenten zusammen. Komponente B war ein Pulver was in Leitungswasser aufgelöst wurde (vgl. Kap. 5.2). Das Mischungsverhältnis war 30 (A) : 25 (B) (Tab. 4).

Tabelle 4: Anmischmengen der Teilkomponenten des Polyacrylats (PAC)

Komponente	Menge [kg]	Gemisch
A1	27,5	30 kg Komponente A
A2	0,5	
A3	2,0	
B	0,5	25 kg Komp. B (2%ige B-Lösung)
Wasser	25	

Der Versuch der Injektion des Bauproduktes mittels einer 2K-Injektionspumpe war aus technischen Gründen nicht möglich. Ursache war der trotz vorherigem Test nicht ausreichende Druck der benötigten Druckluft. Der Versuch einen geeigneten Kompressor aufzutreiben war erfolglos. Nach Rücksprache mit Herrn Dr. Karl wurde daraufhin das Bauprodukt von Hand aus den fertigen Teilkomponenten von Herrn Dr. Karl persönlich je Säule angemischt. Vorher wurden die Säulen präpariert, d.h. die Säulen wurden geöffnet, der Sand bis zur Höhe des Mauerpackers entfernt und eine Kuhle zur Aufnahme des Polyacrylats vorbereitet. Nach Anmischen des Bauproduktes (Anmischzeit 10 s) wurde dieses sofort in die Säule überführt. Nach einer Aushärtezeit von ca. 40 s wurde der Sand sofort wieder in die Säule eingebracht und nach insgesamt 10 min wurde die Elution mit der Aufsättigung gestartet. Beim ersten Austritt des Prüfwassers in Säule A musste die Wasserzufuhr kurz unterbrochen werden, da die Säule undicht war. Nach Behebung der Ursache (zuviel Sand in der Säule, dadurch undichter Deckel) wurde die Elution wieder gestartet. Die Probenahmezeiten der Eluate wurden aufgezeichnet. Die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Geruch, Färbung, Trübung und Neigung zur Schaumbildung und Eluattemperatur wurden sofort bestimmt und die Eluate zur weiteren Verwendung bei 4°C gelagert.

Am 30.03.2009 wurde die Elution beendet. Danach wurden die Säulen leer gepumpt, der Sand entfernt und der entstandene Probekörper ausgebaut. Die Probekörper wurden vermessen, fotografiert und das Volumen wurde bestimmt (vgl. Anhang 4).

Polyurethan: Der Injektion des Bauproduktes fand am 20.04.2009 statt. Am 17.04.2009 wurde die Säulenanlage vorbereitet. Am 19.04.2009 wurde die 24h-Spülung der Säulen gestartet. Vor Injektion des Bauproduktes wurden ein Blindwert und eine Probe des Elutionswassers entnommen. Die Säulen wurden danach auf Anweisung des Technikers der Firma MC Bauchemie bis zur Höhe des Mauerpackers entwässert. Das Bauprodukt wurde nach Anleitung angemischt. 2.500 g Komponente A wurde mit 25 g Komponente B (Katalysator - vgl. Kap. 5.2) vermischt. Die Injektion erfolgte mit einer 1K-Injektionspumpe in der die erforderliche Menge an angemischtem Bauprodukt gegeben wurde. 500 ml Bauprodukt wurden danach in Säule B und C injiziert. In Säule A erfolgte ein Einbau per Hand von 500 ml Bauprodukt, da eine Injektion

nicht möglich war (Ursache: verstopfter Mauerpacker). 500 ml wurden gewählt, da Polyurethan einen hohen Ausdehnungskoeffizienten besitzt und ein Verschluss der Säule verhindert werden sollte. Die erwartete Aushärtezeit lag bei 30 min, die jedoch deutlich überschritten wurde. Die Elution wurde nach 60 min mit der Aufsättigung der Säulen gestartet. Die Probenahmezeiten der Eluate wurden aufgezeichnet. Die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Geruch, Färbung, Trübung und Neigung zur Schaumbildung und Eluattemperatur wurden sofort bestimmt und die Eluate zur weiteren Verwendung bei 4°C gelagert.

Am 24.04.2009 wurde die Elution beendet. Danach wurden die Säulen leer gepumpt, der Sand entfernt und der entstandene Probekörper ausgebaut. Die Probekörper wurden vermessen, fotografiert und das Volumen wurde bestimmt (vgl. Anhang 4).

Wiederholung Polyacrylatinjektion: Am 22.06.2009 erfolgte eine zweite Polyacrylatinjektion durch das Personal der FU Berlin mit Hilfe der Windkesselanlage (WKA) (Abb. 6). Die Säulen



Abbildung 6: Injektion mittels Windkesselanlage

wurden hierfür am 19.06. vorbereitet und am 21.06. bis 22.06. für 24 h gespült.

Das Bauprodukt wurde in Vorversuchen bei verschiedenen Wassertemperaturen, verschiedenprozentige B-Lösungen und verschiedenen Startzeiten geprüft. Ziel war es einen höheren Anteil an eluierten DOC zu gewinnen, um höhere Wirkungen in den Ökotoxizitätstests zu erlangen.

Das Bauprodukt wurde in Anlehnung an die Herstellerangaben (Komp. B verringert) angemischt. Das Mischungsverhältnis war 1,8 kg (A) : 1,5 kg (B) (Tab. 5).

Tabelle 5: Anmischmengen der Teilkomponenten des Polyacrylats (PAC III)

Komponente	Menge [g]	Gemisch
A1	1648,8	1,8 kg Komponente A
A2	28,8	
A3	118,8	
B	1500	1,5 kg Komp. B (1%ige B-Lösung)

Pro Säule wurden 1,1 kg in die Windkesselanlage eingefüllt. Da immer ein Rest in der Windkesselanlage verbleibt, wurden zwischen 1,02 und 1,035 kg in die wassergesättigten Säulen injiziert. Die Aushärtezeit betrug zwischen 4,50 und 6,30 min, bedingt durch längere

Kühlzeit der einzelnen Komponenten je Säule (vgl. Anhang 4). Die Elution wurde aber bereits nach spätestens 3 min gestartet, so dass das Bauprodukt im Zustand der unvollendeten Aushärtung umströmt wurde.

Die Probenahmezeiten der Eluate wurden aufgezeichnet. Die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Geruch, Färbung, Trübung und Neigung zur Schaumbildung und Eluattemperatur wurden sofort bestimmt und die Eluate zur weiteren Verwendung bei 4°C gelagert.

Am 25.06.2009 wurde die Elution beendet. Danach wurden die Säulen leer gepumpt, der Sand entfernt und der entstandene Probekörper ausgebaut. Die Probekörper wurden vermessen, fotografiert und das Volumen wurde bestimmt (vgl. Anhang 4).

6.1.2 Charakterisierung

Die Prüfwässer (Eluate) wurden durch die AG Organische Umweltgeochemie der FU Berlin alle 30 Minuten auf die Parameter Geruch, Färbung, Trübung und Neigung zur Schaumbildung analysiert und anhand von pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und DOC/TOC charakterisiert. Weiterhin wurden die Blindwerte und Proben des Elutionswassers nach den genannten Parametern untersucht. Die verwendeten Methoden sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: Verfahren zur Bestimmung der allgemeinen Parameter und des TOC

Parameter	Verfahren
pH-Wert	DIN 38404-5
elektrische Leitfähigkeit	DIN EN 27888
Geruch	DIN EN 1622 (Anhang C – Qualitatives, vereinfachtes Verfahren)
Färbung	DIN EN ISO 7887 (Hauptabschnitt II)
Trübung	DIN EN ISO 7027
Neigung zur Schaumbildung	Arbeitsanweisung FU Berlin
TOC	DIN EN 1484

Des Weiteren wurden die Eluatproben des Zementleims mittels ICP-OES (DIN EN ISO 11885) auf Schwermetalle untersucht.

6.1.3 Mischproben für Ökotoxizitätstests

Nach Charakterisierung der Eluate wurden die DOC-Gehalte zur Bestimmung der Maximal- und Abklingphase herangezogen. Die Eluate der Maximalphase wurden aus den Eluaten die 90%

des DOC-Gehaltes beinhalteteten, gebildet. Dabei wurde die Fraktionen mit den höchsten DOC bis zu 90% des Gesamt-DOC ausgewählt und zu gleichen Teilen vereinigt (siehe Anlage 5). Alle Einzelfraktionen mit einem DOC > 10 mg/l bei Zementleim und > 5 mg/l bei Polyacrylat wurden in die Berechnung mit einbezogen. Aus jeder Säulenparallele wurde eine Mischprobe der Maximalphase gebildet. Für die Abklingphase wurden die Eluate aller drei Säulen, die nicht für die Maximalphase herangezogen wurden, volumenanteilig zu einer Mischprobe vereinigt (Abb. 7).

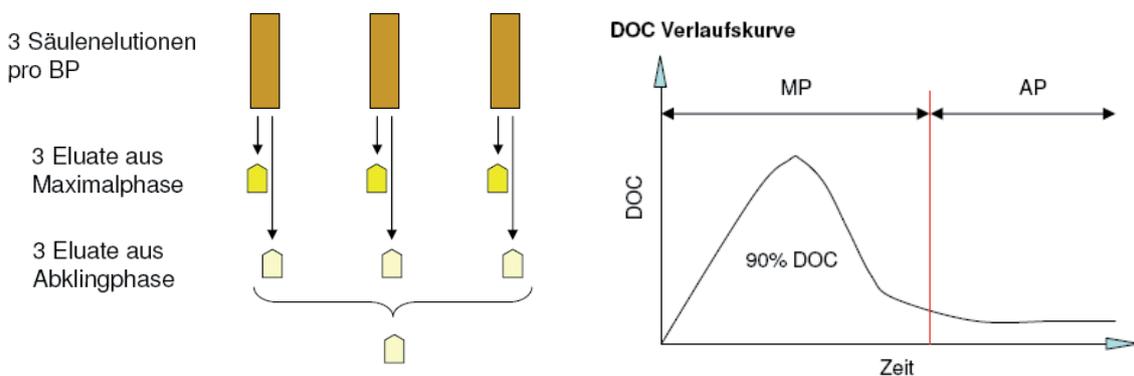


Abbildung 7: Vereinigung der einzelnen Fraktionen zu Mischproben der Maximal- (MP) und Abklingphase (AP)

Für die Wiederholung der Polyacrylatinjektion wurde die Maximalphase abweichend aus den vier Eluatfraktionen mit dem höchsten DOC gebildet, da in der Wiederholungsuntersuchung ein Eluat mit möglichst hohem DOC in den Untersuchungen eingesetzt werden sollte.

Die Eluate der Polyurethanelution wurden für die weiteren Untersuchungen nicht weiter verwendet, da die niedrigen DOC-Gehalte in den terrestrischen Tests zu keinem Informationsgewinn geführt hätten.

Die Eluate aus den Maximal- und Abklingphasen wurden anschließend direkt an die TU Berlin und durch einen Paketdienst (TNT) an die Fh-IME nach Schmallenberg geliefert.

Die Mischproben der Maximal- und Abklingphasen der Eluate wurden ebenfalls auf die Parameter Geruch, Färbung, Trübung und Neigung zur Schaumbildung analysiert und anhand von pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und DOC/TOC charakterisiert. Des Weiteren wurden die Schwermetalle und Ionen sowie Phosphat und Nitrat bestimmt. Zusätzlich ermittelte die Fh-IME und die TU Berlin den TOC.

Darüber hinaus wurden durch Herrn Dr. Volland von der FMFA in Stuttgart NMR-Untersuchungen an jeweils einer Eluatprobe (Maximalphase Säule B) pro Bauprodukt durchgeführt.

6.2 Aquatische Ökotoxizitätstest

Die Proben wurden nach dem Eingang bei der Fh-IME in Schmallenberg bis zu der jeweiligen Testdurchführung dunkel bei 4 °C gelagert. Die Eluate wurden innerhalb von einer Woche nach Probeneingang untersucht.

Im Einzelnen wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

Leuchtbakterienlumineszenztest: nach DIN EN ISO 11348-2 mit flüssig getrockneten Bakterien (*Vibrio fischeri*)

Algenwachstumshemmtest: nach DIN 38412-33 mit der Grünalge *Desmodesmus subspicatus* in Mikrotiterplatten (Ansatzmaßstab: 200 µL)

Alle Tests wurden mit 4 Wiederholungen angesetzt.

Alle Ergebnisse der aquatischen ökotoxikologischen Tests erfolgen als G-Werte. Bei dem G-Wert handelt es sich um diejenige Verdünnungsstufe, die gerade nicht mehr als 20 % Effekt hervorruft. Dieser Wert dient der Beurteilung der Eluate. Darüber hinaus wird der EC₅₀ (effektive Konzentration, bei der 50 % Effekt auftritt) soweit möglich aufgeführt.

6.3 Terrestrische Ökotoxizitätstest

Die zu testenden Eluate wurden direkt bzw. möglichst schnell nach Lieferung auf den Boden aufgebracht. Alle Untersuchungen wurden analog zu den vorangegangenen Projektphasen in gleicher Weise durchgeführt. Es wurden jeweils 667 g Eluat/kg Boden-TM aufgebracht (Überstaung) und 24 Stunden stehen gelassen. Anschließend wurde der Eluatüberstand, durchschnittlich 46 % ($\pm 1,7$) des Eluates, komplett abdekantiert. Die restliche im Boden verbliebene Flüssigkeitsmenge wurde durch schonendes Trocknen auf 50 % der maximalen Wasserhaltekapazität reduziert. Die so erhaltenen Bodenproben wurden in Weckgläsern im Dunkeln bei 20°C 12 Wochen inkubiert. Jeweils nach einer Woche und nach zwölf Wochen wurden die potenzielle Nitrifikation bestimmt und Bodenatmungskurven aufgenommen.

Bestimmung der potentiellen Nitrifizierung – Schnellverfahren mittels Ammoniumoxidation: Der Test wurde nach DIN ISO 15685 (2001) durchgeführt. Die Ammoniumoxidation ist der erste Schritt der autotrophen Nitrifikation und wird zur Bewertung der potenziellen Aktivität von nitrifizierenden Bakterien im Boden genutzt.

Bestimmung der Abundanz und Aktivität der Bodenmikroflora mit Hilfe von Atmungskurven: Der Test wurde nach DIN ISO 17155 (2001) durchgeführt. Aerobe Mikroorganismen gewinnen ihre Energie aus der Atmung, d.h. der Oxidation organischer

Nährstoffe durch molekularen Sauerstoff. Mit Hilfe der analytischen Bestimmung des Stoffwechselproduktes CO₂ werden die metabolischen Aktivitäten von Mikroorganismen in Bodenproben bestimmt und zur Bewertung der Bodenqualität herangezogen.

Als Vergleich der Aktivitäten in den mit Bauprodukteluat kontaminierten Böden wurden dieselben Tests in einem unkontaminierten Referenzboden durchgeführt.

Die mittels inverser Säulenelution gewonnenen Eluate wurden auf einen Referenzboden aufgebracht und die genannten Testverfahren jeweils nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation durchgeführt. Als Kontrollvariante diente das Wasser, das zur Elution genutzt wurde (im Weiteren als Kontrolle bezeichnet). Dieses stammte aus der 24-stündigen Spülphase vor der Injektion der Bauprodukte.

Das erste Eluat (Zementleim mit Wurzelhemmer) wurde zunächst mit dem Boden RefeSol 01-A angesetzt. Da die Aktivität dieses Bodens jedoch so niedrig war, dass eventuelle Effekte möglicherweise nicht mehr quantifizierbar wären, wurde der Test mit dem Boden LUFA 2.3 wiederholt und für alle weiteren Tests entsprechend LUFA 2.3 verwendet (vgl. Kap. 5.1). Für den wiederholten Test wurde demzufolge das Eluat 2 Wochen im Kühlschrank gelagert.

Im Versuchsansatz mit den Polyacrylat III-Eluaten wurde eine Positivkontrolle mitgeführt, bei der dem Boden 2000 mg Cu kg⁻¹ TM (als CuCl₂ · 2 H₂O) zugesetzt wurden. Da es bisher keine Tests mit Chemikalien gab, die eine definierte Hemmung hervorrufen, wurde zunächst dieser hohe Kupfergehalt eingestellt, der in jedem Falle eine deutliche Hemmung zeigen musste. Die Zugabe erfolgte in wässriger Lösung, die dem Boden zugesetzt wurde und anschließend mit dem Spatel homogenisiert wurde.

Der Bodenatmungstest wird mit Hilfe des Vergleichs der Atmungskurven der mit Bauprodukteluat kontaminierten Böden und der Atmungskurven des unkontaminierten Referenzboden ausgewertet. Der Nitrifikationstest wird anhand der Bildung von Nitrit im Vergleich zur Kontrolle bewertet. Die Ergebnisse der terrestrischen Tests werden als Hemmung bzw. Förderung im Vergleich zum Kontrollboden angegeben. Alle Abweichungen zur Kontrolle die dabei 25% überschreiten, werden als kritisch betrachtet.

6.4 Abbautest

Von jedem Bauprodukt wurde ein Eluat aus der Maximalphase ausgewählt und in den Abbautest gemäß OECD 301 E (OECD-Screening-Test) eingesetzt. Es wurde jeweils das Eluat, welches in den aquatischen Tests die größte Wirkung erzielte, ausgewählt. Gewählt wurden:

- ZL - MP - A
- PAC I - MP - B
- PAC III - MP - B

Die Testsubstanz, bzw. in diesem Fall das Bauprodukteluat, wird als einziger Kohlenstoff in ein Mineralmedium zugesetzt. Als Inokulum dient Kläranlagenauslauf. Der Abbau wird über Verschwinden von gelöstem Kohlenstoff verfolgt. Gemäß Vorschrift soll die Kohlenstoffkonzentration im Testansatz zum Zeitpunkt 0 zwischen 10 und 40 mg/L betragen.

Aufgrund des geringen DOC-Gehaltes von Eluat ZL - MP - A betrug die maximal erzielbare Testkonzentration 22,5 mg DOC/L. Als Testvolumen dienten 500 ml. Die beiden anderen Eluate, die deutlich höhere DOC-Gehalte aufwiesen, wurden mit 40 mg DOC/L eingesetzt. Das Ansatzvolumen betrug 1 L und entsprach damit vollständig der Richtlinie.

Folgende Ansätze wurden untersucht:

Inokulum-Blindwert (Mineralmedium + Inokulum):	2 Replikate
Referenz-Ansatz (Na-Benzoesäure + Mineralmedium + Inokulum):	1 Ansatz
Probe 1 (ZL-MP-A + Mineralmedium + Inokulum):	2 Replikate
Toxizitätskontrolle (ZL-MP-A + Na-Benzoesäure + Mineralmedium + Inokulum):	1 Ansatz
Physikalisch-chem. Kontrolle I (ZL-MP-A + HgCl ₂ + Mineralmedium + Inokulum):	1 Ansatz
Probe 2 (PAC I-MP-B + Mineralmedium + Inokulum):	2 Replikate
Toxizitätskontrolle (PAC I-MP-B + Na-Benzoesäure + Mineralmedium + Inokulum):	1 Ansatz
Physikalisch-chem. Kontrolle I (PAC I-MP-B + HgCl ₂ + Mineralmedium + Inokulum):	1 Ansatz
Physikalisch-chem. Kontrolle II (PAC I-MP-B + HgCl ₂ + Mineralmedium):	1 Ansatz
Probe 3 (PAC III-MP-B + Mineralmedium + Inokulum):	2 Replikate
Toxizitätskontrolle 3 (PAC III-MP-B + Na-Benzoesäure + Mineralmed. + Inokulum):	1 Ansatz
Physikalisch-chem. Kontrolle I (PAC III-MP-B + HgCl ₂ + Mineralm. + Inokulum):	1 Ansatz
Physikalisch-chem. Kontrolle II (PAC III-MP-B + HgCl ₂ + Mineralmedium):	1 Ansatz

6.5 Qualitätssicherung

Bei der Beurteilung der Umweltwirkung die von Injektionsmitteln ausgehen kann, spielt die Herstellung von Eluaten eine zentrale Rolle. Da Untersuchungen unter natürlichen Bedingungen im Freiland sehr schwer zu realisieren sind, müssen im Labor realitätsnahe **Elutionsverfahren** genutzt werden. Die Qualität der in den nachfolgenden Untersuchungen (z.B. ökotoxikologische Tests) erzielten Ergebnisse ist zum großen Teil abhängig von der Qualität der Eluate.

Die inverse Säulenelution nach Schössner ist Bestandteil der Qualitätsmanagement-Arbeitsanweisung des Hygieneinstituts Gelsenkirchen (2003). Die Säulenelution mit inverser Fließrichtung wurde 2002 in einem Forschungsauftrag für das DIBt optimiert und überarbeitet, so dass sie als Standardprüfmethode für Bodeninjektionsmittel eingesetzt werden kann und in

den Grundsätzen zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser vom Mai 2008, im Anhang 1-C, Zusammenstellung der Elutionsverfahren - Tabelle C 2, aufgeführt ist.

Der Säulenversuch mit umgekehrter Fließrichtung ist eine Methode, die einen realitätsnahen Zustand simuliert und als geeignet für die ökotoxikologische Prüfung von Bauprodukten angesehen wird (Schössner, 2005).

Bei allen **Biologischen Testverfahren** handelt es sich um standardisierte und normierte Methoden. Die Beschreibung des ökotoxikologischen Potenzials der Prüfsubstanzen, die den Böden beigegeben wurde (in diesem Falle der Bauprodukt-Eluate) erfolgte gemäß DIN ISO 15799 (2004). Alle Messungen erfolgten mit geeichten Messgeräten.

Die terrestrischen Testverfahren wurden jeweils mit 4 Wiederholungen durchgeführt. Durch die geringe Aktivität des eigentlichen Testbodens RefeSol 01A musste jedoch ein anderer Boden in den Test eingesetzt werden. Um den Anforderungen, die in den Vorgängervorhaben genannt wurden, gerecht zu werden, und aufgrund des engen Zeitfensters, wurde der vergleichbare Standardboden LUFA 2.3 gewählt, der zu diesem Zeitpunkt an der TU Berlin vorrätig war.

Zur Qualitätssicherung der in den Eluaten bestimmten **Parameter** DOC/TOC der Mischproben der Maximal- und Abklingphase wurde von der TU-Berlin und der Fh-IME Vergleichsmessungen durchgeführt.

Um die Vergleichbarkeit und Justiziabilität des Elutionsverfahrens nach SCHÖSSNER zu gewährleisten, wurde eine **Vergleichsuntersuchung** initiiert (vgl. Teil II, Kap. 9), der ein Normungsverfahren folgen soll.

Zur Sicherung des **Projektablaufes** wurde in regelmäßigen Abständen Rücksprache mit Frau Dr. Pawel vom DIBt gehalten und mehrere Projekttreffen zwischen den beteiligten Instituten abgehalten. Zu Beginn des Projektes wurde dem Betreuerkreis das Untersuchungsdesign vorgestellt und diskutiert. Die erhaltenen Hinweise wurden in das Projektdesign übernommen. Des Weiteren wurde der Betreuerkreis über wichtige Änderungen informiert.

Zum Abschluss des Forschungsvorhabens werden die in diesem Vorhaben gewonnenen Ergebnisse ebenfalls dem Betreuerkreis präsentiert und diskutiert.

7 Ergebnisse

7.1 Eluatcharakterisierung (Parameter)

Im Folgenden werden die Parameter der 4 Elutionen der Bauprodukte Zementleim, Polyacrylat I, Polyurethan und Polyacrylat III aufgeführt. Ausführliche Ergebnistabellen sind im Anhang 6 beigefügt.

Zementleim: Der Verlauf der Parameter TOC, DOC, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Trübe, Temperatur, Farbe und Geruch sowie Neigung zur Schaumbildung wurde aufgenommen. In Abbildung 8 ist der Verlauf des DOC und der elektr. Leitfähigkeit abgebildet. Das Maximum des

Austrages wurde in der 2ten – 4ten Fraktion ermittelt. Mit zunehmender Elutionsdauer gehen alle gemessenen Parameter relativ rasch auf das Ausgangsniveau zurück.

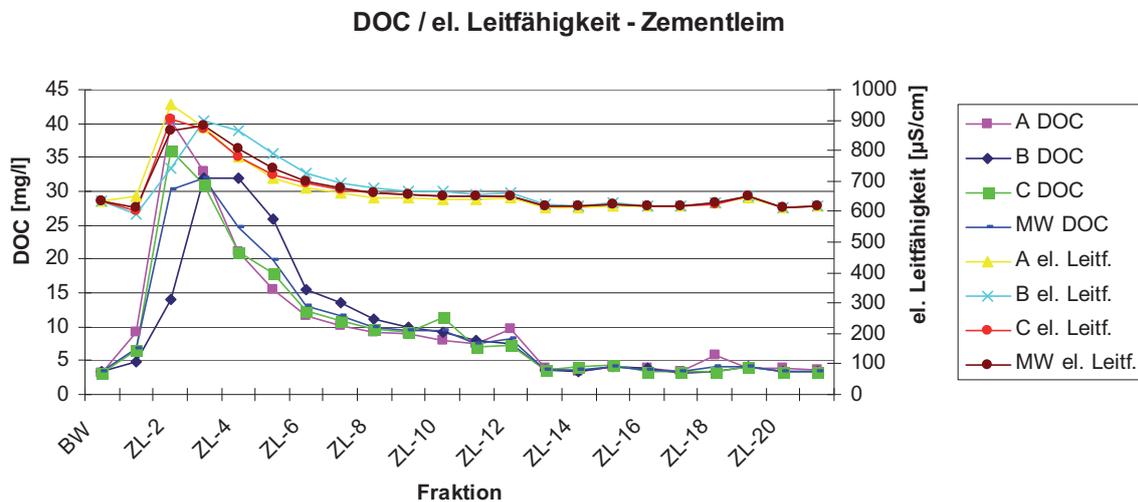


Abbildung 8: DOC-Verlaufes und elektr. Leitfähigkeit der Eluatfraktionen Zementleim der 3 parallelen Säulen

Die Mischfraktionen wurden mit den Fraktionen gebildet, die 90% des DOC integrierten. Als Grenze wurden 10mg/l DOC angesetzt, um eine zu große Verdünnung zu vermeiden. In Tabelle 7 sind die Mischfraktionen und die dazugehörigen Parameter aufgeführt.

Tabelle 7: Parameter der Mischfraktionen - Zementleim

Mischfraktion/Säule	Fraktion	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
MP-A	2-6	8,68	776	<1	ohne	farblos	keine	26,2	24,3
MP-B	2-6	8,46	799	1	ohne	farblos	keine	26,2	23,9
MP-C	2-6	8,60	786	<1	ohne	farblos	keine	26,4	23,7
AP-A-C	8-20	8,33	618	<1	ohne	farblos	keine	5,8	5,9

N. z. Schb. = Neigung zur Schaumbildung

Polyacrylat I: Der Verlauf der Parameter TOC, DOC, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Trübe, Temperatur, Farbe und Geruch sowie Neigung zur Schaumbildung wurde aufgenommen. In Abbildung 9 ist der Verlauf des DOC und der elektr. Leitfähigkeit abgebildet. Das Maximum des Austrages wurde in der 2ten – 10ten bzw. 4ten-11ten Fraktion ermittelt. Mit zunehmender Elutionsdauer gehen alle gemessenen Parameter auf das Ausgangsniveau (Tag 2) zurück.

Durch den Einbau des Polyacrylats per Hand, kam es in der Säule zu zwei unterschiedlichen Szenarien, die sich im Kurvenverlauf deutlich widerspiegeln. In Säule A und C ist das Produkt größtenteils in der vorbereiteten Kuhle in der Säule ausgehärtet, während in Säule B das Produkt versickerte und so einen größeren Prüfkörper ausbildete.

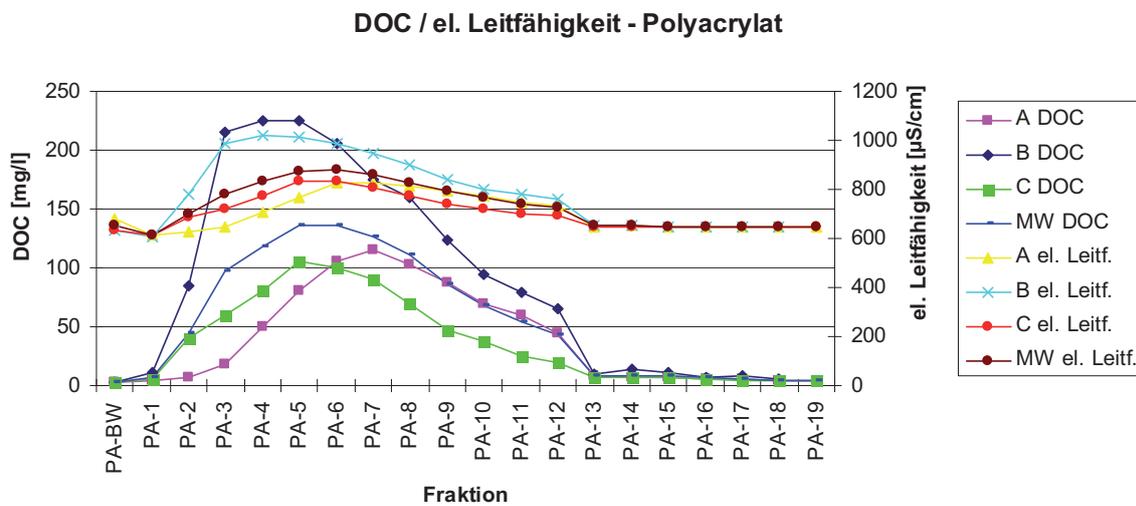


Abbildung 9: DOC-Verlaufes und elektr. Leitfähigkeit der Eluatfraktionen Polyacrylat I der 3 parallelen Säulen

Die Mischfraktionen wurden mit den Fraktionen gebildet, die 90% des DOC integrierten. Als Grenze wurden 5mg/l DOC angesetzt. In Tabelle 8 sind die Mischfraktionen und die dazugehörigen Parameter aufgeführt.

Tabelle 8: Parameter der Mischfraktionen – Polyacrylat (PAC I)

Mischfraktion/ Säule	Fraktion	pH- Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
MP-A,	4-11	7,97	784	<1	ohne	farblos	schwach	86	84
MP-B,	2-10	8,04	920	<1	ohne	farblos	deutlich	150	150
MP-C,	2-10	8,01	766	<1	ohne	farblos	schwach	72	70
AP-A-C,	13-18	7,98	649	<1	ohne	farblos	keine	6,9	6,7

N. z. Schb. = Neigung zur Schaumbildung

Polyurethan: Der Verlauf der Parameter TOC, DOC, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Trübe, Temperatur, Farbe und Geruch sowie Neigung zur Schaumbildung wurde aufgenommen. In Abbildung 10 ist der Verlauf des DOC und der elektr. Leitfähigkeit abgebildet. Das Maximum des Austrages wurde in der 2ten – 10ten bzw. 4ten-11ten Fraktion ermittelt. Mit zunehmender Elutionsdauer (Tag 2) gehen alle gemessenen Parameter auf das Ausgangsniveau zurück.

Parameter DOC und elektr. Leitf. - Polyurethan

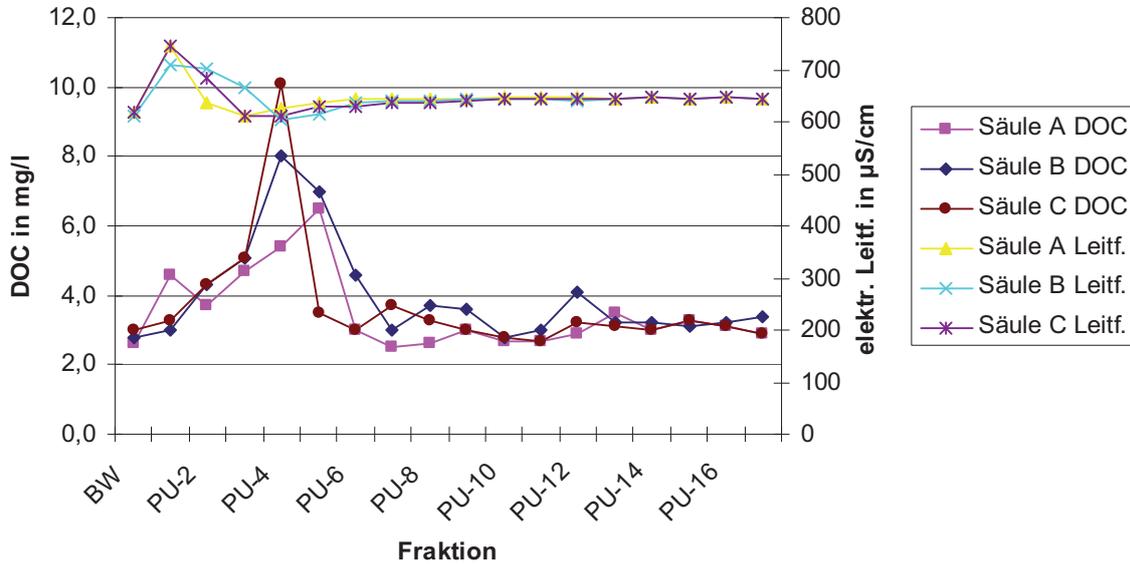


Abbildung 10: DOC-Verlaufes und elektr. Leitfähigkeit der Eluatfraktionen Polyurethan der 3 parallelen Säulen

Die Mischfraktionen wurden mit den 3 höchsten DOC-Fractionen gebildet, da alle Fraktionen sehr niedrige DOC-Werte zeigten. In Tabelle 9 sind die Mischfraktionen und die dazugehörigen Parameter aufgeführt.

Tabelle 9: Parameter der Mischfraktionen - Polyurethan

Mischfraktion/Säule	Fraktion	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
MP-A	3-5	6	625	2,30	schwach leimig	farblos	keine	n.b.	5,5
MP-B	3-5	6	628	< 1	schwach leimig	farblos	keine	n.b.	6,7
MP-C	2-4	5,7	636	< 1	schwach leimig	farblos	keine	n.b.	6,5
AP-A-C	13-16	7,69	642	< 1	sehr schwach leimig	farblos	keine	n.b.	3,1

n.b.: nicht bestimmt, N. z. Schb. = Neigung zur Schaumbildung

Durch die sehr niedrigen DOC-Werte wurde in Absprache mit der TU Berlin und Frau Dr. Pawel vom DIBt entschieden, dass diese Eluate nicht weiter bearbeitet (ökotoxikologische Tests) werden, da mit einem geringen Effekt in den terrestrischen Tests zu rechnen gewesen wäre.

Wiederholung – Polyacrylat III: Der Verlauf der Parameter TOC, DOC, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Trübe, Temperatur, Farbe und Geruch sowie Neigung zur Schaumbildung ist in Anhang 6 tabellarisch dargestellt. In Abbildung 11 ist der Verlauf des DOC und der elektr.

Leitfähigkeit abgebildet. Das Maximum des Austrages erfolgt zwischen der 4ten und 10ten Fraktion. Mit zunehmender Elutionsdauer gehen alle gemessenen Parameter auf das Ausgangsniveau zurück.

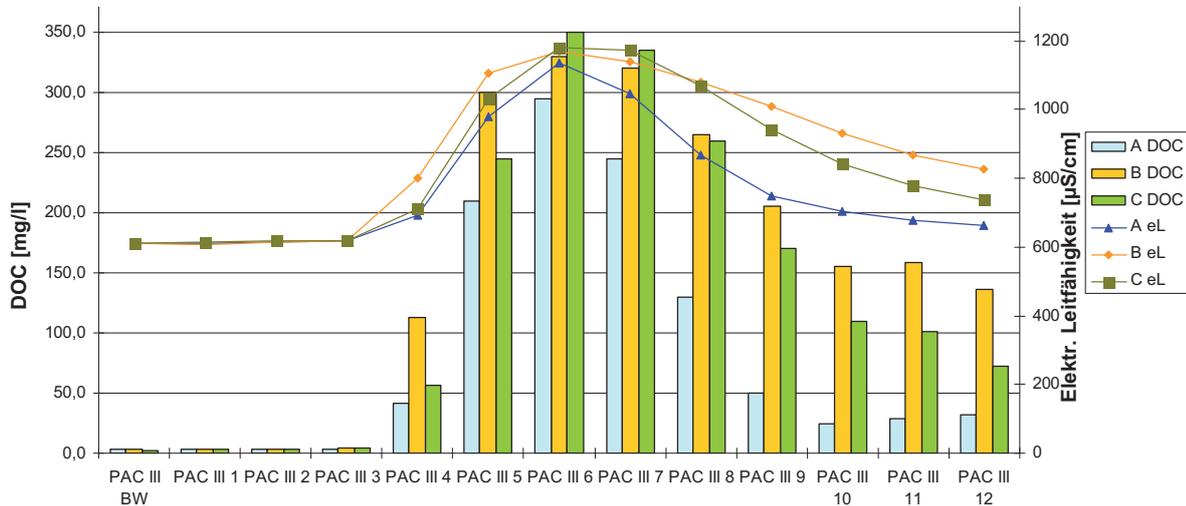


Abbildung 11: DOC-Verlauf und elektr. Leitfähigkeit der ersten 12 Eluatfraktionen Polyacrylat III

Die Mischfraktionen wurden, um relativ hohe DOC-Gehalte zu erhalten, aus den 4 höchsten DOC-Fractionen gebildet. In Tabelle 10 sind die Mischfraktionen und die dazugehörigen Parameter aufgeführt.

Tabelle 10: Parameter der Mischfraktionen – PAC III

Mischfraktion/ Säule	Fraktion	pH- Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
MP-A	5 - 8	7,97	1008	< 1	sehr schwach org.	farblos	stark	295	265
MP-B	5 - 8	7,97	1114	< 1	schwach org.	farblos	stark	365	330
MP-C	5 - 8	7,93	1104	< 1	sehr schwach org.	farblos	stark	370	330
AP-A-C	13-17	7,98	637	< 1	sehr schwach org.	farblos	leicht	8	8,7*

*Der höhere DOC (im Vergleich zum TOC) kommt durch den niedrigen Messbereich bei Verdünnung der Messprobe zustande, N. z. Schb. = Neigung zur Schaumbildung

Die Analyse der Mischfraktionen auf Schwermetalle und Ionen ergaben, außer bei Arsen in der Probe ZL-MP-A, keine Überschreitung der Geringfügigkeitsschwellenwerte und der Grenzwerte für Trinkwasser (Tab. 11).

Tabelle 11: Messwerte der Schwermetalle und Ionen für die Mischfraktionen der Eluate

Probe	As µg/l	Al mg/l	Ba mg/l	Ca mg/l	Cd mg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l	Fe mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	Sr mg/l	PO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l
ZL-MP-A	18,3	<	0,07	95,71	0,001	0,21	1,22	0,28	<	<	<	0,02	25,03	7,76	<	75,47	0,46	0	3,40	59	192
ZL-MP-B	7,78	<	0,07	105,5	0,001	<	0,44	0,05	<	<	<	0,02	21,38	8,11	<	73,71	0,42	0	4,00	52	164
ZL-MP-C	< 1	0,04	0,07	100,6	0,001	<	0,05	0,06	<	<	<	0,04	22,27	7,89	<	73,31	0,43	0	4,00	53	163
ZL-AP	5,79	<	0,06	89,11	0,001	0,1	0,58	0,01	<	<	<	<	7,34	8,16	<	47,04	0,34	0	4,00	52	95
PAC I-MP-A	< 1	<	0,06	98,5	0,001	0,1	0,14	0,001	<	<	0,01	0,001	4,05	35,86	<	48,76	0,31	0	0,50	71	135
PAC I-MP-B	< 1	0,001	0,06	96,82	0,001	0,1	0,14	0,001	<	<	<	0,001	4,14	65,7	<	50,87	0,31	0	0,20	60	106
PAC I-MP-C	2,48	<	0,06	100,3	0,001	<	0,11	0,001	<	<	<	<	4,17	32,44	<	49,73	0,31	0	1,00	65	116
PAC-AP	2,5	<	0,07	98,76	0,001	0,1	0,07	0,001	<	<	0,01	<	3,73	12,28	<	46,39	0,31	0	3,00	46	77
PU-MP-A	< 1	<	0,09	96,85	0,001	<	<	0,01	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0	<	<	<
PU-MP-B	< 1	<	0,11	96,32	0,001	0,30	0,14	0,001	<	<	0,21	0,001	3,43	8,53	0,01	41,55	0,30	0	4,00	52	87
PU-MP-C	< 1	<	0,11	99,23	0,001	0,35	0,20	0,001	<	<	0,41	0,001	3,72	8,56	0,02	41,66	0,31	0	3,00	50	83
PU-AP	4,03	<	0,07	101,2	0,001	<	0,11	0,001	<	<	<	<	3,87	8,89	0,02	41,09	0,32	0	3,00	53	89
PAC III-MP-A	< 1	<	0,08	105	0,001	<	<	0,37	<	<	0,04	0,001	4,0	91,3	<	42,9	0,32	2	2,00	48	100
PAC III-MP-B	< 1	0,001	0,07	101	0,001	<	<	0,09	<	<	0,03	0,001	4,0	116	<	44,2	0,32	2	1,00	58	110
PAC III-MP-C	< 1	<	0,08	102	0,001	0,1	0,01	0,42	<	<	0,06	0,001	4,0	112	<	43,2	0,32	3	1,50	49	103
PAC-AP	< 1	<	0,08	98,8	0,001	<	<	0,08	<	<	<	<	3,6	12,5	<	42,0	0,3	1	4,00	54	100

Fett: Überschreitung Geringfügigkeitsschwellenwerte

7.2 Aquatische Ökotoxtests

Im Leuchtbakterientest hat der pH-Wert der Eluate gemäß Richtlinie zwischen pH 6 und 8 zu liegen. Eine pH-Wert-Korrektur über NaOH oder HCl war nicht erforderlich. Im Algentest wurden die Proben dagegen auf den geforderten pH-Wert von $7,0 \pm 0,2$ eingestellt.

Im Leuchtbakterientest sind die Proben vor dem Test gemäß Richtlinie aufzusalzen. Dabei entspricht der geforderte Salzgehalt von 2 % NaCl einer Leitfähigkeit von 28 mS/cm. Aufgrund der niedrigen Leitfähigkeit der Eluate wurde der in den Proben vorhandene Salzgehalt bei dem Aufsalzen der Proben nicht berücksichtigt.

In den ökotoxikologischen Tests wurden die in Tabelle 12 aufgeführten Ergebnisse erhalten.

Tabelle 12: Ergebnisse in den ökotoxikologischen Tests

Probenbezeichnung	Leuchtbakterientest		Algentest	
	G _L - Wert	EC ₅₀ [%]	G _A - Wert	EC ₅₀ [%]
Zementleim - MP - A	4	n.b. ¹	3	43
Zementleim - MP - B	4	n.b. ¹	2	71
Zementleim - MP - C	3	n.b. ¹	3	43
Zementleim - AP - A - C	1	n.b. ¹	1	n.b. ¹
Polyacrylat I - MP - A	1	n.b. ¹	> 16	< 0,6
Polyacrylat I - MP - B	1	n.b. ¹	> 16	< 0,6
Polyacrylat I - MP - C	1	n.b. ¹	> 16	< 0,6
Polyacrylat I - AP - A - C	1	n.b. ¹	1	n.b. ¹
Polyacrylat III - MP - A	2	n.b. ¹	>> 16 (>1024 ⁴)	n.a. ²
Polyacrylat III - MP - B	6	n.b. ¹	>> 16 (>1024 ⁴)	n.a. ²
Polyacrylat III - MP - C	3	n.b. ¹	>> 16 (>1024 ⁴)	n.a. ²
Polyacrylat III - AP - A - C	1	n.b. ¹	1 ⁴	n.b. ¹

¹ n.b. = Nicht bestimmbar; Toxizität zu gering; ² n.a. = Nicht auswertbar; keine Konzentrations-Wirkungs-Beziehung; vollständige Hemmung bei den getesteten Konzentrationen; ³ n.a. = Nicht auswertbar; keine Konzentrations-Wirkungs-Beziehung; Hemmung schwankt bei den getesteten Konzentrationen; ⁴ n.U. = Nachuntersuchung

Zur Beurteilung der Ergebnisse wurden in den DIBt-Grundsätzen Schwellenwerte festgelegt. Danach gilt ein Eluat als toxisch wenn ein G-Wert im Leuchtbakterientest und im Algentest von 8² überschritten wird. In Tabelle 13 ist eine Zusammenfassung der Ergebnisbeurteilung aufgeführt. Ein "+" zeigt Toxizität gemäß dieser Definition an.

² Bei Produkten die nachträglich aushärten ist der G-Wert im Algentest 8 anstatt 4 (DIBt, 2009).

Tabelle 13: Klassifikation der Eluate gemäß DIBt-Grundsätzen hinsichtlich ihrer Toxizität

Probenbezeichnung	Leuchtbakterientest G _L - Wert	Algentest G _A - Wert
Zementleim - MP - A	-	-
Zementleim - MP - B	-	-
Zementleim - MP - C	-	-
Zementleim - AP - A - C	-	-
Polyacrylat I - MP - A	-	+
Polyacrylat I - MP - B	-	+
Polyacrylat I - MP - C	-	+
Polyacrylat I - AP - A - C	-	-
Polyacrylat III - MP - A	-	+
Polyacrylat III - MP - B	-	+
Polyacrylat III - MP - C	-	+
Polyacrylat III - AP - A - C	-	-

"+" = toxisch; "-" = untoxisch

Es wird deutlich, dass die Testorganismen unterschiedlich reagieren. Während im Leuchtbakterientest bei keinem Eluat eine Hemmung auftritt, die über dem festgelegten Schwellenwert liegt, reagieren die Algen auf die Eluate der Maximumphase der Polyacrylateluate mit einer deutlichen Hemmung. Die Schwellenwerte werden hier überschritten. Im Eluat aus der Abklingphase ist dagegen keine Toxizität mehr nachweisbar.

Bei den Eluaten der Probe PACIII - MP aus der Maximumphase ist eine vollständige Hemmung des Algenwachstums in allen Konzentrationen zu verzeichnen. Daraufhin wurde der Algentests bei den Eluaten der Probe PACIII - MP wiederholt. Von den Proben PACIII-MP-A, PACIII-MP-B und PACIII-MP-C wurde nochmals die höchste Testkonzentration sowie eine 1 : 1000 Verdünnung (ca. G = 1024) durchgeführt. Die Ergebnisse sind detailliert im Anhang 7 dargestellt. Generell bestätigt sich die Aussage. Die Proben PACIII-MP-A, PACIII-MP-B und PACIII-MP-C führen unverdünnt zur vollständigen Hemmung. Bei der 1 : 1000-Verdünnung ist eine Abschwächung der Hemmwirkung zu verzeichnen. Somit sind toxische Substanzen vorliegend, deren Konzentration durch eine Verdünnung reduziert werden kann, wodurch die Hemmung reduziert wird. Bei dieser hohen Verdünnung ist jedoch immer noch eine toxische Wirkung zu verzeichnen. Die absoluten Messwerte der Replikate in der höchsten Verdünnung zeigen keine auffälligen Schwankungen auf. Bei den unverdünnten Ansätzen ist keine diesbezügliche Aussage zu treffen, da kein Algenwachstum zu verzeichnen ist.

Im Gegensatz hierzu lässt sich im Eluat aus der Abklingphase ein leichtes Algenwachstum feststellen. Das Ausmaß der Stimulation ist dabei nicht konzentrationsabhängig. Eine Ursache für das stimulierte Wachstum ist nicht bekannt. Die Stimulation kann jedoch nicht künstlich durch ein schlechtes Wachstum der Kontrolle hervorgerufen sein.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Leuchtbakterientest: Keine Probe überschritt den Schwellenwert, der eine Toxizität anzeigt.

Algentest: Alle Proben des Produktes Zementleim erwiesen sich als untoxisch. Die Eluate aus den Maximalphasen des Polyacrylatproduktes zeigten dagegen eine deutliche Toxizität. Im Gegensatz dazu war in den Abklingphasen des Polyacrylateluates keine Toxizität zu erkennen. Die hohe Toxizität der Proben aus der Maximalphase der PAC III – MP Eluate wurde durch eine Wiederholung der Untersuchung bestätigt.

7.3 Terrestrische Ökotoxtests

7.3.1 Eluat Zementleim mit Biozid

Nitrifikation

Die Eluate zeigten praktisch keine Wirkungen auf die potenzielle Nitrifikation nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation. Sie reichten von 4 %iger Hemmung (Abklingphase nach 12 Wochen) bis 3 %iger Förderung (Maximalphase A nach 12 Wochen) (Tab. 14 und Abb. 12).

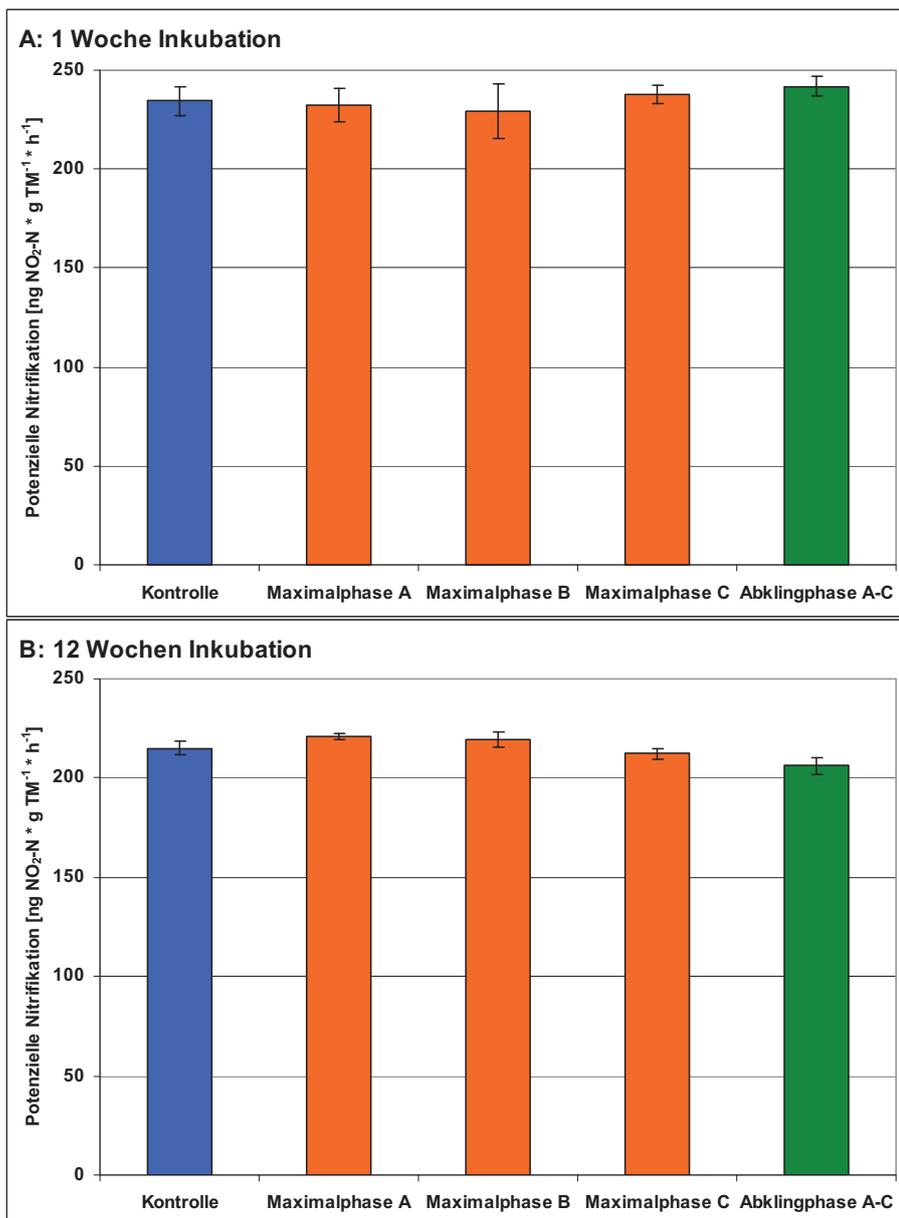


Abbildung 12: Potenzielle Nitrifikation von LUFA 2.3 eine (A) und zwölf Wochen (B) nach Behandlung mit Eluat Zementleim + Biozid

Tabelle 14: Potenzielle Nitrifikation von LUFA 2.3 eine und zwölf Wochen nach Behandlung mit Eluat Zementleim + Biozid (Werte in Prozent zur Kontrolle \pm Standardabweichung)

	Kontrolle	Maximalphase A	Maximalphase B	Maximalphase C	Abklingphase A-C
1 Woche	100 (\pm 3)	99 (\pm 4)	98 (\pm 6)	102 (\pm 2)	103 (\pm 2)
12 Wochen	100 (\pm 2)	103 (\pm 1)	102 (\pm 2)	99 (\pm 1)	96 (\pm 2)

Bodenatmung

Die Bodenatmungskurven nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation (Abb. 13) unterschieden sich zunächst grundsätzlich in ihrem Verlauf, wobei jedoch die jeweiligen Eluate ähnliche Verläufe zeigten. Sowohl nach einer, wie auch nach zwölf Wochen war jeweils 20 Stunden nach Substratzugabe eine Peakschulter bzw. ein erstes Peakmaximum zu erkennen. Im weiteren Verlauf unterschieden sich die Kurven zwischen den beiden Inkubationszeiträumen deutlich. Während nach einwöchiger Inkubation das Peakmaximum jeweils 30 Stunden nach Substratzugabe erreicht wurde, wiesen die Kurven nach zwölfwöchiger Inkubation ein verzögertes zweites Peakmaximum etwa 40-45 Stunden nach Substratzugabe auf. Auf das Phänomen der Doppelpeaks wird im Punkt Zusammenfassung näher eingegangen.

Die aus den Atmungskurven abgeleiteten Parameter (Abb. 14 und Tab. 15) zeigen, dass sich die Wirkungen der verschiedenen Eluate nicht wesentlich voneinander bzw. von der Kontrolle unterschieden. Der respiratorische Aktivierungsquotient Q_R wies relativ starke Schwankungen auf, was sich auf die sehr geringen Basalatmungsraten zurückführen lässt. Alle Q_R -Werte lagen jedoch deutlich unter der Grenze für belastete Böden von 0,3. Insgesamt waren für alle Parameter eher leichte Förderungen gegenüber der Kontrolle festzustellen, die jedoch sehr gering ausfielen.

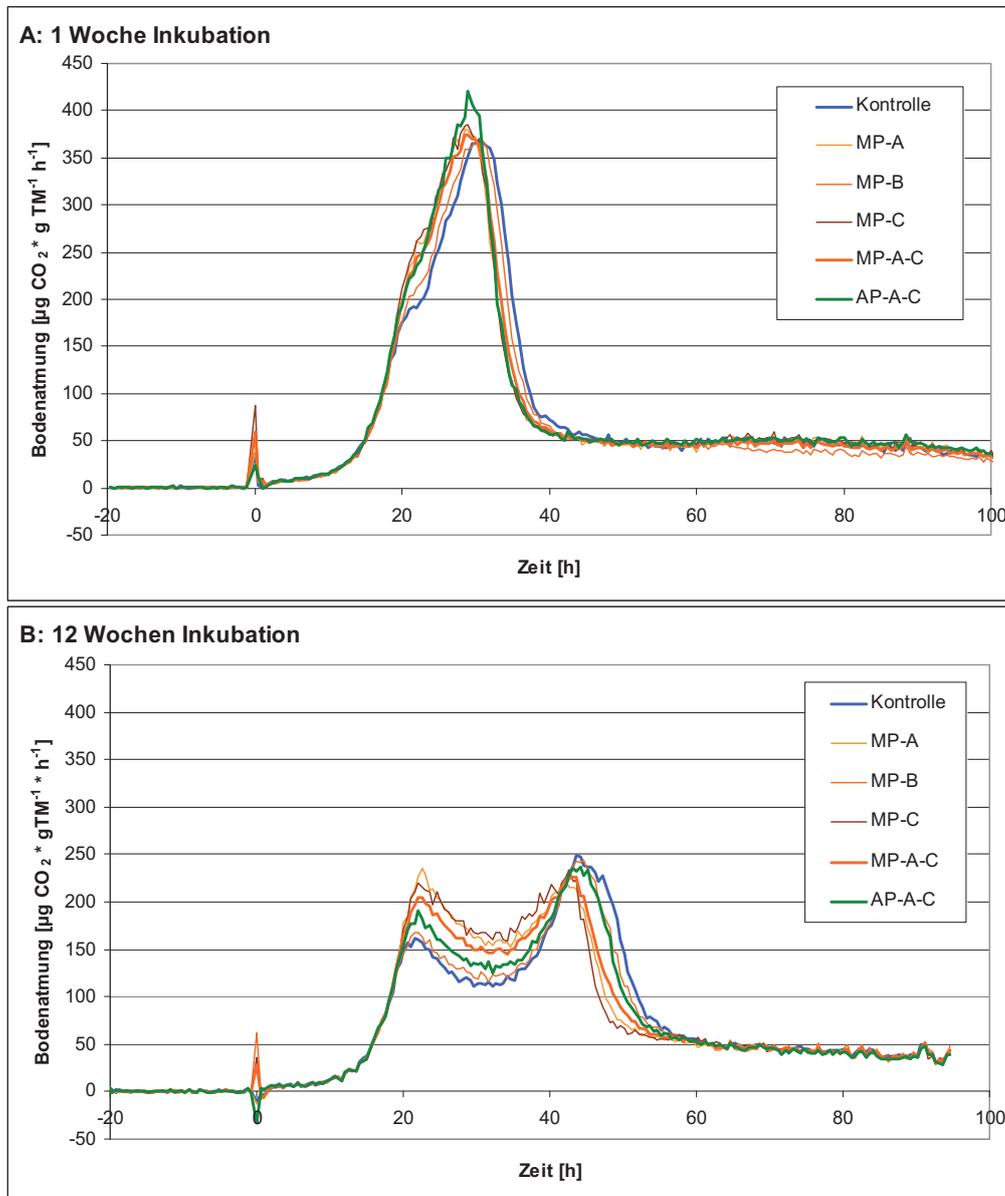


Abbildung 13: Bodenatmungskurven von LUFA 2.3 eine (A) und zwölf Wochen (B) nach Behandlung mit Eluat Zementleim + Wurzelhemmer

Abschlussbericht - Teil I: Validierung der Parameter und Kriterien für die ökotoxikologische Bewertung von Bauprodukten

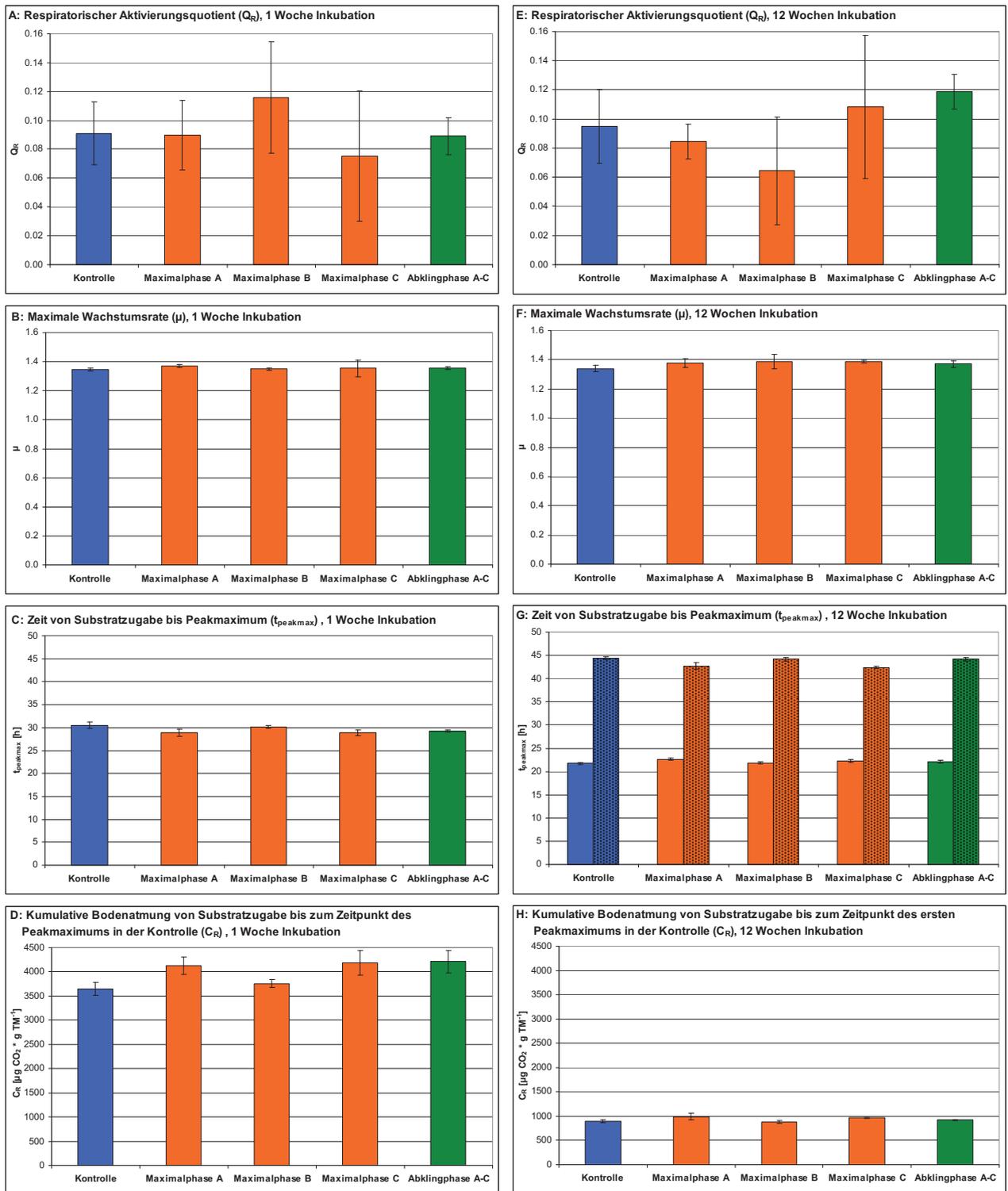


Abbildung 14: Aus den Bodenatmungskurven abgeleitete Parameter für LUFA 2.3 eine (A-D) und zwölf Wochen (E-H) nach Behandlung mit Eluat Zementleim + Wurzelhemmer

Tabelle 15: Wirkungen der Eluate (Zementleim mit Wurzelhemmer) auf die Bodenatmung von LUFA 2.3 nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation (Werte in Prozent zur Kontrolle \pm prozentuale Standardabweichung)

	Kontrolle	Maximalphase A	Maximalphase B	Maximalphase C	Abklingphase A-C
1 Woche Inkubation					
Q _R	100 (\pm 24)	99 (\pm 26)	127 (\pm 43)	83 (\pm 50)	98 (\pm 14)
μ	100 (\pm 1)	102 (\pm 1)	100 (\pm 1)	101 (\pm 4)	101 (\pm 1)
t _{peakmax}	100 (\pm 2)	95 (\pm 2)	99 (\pm 1)	95 (\pm 2)	96 (\pm 1)
C _R	100 (\pm 4)	113 (\pm 5)	103 (\pm 2)	115 (\pm 7)	116 (\pm 6)
12 Wochen Inkubation					
Q _R	100 (\pm 27)	89 (\pm 13)	68 (\pm 39)	114 (\pm 52)	125 (\pm 12)
μ	100 (\pm 2)	103 (\pm 2)	104 (\pm 4)	104 (\pm 1)	102 (\pm 2)
t _{peakmax1}	100 (\pm 1)	104 (\pm 1)	101 (\pm 1)	102 (\pm 1)	102 (\pm 1)
t _{peakmax2}	100 (\pm 1)	96 (\pm 2)	99 (\pm 1)	95 (\pm 1)	99 (\pm 1)
C _R	100 (\pm 3)	111 (\pm 7)	99 (\pm 3)	108 (\pm 1)	103 (\pm 1)

7.3.2 Eluat Polyacrylat I

Nitrifikation

Das Polyacrylat-Eluat der Maximalphase zeigte eine 9-15%ige Hemmung auf die potenzielle Nitrifikation nach der ersten Woche (Abb. 15 und Tab. 16). Diese blieb auch nach zwölfwöchiger Inkubation erhalten. Das Eluat der Abklingphase hingegen hatte keine Wirkung.

Tabelle 16: Potenzielle Nitrifikation von LUFA 2.3 eine und zwölf Wochen nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat I (Werte in Prozent zur Kontrolle \pm Standardabweichung)

	Kontrolle	Maximalphase A	Maximalphase B	Maximalphase C	Abklingphase A-C
1 Woche	100 (\pm 3)	91 (\pm 2)	86 (\pm 2)	95 (\pm 2)	103 (\pm 3)
12 Wochen	100 (\pm 2)	90 (\pm 1)	85 (\pm 1)	88 (\pm 2)	96 (\pm 1)

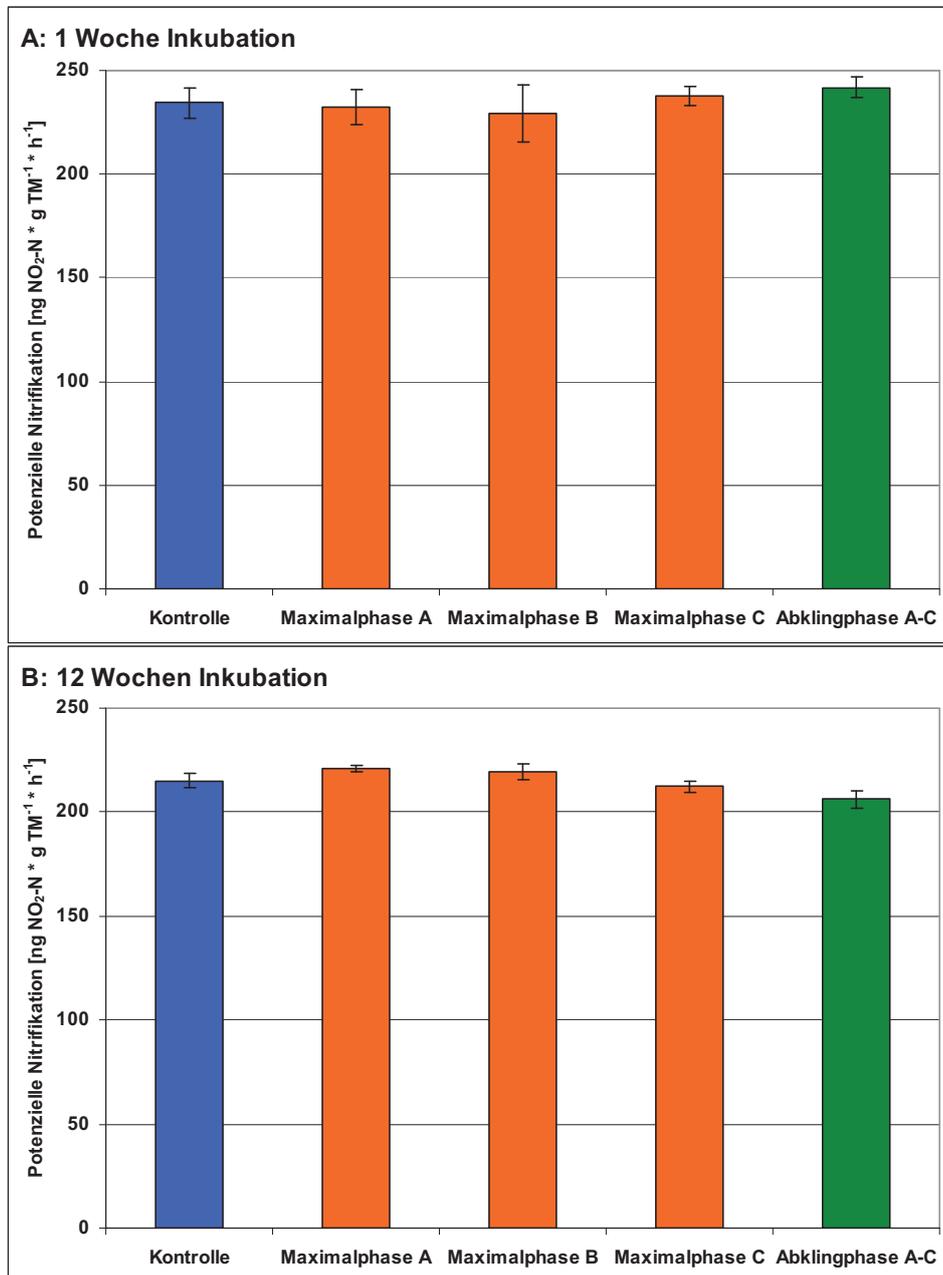


Abbildung 15: Potenzielle Nitrifikation von LUFA 2.3 eine (A) und zwölf Wochen (B) nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat I

Bodenatmung

Die Bodenatmungskurven nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation zeigten ähnliche Verläufe (Abb. 16) wie die Eluate des Zementleims. Auch im Test mit Polyacrylat I führte der Abbau des Glukose-Substrates nach der ersten Inkubationswoche jeweils zu normaler Peakform bzw. Peaks mit Peak Schulter (Kontrolle und Abklingphase), während nach zwölfwöchiger Inkubation die gleiche Substratzugabe einen Doppelppeak verursachte.

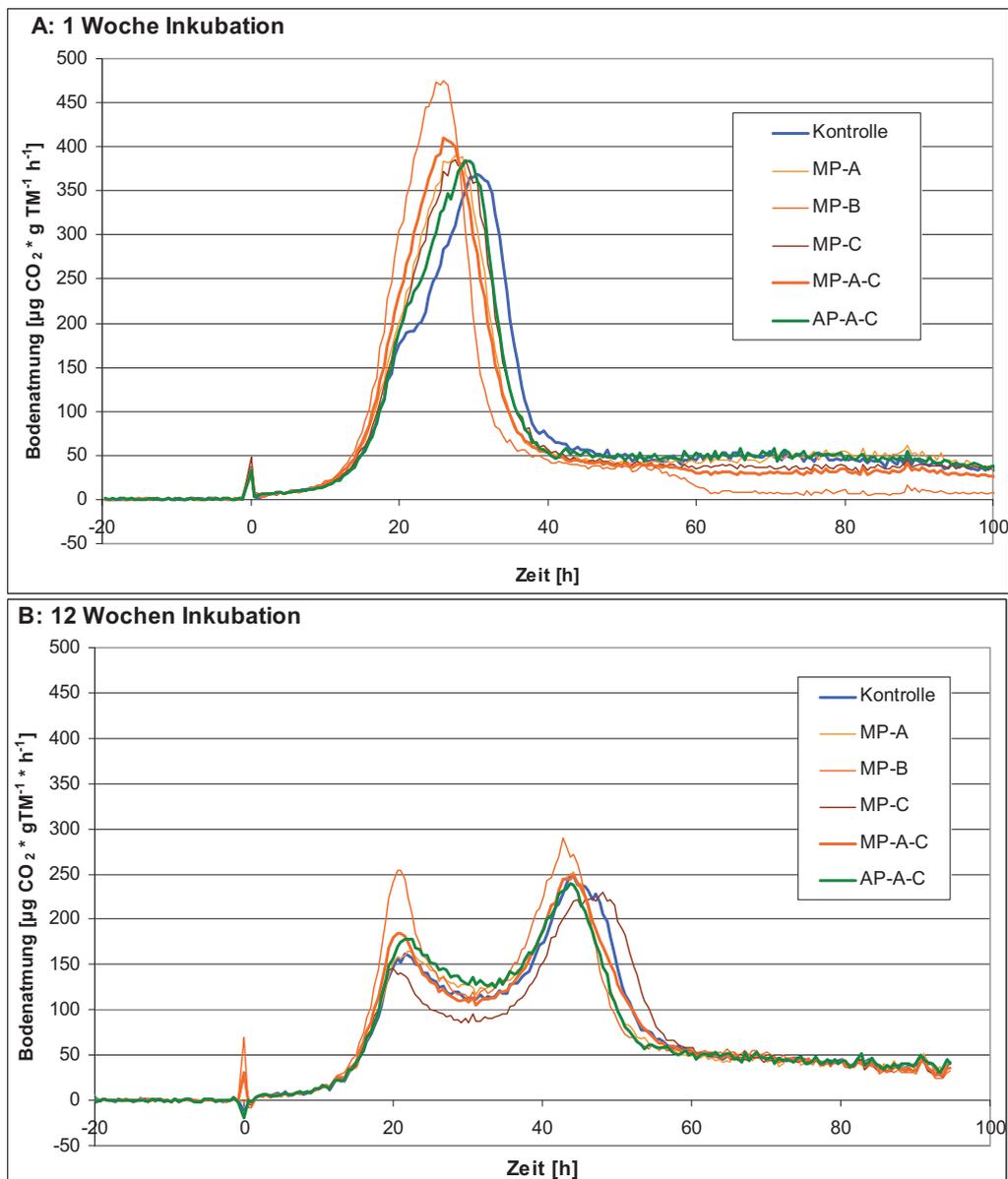


Abbildung 16: Bodenatmungskurven von LUFA 2.3 eine (A) und zwölf Wochen (B) nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat I

Dabei wiesen die einzelnen Varianten insbesondere nach einer Woche Unterschiede im Verlauf auf. Die größten Unterschiede zur Kontrolle waren bei den Atmungskurven der Maximalphase B zu verzeichnen. Im Gegensatz zur Nitrifikation sind diese Unterschiede in den Atmungskurven jedoch nicht als Hemmung zu interpretieren.

Die aus den Atmungskurven abgeleiteten Parameter (Abb. 17 und Tab. 17) zeigten überwiegend geringe Förderungen. In der Messung nach einer Woche Inkubation waren die Peakmaxima aller Behandlungen zeitiger erreicht als in der Kontrolle (Förderung von 4-16 %, 1,2-4,9 Stunden). Auch die maximale Wachstumsrate lag in der Regel etwas höher als in der Kontrolle. Die deutlichsten Wirkungen wies der Parameter C_R auf, da bei diesem Parameter die Verschiebung des Peaks und auch die Peakhöhe eingehen. Somit lag die Förderung bei 11-44 %. Auch nach zwölf Wochen war zumindest in der Variante Maximalphase B noch eine deutliche Förderung des Parameters C_R (47 %) vorhanden. In den Varianten Maximalphase A und C hingegen wurden nach 12 Wochen keine Wirkungen auf den Parameter C_R festgestellt. Entgegen den genannten Förderungen war der Quotient Basalatmung/Substratinduzierte Atmung (Q_R) bei den Eluaten der Maximalphase B und C deutlich erhöht, was als Hemmung zu interpretieren ist. Diese sind jedoch wegen der relativ großen Standardabweichungen nur begrenzt interpretierbar. Einzig die Variante Maximalphase C in der Messung nach 12 Wochen zeigte eine deutliche Hemmung bei geringer Standardabweichung. Alle Q_R -Werte lagen dennoch deutlich unter der „Toxizitätsschwelle“ 0,3.

Tabelle 17: Wirkungen der Eluate (Polyacrylat I) auf die Bodenatmung von LUFA 2.3 nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation (dargestellt: Werte in Prozent zur Kontrolle \pm prozentuale Standardabweichung)

	Kontrolle	Maximalphase A	Maximalphase B	Maximalphase C	Abklingphase A-C
1 Woche Inkubation					
Q_R	100 (\pm 24)	96 (\pm 19)	119 (\pm 50)	129 (\pm 36)	89 (\pm 34)
μ	100 (\pm 1)	98 (\pm 3)	103 (\pm 2)	101 (\pm 1)	102 (\pm 1)
$t_{peakmax}$	100 (\pm 2)	90 (\pm 1)	84 (\pm 1)	93 (\pm 2)	96 (\pm 1)
C_R	100 (\pm 4)	120 (\pm 2)	144 (\pm 5)	118 (\pm 6)	111 (\pm 6)
12 Wochen Inkubation					
Q_R	100 (\pm 27)	93 (\pm 69)	160 (\pm 73)	164 (\pm 7)	104 (\pm 39)
μ	100 (\pm 2)	100 (\pm 2)	107 (\pm 1)	101 (\pm 3)	102 (\pm 1)
$t_{peakmax1}$	100 (\pm 1)	102 (\pm 1)	96 (\pm 2)	94 (\pm 0)	100 (\pm 1)
$t_{peakmax2}$	100 (\pm 1)	98 (\pm 1)	100 (\pm 3)	105 (\pm 4)	98 (\pm 1)
C_R	100 (\pm 3)	101 (\pm 2)	147 (\pm 5)	101 (\pm 3)	106 (\pm 5)

Abschlussbericht - Teil I: Validierung der Parameter und Kriterien für die ökotoxikologische Bewertung von Bauprodukten

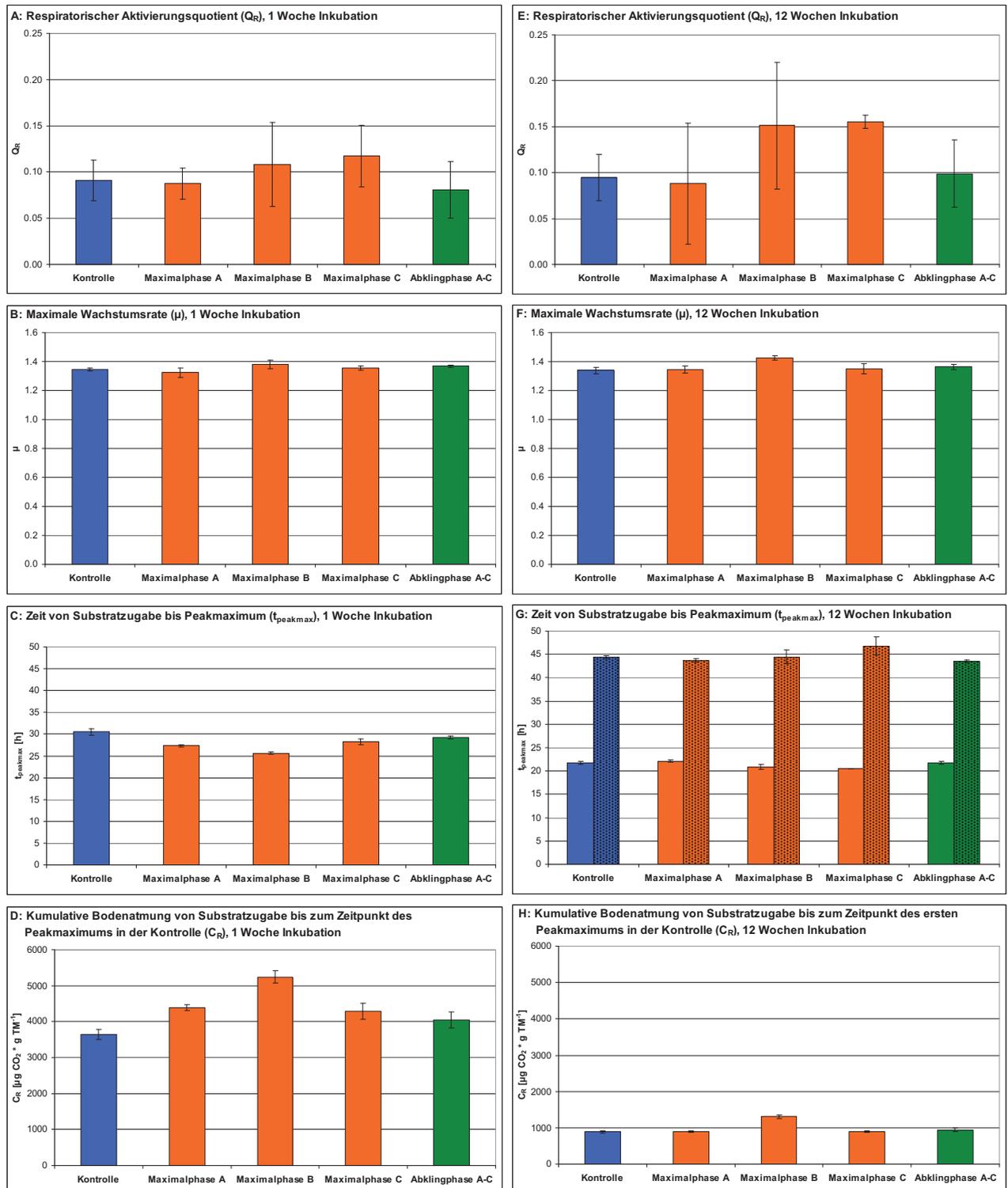


Abbildung 17: Aus den Bodenatmungskurven abgeleitete Parameter für LUFA 2.3 eine (A-D) und zwölf Wochen (E-H) nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat I

7.3.3 Eluat Polyacrylat III

Nitrifikation

Das Polyacrylat III-Eluat der Maximalphase (aller 3 Säulen) bewirkte eine deutliche Hemmung der potenziellen Nitrifikationsaktivität (Abb. 18 und Tab. 18). Beim ersten Inkubationstermin nach einer Woche lag die Hemmung in dem mit Eluat aus der Maximalphase behandelten Boden zwischen 16 und 28 %; nach zwölf Wochen war noch eine 10- bis 13 %ige Hemmung zu verzeichnen. Das Eluat der Abklingphase dagegen hatte einen tendenziell fördernden Effekt. Die Positivkontrolle mit 2000 mg Cu kg⁻¹ TM führte erwartungsgemäß zu einer nahezu vollständigen Hemmung der Nitrifikationsaktivität.

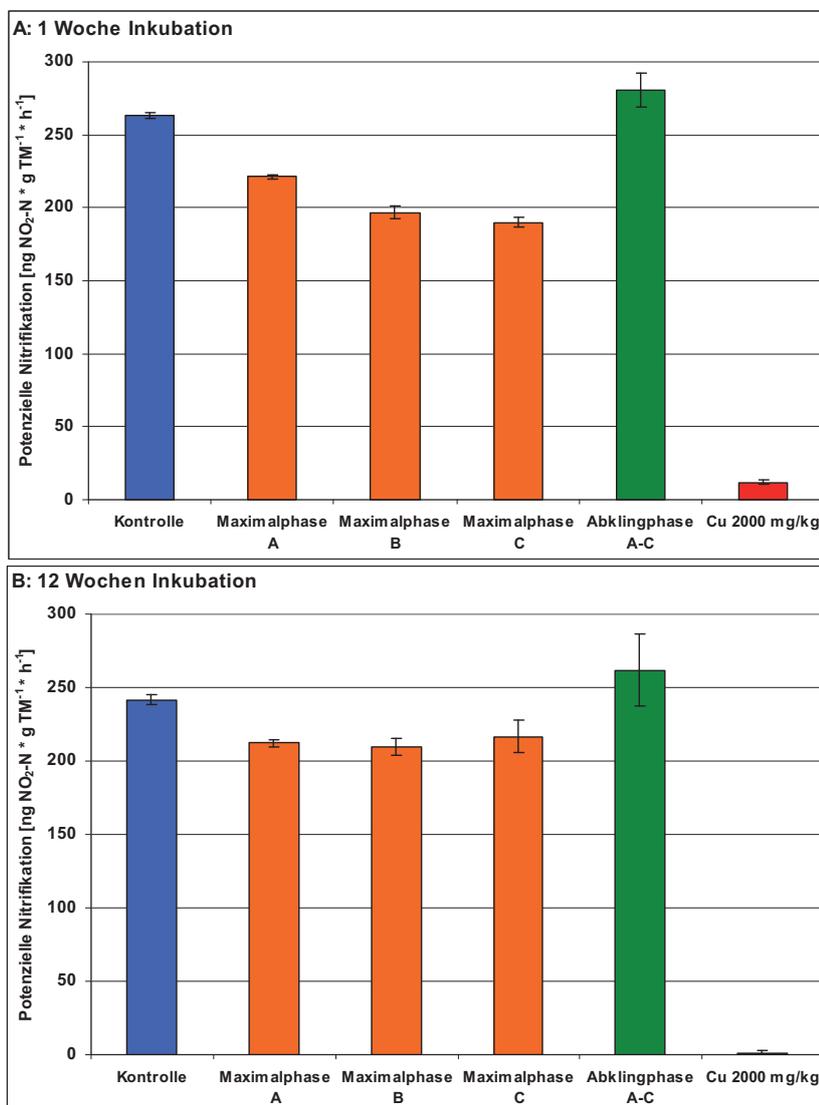


Abbildung 18: Potenzielle Nitrifikation von LUFA 2.3 eine (A) und zwölf Wochen (B) nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat III

Tabelle 18: Potenzielle Nitrifikation von LUFA 2.3 eine und zwölf Wochen nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat III (Werte in Prozent zur Kontrolle \pm Standardabweichung)

	Kontrolle	Maximalphase A	Maximalphase B	Maximalphase C	Abklingphase A-C	Cu 2000 mg/kg
1 Woche	100 (\pm 1)	84 (\pm 0)	75 (\pm 2)	72 (\pm 1)	107 (\pm 5)	5 (\pm 1)
12 Wochen	100 (\pm 2)	88 (\pm 1)	87 (\pm 2)	90 (\pm 4)	108 (\pm 10)	0,2 (\pm 1)

Bodenatmung

Wie in den vorangegangenen Tests mit dem Bauprodukteluat des Zementleims bzw. des Polyacrylats waren auch im Test mit dem Eluat aus der Wiederholungselution des Polyacrylats (PAC III) ähnliche Kurvenverläufe zu verzeichnen (Abb. 19).

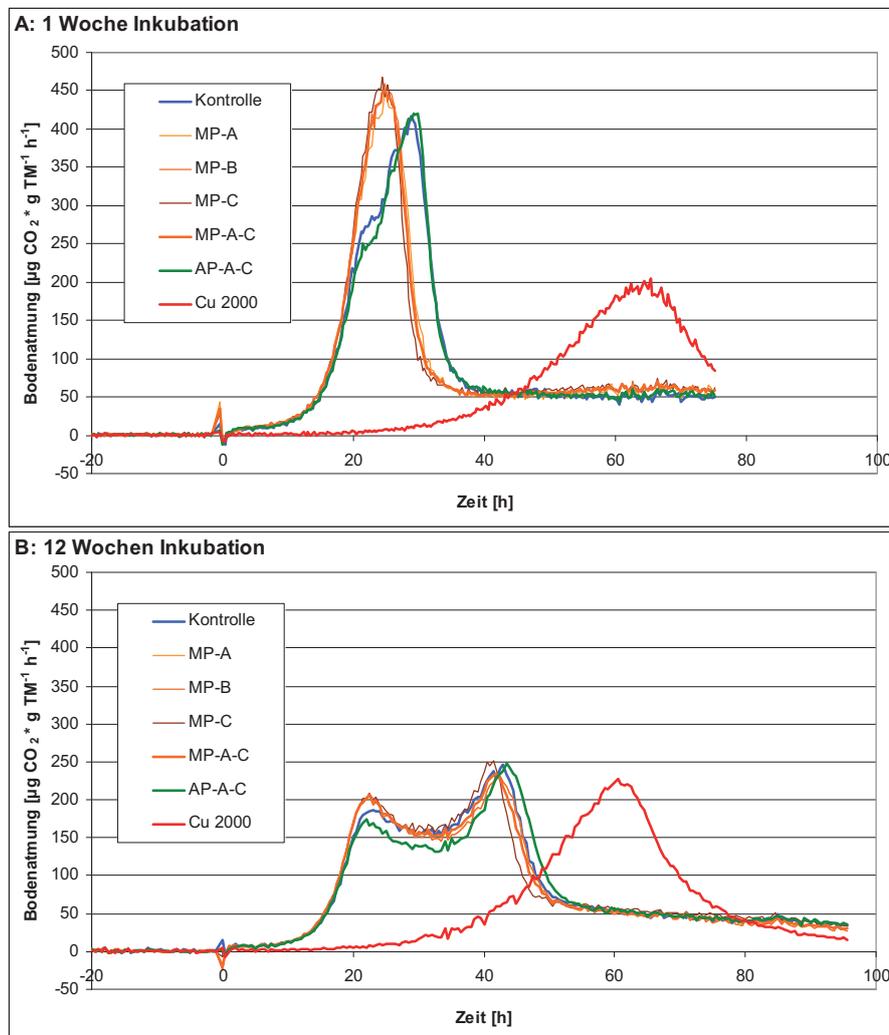


Abbildung 19: Bodenatmungskurven von LUFA 2.3 eine (A) und zwölf Wochen (B) nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat III

Zum ersten Inkubationstermin nach einer Woche war in der Kontrolle wie auch im mit Eluat der Abklingphase behandelten Boden eine Peakschulter im Wachstumsspek festzustellen. Die Varianten mit den Eluaten aus der Maximalphase zeigten diese Peakschulter nicht; hier wurde das Peakmaximum deutlich eher erreicht als in der Kontrolle. Die Positivkontrolle zeigte erwartungsgemäß ein extrem verzögertes Wachstum. Zum zweiten Inkubationstermin nach zwölf Wochen waren nur noch sehr geringe Unterschiede zwischen Kontrolle und den mit Eluat behandelten Varianten zu beobachten. Nur der Kurvenverlauf der Positivkontrolle unterschied sich noch deutlich.

Die aus den Bodenatmungskurven abgeleiteten Parameter sind Abbildung 20 und Tabelle 19 zu entnehmen. Die beiden Parameter t_{peakmax} und C_R zeigten die Förderung durch die Eluate der Maximalphase am deutlichsten – nach einwöchiger Inkubation 12-15 % (t_{peakmax}) bzw. 14-16 % (C_R), nach zwölfwöchiger Inkubation nur noch 8-10 % (C_R). Die Parameter Q_R und μ wiesen zu keinem der beiden Zeitpunkte signifikante Veränderungen auf.

Die Positivkontrolle zeigte in allen Parametern und zu beiden Inkubationsterminen erwartungsgemäß deutlich die Hemmwirkung des Kupfers an.

Tabelle 19: Wirkungen der Eluate (Polyacrylat III) auf die Bodenatmung von LUFA 2.3 nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation (dargestellt: Werte in Prozent zur Kontrolle \pm Standardabweichung)

	Kontrolle	Maximal- phase A	Maximal- phase B	Maximal- phase C	Abkling- phase A-C	Cu 2000 mg/kg
1 Woche Inkubation						
Q_R	100 (\pm 17)	112 (\pm 9)	94 (\pm 20)	107 (\pm 14)	89 (\pm 30)	1246 (\pm 282)
μ	100 (\pm 1)	100 (\pm 1)	100 (\pm 1)	100 (\pm 1)	100 (\pm 1)	80 (\pm 1)
t_{peakmax}	100 (\pm 2)	88 (\pm 1)	87 (\pm 1)	85 (\pm 1)	101 (\pm 1)	222 (\pm 3)
C_R	100 (\pm 5)	114 (\pm 1)	116 (\pm 3)	115 (\pm 1)	96 (\pm 2)	2,4 (\pm 0)
12 Wochen Inkubation						
Q_R	100 (\pm 18)	92 (\pm 11)	91 (\pm 12)	97 (\pm 23)	89 (\pm 19)	293 (\pm 66)
μ	100 (\pm 4)	99 (\pm 1)	99 (\pm 3)	98 (\pm 1)	100 (\pm 2)	81 (\pm 1)
$t_{\text{peakmax}1}$	100 (\pm 2)	97 (\pm 1)	96 (\pm 0)	97 (\pm 1)	97 (\pm 1)	264 (\pm 1)
$t_{\text{peakmax}2}$	100 (\pm 2)	99 (\pm 1)	100 (\pm 1)	96 (\pm 1)	103 (\pm 1)	--
C_R	100 (\pm 3)	109 (\pm 4)	108 (\pm 2)	110 (\pm 2)	95 (\pm 4)	6 (\pm 1)

Abschlussbericht - Teil I: Validierung der Parameter und Kriterien für die ökotoxikologische Bewertung von Bauprodukten

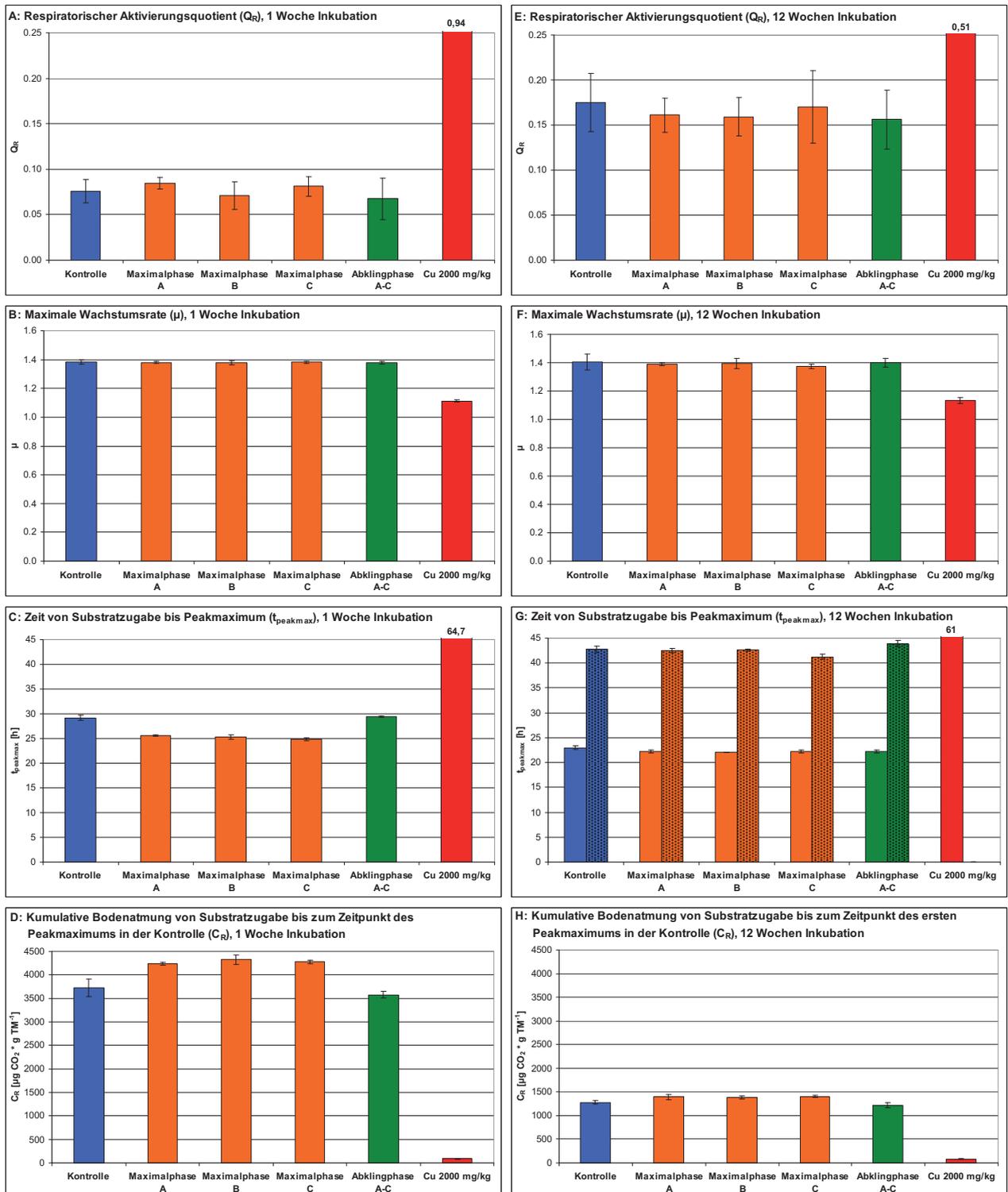


Abbildung 20: Aus den Bodenatmungskurven abgeleitete Parameter für LUFA 2.3 eine (A-D) und zwölf Wochen (E-H) nach Behandlung mit Eluat Polyacrylat III

7.4 Abbautests

Die Ergebnisse der DOC-Gehalte sowie des prozentualen Abbaus im OECD-Screening-Test sind aus Abbildung 21 ersichtlich (vgl. auch Anhang 7). Der Verlauf der Referenzsubstanz belegt die Gültigkeit des Tests. Nach Richtlinie muss die Referenzsubstanz zu mindestens 70 % innerhalb von 10 Tagen, nachdem ein Abbau von 10 % überschritten ist, erreicht sein. Im vorliegenden Test beträgt der Abbau bereits an Tag 3 > 70 %.

Das Bauprodukt ZL-MP-A ist nicht abbaubar. Die etwas niedrigeren DOC-Werte im Testverlauf im Vergleich zu Testbeginn laufen parallel mit der physikalisch-chemischen Kontrolle. In allen Testgefäßen, in denen dieses Produkt enthalten war, war auch eine Trübung zu beobachten, die auf ausgefallene Testsubstanz zurückzuführen ist. Der fehlende Abbau ist auch nicht auf eine toxische Substanzkonzentration zurückzuführen, was aus der Toxizitätskontrolle ersichtlich ist. So entspricht der DOC-Gehalt zu Testende in den Testansätzen, die sowohl dieses Produkt als auch die Referenzsubstanz erhalten haben, den Ansätzen mit der Testsubstanz sowie den Ansätzen der physikalisch-chemischen Kontrolle mit dieser Testsubstanz. Die in der Toxizitätskontrolle zusätzlich eingesetzte Referenzsubstanz wurde somit vollständig abgebaut. Eine Hemmung dieses Abbaus durch Anwesenheit des Produktes ZL-MP-A fand folglich nicht statt. Wäre die Testsubstanz abbaubar, hätte auch sie durch das Inokulum angegriffen werden können, da das Inokulum nicht gehemmt wurde.

Im Gegensatz zu Produkt ZL-MP-A sind die Produkte PAC I-MP-B und PAC III-MP-B abbaubar. Beide Produkte erreichen einen Abbaugrad > 70 %.

Die physikalisch-chemischen Kontrollen der Produkte PAC I-MP-B und PAC III-MP-B weisen gegen Versuchsende negative Abbauwerte auf. Ein Wert von -7 oder -9 % wie bei Produkt PAC I-MP-B kann durch Messchwankungen hervorgerufen werden. Hinzu kommt, dass kurz vor Tag 21 ein Defekt am DOC-Messgerät auftrat, dieses gewartet und neu angefahren werden musste, wodurch ebenfalls Schwankungen trotz neuer Kalibrierung auftreten können. Die hohen negativen Werte bei Produkt PAC III-MP-B sind verwunderlich. Allerdings treten bei diesem Produkt bereits ab Tag 1 negative Abbauwerte auf. Da die Verläufe des Abbaus bei den eigentlichen Testansätzen sowie bei den Toxizitätskontrollen, wie aus Abbildung 21 ersichtlich, einen schlüssigen Verlauf erkennen lassen, wird an den Aussagen zum Abbauverhalten, die oben getroffen wurden, nicht gezweifelt.

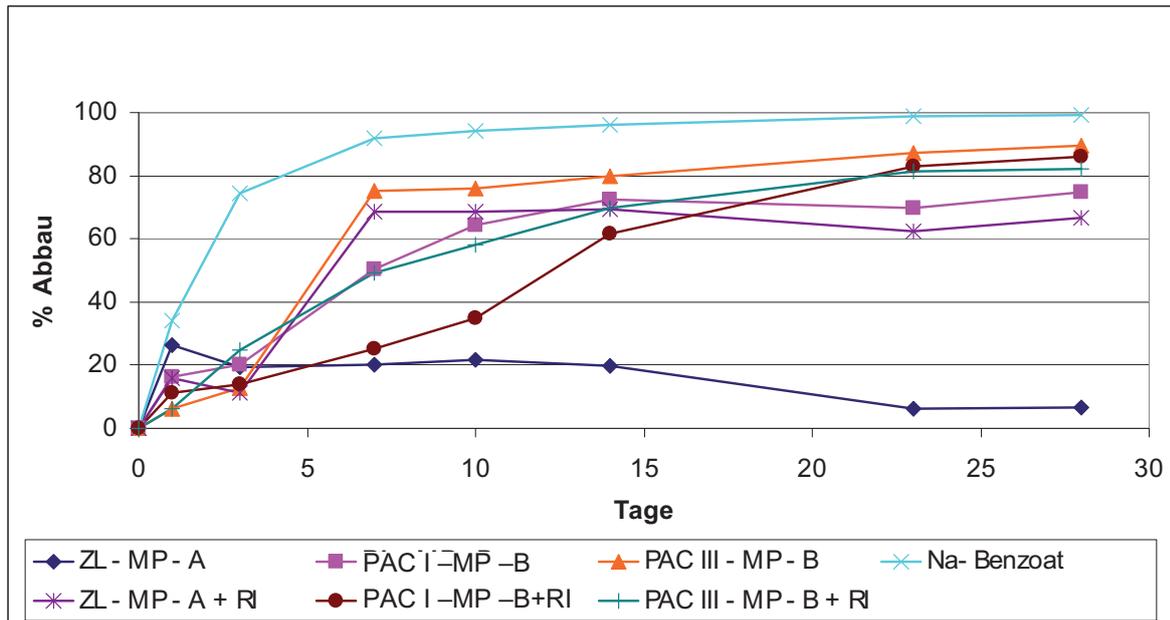


Abbildung 21: Prozentualer Abbau organischer Inhaltsstoffe (bezogen auf DOC) im OECD-Screening-Test

7.5 NMR-Untersuchungen

Die NMR Spektroskopie ermöglicht den Nachweis von Inhaltsstoffen und die Aufklärung der Molekülstruktur und wird besonders in der organischen Chemie eingesetzt.

Durch Herrn Dr. Volland von der FMPA in Stuttgart wurden NMR-Untersuchungen an ausgewählten Eluatprobe durchgeführt. Folgende Proben wurden untersucht:

- ZL – MP – B
- PAC I – MP – B
- PU – MP – B
- PAC III – MP – A
- PAC III – MP – B

In Tabelle 20 und 21 sind die Ergebnisse der NMR-Untersuchungen und die berechneten organischen Kohlenstoffgehalte aufgeführt³.

³ Anmerkung: Die vorliegenden Ergebnisse entsprechen den Erfahrungen von Dr. Volland, FMPA Stuttgart. Bei kleinen TOC-Gehalten wird ein Vergleich von berechnetem C aus NMR-Gehaltsbestimmungen noch ungenau. Sofern jedoch eine bestimmte Menge in der Probe vorliegt, stimmen die Ergebnisse in der Regel gut überein.

Tabelle 20: Ergebnisse NMR-Untersuchungen an ausgewählten Eluaten

Inhaltsstoffe mg/l	TEA	DEA	Formiat	Actetat	Ethy. Glykol	Acrylsäure
ZL – MP - B	6	2	< 0,8	0,01	0,01	0,5
PAC I – MP - B	12	< 0,1	6,5	6,3	90	240
PU – MP - B	< 0,1	< 0,1	2,3	< 0,1	0,2	< 0,1
PAC III – MP – A	7	< 1	< 1	< 1	95	430
PAC III – MP – B	15	< 1	< 1	< 1	130	580

Tabelle 21: Berechnete organische Kohlenstoffgehalte

Ergebnisse als mg C/l	TEA	DEA	Formiat	Actetat	Di-/Ethy. Glykol	Acrylsäure	Summe	DOC FU Berlin
ZL – MP - B	3	1	< 1	< 1	< 1	0,2	4,2	24
PAC I – MP - B	6	< 1	3	2,5	35	98	144,5	150
PU – MP - B	< 1	< 1	1	< 1	< 1	< 1	1	7
PAC III – MP – A	4	< 1	< 1	< 1	38	216	258	265
PAC III – MP – B	7	< 1	< 1	< 1	50	290	347	330

In den Zementleim- und Polyurethaneluaten wurden geringe Mengen an Triethanolamin bzw. an Formiat nachgewiesen. Als wesentlicher Bestandteil der Polyacrylateluate wurde Acrylsäure bestimmt. Daneben wurden Ethylenglykol und Diethylenglykol und im geringen Maße auch Triethanolamin detektiert. Hier besteht eine gute Übereinstimmung der daraus berechneten organischen Kohlenstoffgehalte mit den ermittelten DOC-Konzentrationen.

Die Konzentration an Acrylsäure im Eluat und die Wirkungen von 0,1% der PAC III – MP - Eluate im Algentest stimmen gut mit den Toxizitätswerten in Sicherheitsdatenblättern überein. Die Wirkung der Acrylsäure auf Wasserorganismen wird in der Literatur als sehr giftig eingestuft. Acrylsäure besitzt eine Algentoxizität auf *Desmodesmus subspicatus* von IC₅₀: 0,13 mg/l (72h). Die Bioabbaubarkeit wird als gut eingeschätzt (81%/28 d OECD 301 D) (Merck 2007).

Der pH-Wert der Eluate müsste jedoch bei der detektierten Konzentration an Acrylsäure im sauren Bereich liegen, was nicht der Fall war.

Da die Untersuchungen im wässrigen Medium erfolgten, kann mit der Methode nicht zwischen der freien Säure und deren Salz unterschieden werden. Ob und ggf. welches Acrylsäuresalz vorliegt und ob über die Dissoziation des Salzes eine freie Acrylsäure gebildet wird (bzw. gebildet werden kann), ist u.a. von der Art des Acrylsäuresalzes abhängig. Zur Klärung dieser

Frage wäre eine Probe des eingesetzten Acrylsäuresalzes notwendig gewesen, die jedoch nicht vorlag⁴.

Nach MC Bauchemie liegt in den gebildeten Eluaten wahrscheinlich das Salz der Acrylsäure vor. Dieses hat eine wesentlich geringere Toxizität von IC₅₀: 171 mg/l und würde die Wirkung der Eluate auf *Desmodesmus subspicatus* nicht erklären.

Die Konzentration an Ethylenglykol, Diethylenglykol und Triethanolamin erklären die ermittelten Wirkungen ebenfalls nicht.

7.6 Auswertung und Zusammenfassung der Ergebnisse

7.6.1 Eluatherstellung

Nach Aufbau der Anlage zur inversen Säulenelution und ersten Versuchen konnte problemlos die Elution durchgeführt werden. Die Erfahrungen der Eluatherstellung zeigen, dass die inverse Säulenelution bei identischen Rahmenbedingungen vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse liefert (vgl. Kap. 12).

Ein Problem stellte die Injektion der Bauprodukte in die Säule dar. Nach Gesprächen und Erfahrungsaustauschen mit Herrn Dr. Koch vom Hygieneinstitut und Frau Dr. Hornig von der MFPA Leipzig, konnte die Injektion mittels Windkesselanlage problemlos durchgeführt werden. Die Probleme bei der ersten Injektion des Polyacrylats und des anschließenden Einbaus führten zu stark abweichenden Injektionskörpern, die einen unterschiedlichen Austrag an DOC verursachten. Dies stellte jedoch für die weiteren Untersuchungen und Auswertungen eine bessere Datengrundlage dar, wie in den folgenden Kap. 7.6.3 ausgeführt wird.

Der Vergleich der Ergebnisse des von FU Berlin, TU Berlin und Fh-IME gemessenen Parameters DOC in den Mischfraktionen zeigt, dass die DOC Messungen der 3 Labore sehr gut überein stimmen und eine geringe Standardabweichung besitzen (Tab. 22).

Tabelle 22: Gemessene DOC Werte der Mischeluate mit Mittelwert (MW) und Standardabweichung (ST)

DOC [mg/l]	Eluat Zementleim					Eluat Polyacrylat I					Eluat Polyacrylat III				
	FU	TU	Fh-IME	MW	ST	FU	TU	Fh-IME	MW	ST	FU	TU	Fh-IME	MW	ST
MP-A	24,3	28,4	25,56	26,1	2,1	84	87,4	84,74	85,4	1,8	265	270	263,1	266,0	3,6
MP-B	23,9	28,2	22,24	24,8	3,1	150	180	188,2	172,7	20,1	330	356	344	343,3	13,0
MP-C	23,7	27,2	23,24	24,7	2,2	70	74	74,84	72,9	2,6	330	343	335,1	336,0	6,6
AP	5,9	5,2	0,00*	5,6	0,5	6,9	6,6	1,69*	6,8	0,2	8,7	9,7	0,02*	9,2	0,7

* Wert wurde als Ausreißer in der Berechnung nicht mit beachtet

⁴ Schriftliche Mitteilung von Herrn Dr. Volland, FMPA Stuttgart

7.6.2 Zementleim

Die Elution führte kurzzeitig zu einem Austrag an gelösten organischen Kohlenstoff (2te bis 4te Fraktion), der auf das eingesetzte Biozid zurückzuführen war. Nach Vereinigung der Eluatfraktionen der Maximalphase lag die DOC-Konzentration in den Eluaten bei 24 mg/l.

Das Eluat zeigte in den aquatischen Tests keine Ökotoxizität an. Bei den eingesetzten terrestrischen Tests ist ebenfalls keine bedenkliche Wirkung festzustellen. Die erhoffte ökotoxikologische Wirkung blieb somit aus. Anscheinend wurde das verwendete Biozid nur geringfügig wirksam oder wurde nicht in ausreichendem Maße aus dem Bauprodukt freigesetzt, um eine eindeutige Wirkung (Hemmung) auf die untersuchten Organismusgruppen zu erzielen.

7.6.3 Polyacrylat

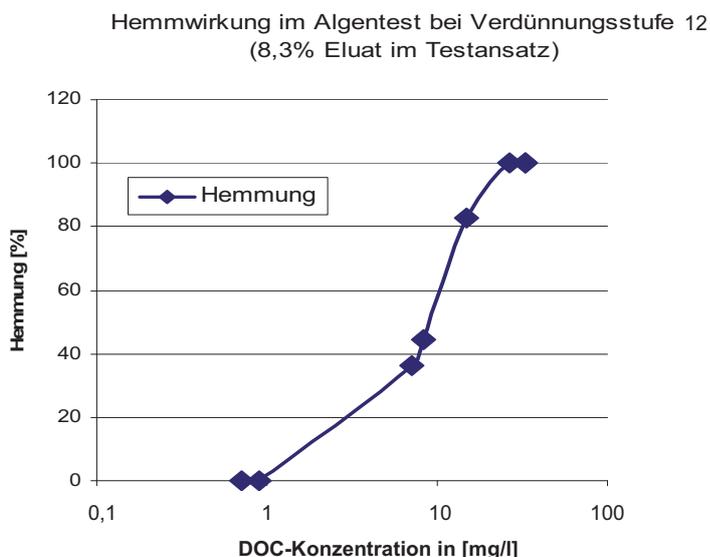
Das Bauprodukt Polyacrylat zeigt in den Elutionstests in den ersten Fraktionen einen deutlichen Austrag an organischen Verbindungen (bis zu 225 mg/l DOC in Fraktion PAC I –B-5 und bis zu 350 mg/l in Fraktion PAC III-C-6). Tabelle 23 gibt eine Übersicht über die in den ökotoxikologischen Tests eingesetzten Polyacrylateluate und deren DOC-Konzentration.

Tabelle 23: Eingesetzte Eluate und ihre DOC-Konzentration

	PAC I MP-A	PAC I MP -B	PAC I MP -C	PAC I AP	PAC III MP-A	PAC III MP -B	PAC III MP -C	PAC III AP
DOC in mg/l	84	150	70	7	265	330	330	9

In den **aquatischen Tests** zeigte der Leuchtbakterientest keine Toxizität an. Dagegen wirken die Eluate der Maximalphase des Polyacrylatproduktes deutlich toxisch auf den Testorganismus **Grünalge**. Im Gegensatz dazu war in den Abklingphasen der Polyacrylateluate keine

Toxizität zu erkennen.



Vergleicht man die DOC-Konzentrationen mit den erzielten Hemmungen sind eine positive Korrelation und eine Konzentrations-Wirkungs-Kurve bei Verdünnungsstufe 12 (8,3% Eluat im Testansatz) zu erkennen (Abb. 22).

Abbildung 22: Korrelation der Hemmung im Algentest mit den DOC Konzentrationen der getesteten Ansätze

In den **terrestrischen Tests** wurden in den Versuchsansätzen mit den Polyacrylat-Eluaten signifikante Wirkungen beobachtet. Im **Nitrifikationstest** traten Hemmeffekte bis zu 28 % in der ersten Woche auf. Dagegen wiesen die Bodenatmungskurven Förderungen bis zu 47 % auf. Ein Problem stellten die unterschiedlichen Kurvenverläufe nach einer und zwölf Wochen dar. In allen mit Eluaten behandelten Varianten traten nach zwölf Wochen Doppelpeaks auf, was auf Schimmelpilze zurückzuführen war (siehe Kap. 8.2).

Tabelle 24 gibt eine Übersicht über die DOC-Konzentration der eingesetzten Polyacrylateluate im Nitrifikationstest.

Tabelle 24: DOC-Konzentration der eingesetzten Eluate und Hemmwirkung im Nitrifikationstest in % nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation

	PAC I MP-A	PAC I MP -B	PAC I MP -C	PAC I AP	PAC III MP-A	PAC III MP -B	PAC III MP -C	PAC III AP
DOC in mg/l	84	150	70	7	265	330	330	9
1 Woche	9	14	5	0	16	25	28	0
12 Woche	10	15	12	4	12	13	10	0

Die Ergebnisse des Nitrifikationstests der ersten Woche weisen eine Abhängigkeit von den DOC-Konzentrationen der Polyacrylateluate auf. Mit steigenden DOC-Konzentrationen wird die Nitrifikation zunehmend gehemmt (Abb. 23).

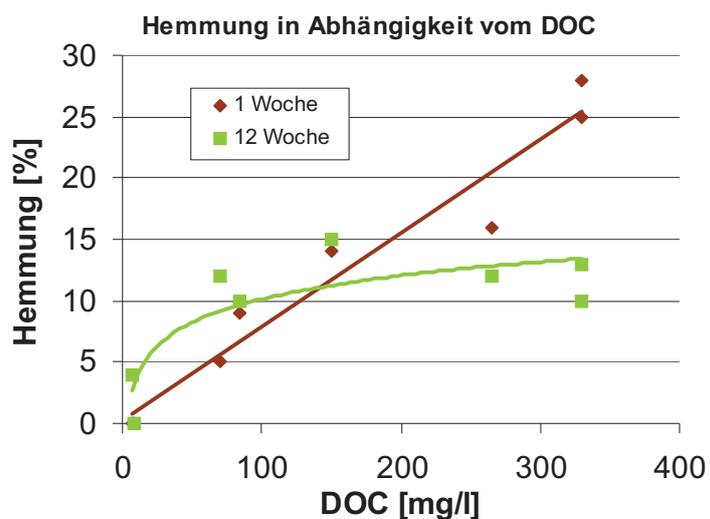


Abbildung 23: Hemmung im Nitrifikationstest in Abhängigkeit zur DOC-Konzentration der eingesetzten Eluate (mit Trendlinien).

In der zwölften Woche wird dieser Zusammenhang möglicherweise durch Alterungsprozesse wie Abbau und Sorption an die Bodenmatrix überlagert. Richardson (1985) fand bei 10 mg/l Acrylsäure keine Hemmung der Nitrifikation. Dies würde mit der ermittelten Konzentrations-Wirkungsbeziehung übereinstimmen.

Dabei ist interessant, dass dieser Effekt in Grunde nur bei den Polyacrylateluaten aus der Wiederholungsuntersuchung auftritt (Abb. 24). Hier wird die Verfügbarkeit der wirksamen Inhaltsstoffe so verringert, dass die Hemmwirkung von 28% auf 10% (PAC III MP –C) zurück geht. In der zwölften Woche zeigen alle Proben der Maximalphase (PAC I und PAC III) eine vergleichbare Hemmung von durchschnittlich 12 (±2) Prozent.

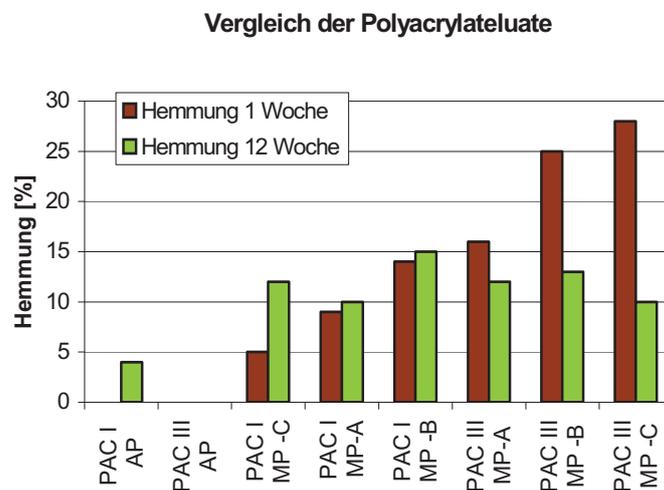


Abbildung 24: PAC-Eluate und Hemmung im Nitrifikationstest nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation

Die Ergebnisse der Nitrifikation belegen die Sensitivität des Tests zur Bewertung von Bauprodukten. So wie der Algentest zeigt die Nitrifikation, dass eine Korrelation zwischen DOC-Konzentration und der Hemmwirkung auf den "Testorganismus" besteht.

Bei der **Bodenatmung** sind generell Förderungen in den zur Bewertung ausgewählten Parameter zu verzeichnen. Diese sind mit Ausnahme von PAC I -MP –B (47% Förderung in der zwölften Woche) < 20% zur Kontrolle. Nach zwölfwöchiger Inkubation gehen die Förderungen meist zurück. Die Förderungen korrelieren mit der guten Abbaubarkeit des Eluates.

Die Positivkontrolle (Kupfer - CU) zeigt wie erwartet eine Hemmung von über 90% auf die kumulative Atmung der Mikroorganismen an (Abb. 25).

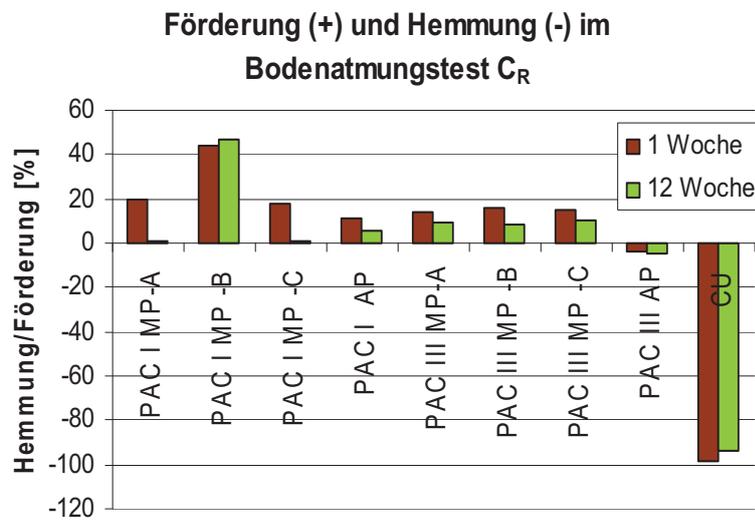


Abbildung 25: Parameter C_R der Polyacrylateluatate und der Positivkontrolle (CU) nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation

Ein Vergleich der DOC-Konzentrationen der Eluate mit den erhaltenen Förderungen aller Proben ergibt nach einer und zwölf Wochen Inkubation keine Korrelation (Abb. 26). Wird die hohe Förderung der Probe PAC I – MP – B nicht berücksichtigt, also als Ausreißer angesehen, ergibt dies nach zwölf Wochen Inkubation eine schwache positive Korrelation (Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,6192$).

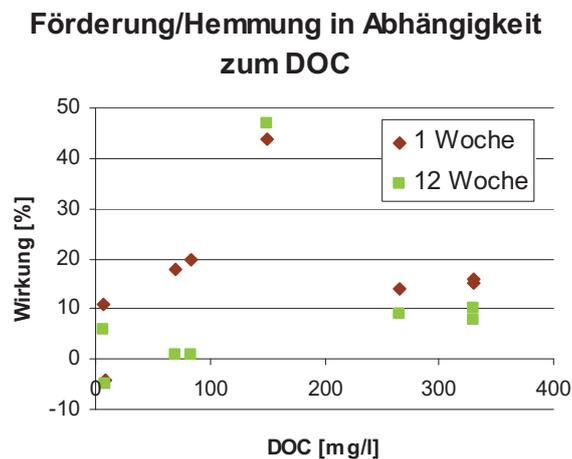


Abbildung 26: Vergleich des Parameters C_R und der DOC-Konzentrationen der Polyacrylateluatate nach ein- und zwölfwöchiger Inkubation, Förderung (+), Hemmung (-)

Die Ursache einer nur geringen Korrelation zwischen DOC-Konzentrationen und Förderung im Bodenatmungstest liegt darin begründet, dass die detektierte Wirkung nicht nur auf die Verwertung der organischen Inhaltsstoffe (C-Quelle), sondern auch auf überlagernde Effekte

wie einer erhöhten Stressatmung oder einer Veratmung von abgetöteten, empfindlicheren Mikroorganismengruppen zurückzuführen sind. Der Bodenatmungstest spiegelt im Gegensatz zum Nitrifikationstest die Aktivität aller Bodenmikroorganismen wieder, und ist daher größeren Stoffwechselschwankungen unterworfen und unempfindlicher im Vergleich zum Nitrifikationstest. Die Aussagekraft des Bodenatmungstestes ist dennoch als sehr gut zu bewerten.

7.6.4 Vergleich mit Vorgängervorhaben

Der Vergleich mit den Ergebnissen der Polyacrylateluat aus den Vorgängervorhaben *Teil 1 und 2* zeigt in den terrestrischen Tests analoge Ergebnisse. In den terrestrischen Tests zeigt das Eluat aus dem ersten Vorhaben mit einem DOC von 745 mg/l die höchsten Wirkungen (Terytze et al., 2005). Das Eluat aus dem zweiten Vorhaben mit einer vergleichbaren DOC-Konzentration wie PAC III-MP-A (272 mg/l) bewirkt entgegengesetzt zu allen anderen Eluaten eine Förderung der Nitrifikation in der ersten Woche, die in der zwölften Woche in eine 27% Hemmung umschlägt (Tab. 25) (Terytze et al., 2007).

Tabelle 25: Wirkungen in den ökotoxikologischen Tests aller Vorhaben und DOC Konzentration der eingesetzte Polyacrylateluat aus den Maximalphasen im vergleich zur Kontrolle

Test		PAC I MP-A	PAC I MP -B	PAC I MP -C	PAC III MP-A	PAC III MP -B	PAC III MP -C	Teil I PAC MP	Teil II PAC MP
	DOC in mg/l	84	150	70	265	330	330	745	272
Nitrifi- kation	1 Woche	-9	-14	-5	-16	-25	-28	-79	30*
	12 Woche	-10	-15	-12	-12	-13	-10	-50	-27
Boden- atmung C _R	1 Woche	20	44*	18	14	16	15	37	11
	12 Woche	1	47*	1	9	8	10	49	18
Leuchtbakterien G _L		1	1	1	2	6	3	16	3
Alge G _A		>16	>16	>16	> 1024	> 1024	> 1024	>>32	n.b.

*"Ausreißer"; grau unterlegt: Vorgängervorhaben, Förderung (+), Hemmung (-)

Betrachtet man die Wirkungen im Nitrifikationstest und die DOC-Konzentrationen der jeweiligen Polyacrylateluat, zeigt sich für die Ergebnisse nach einwöchiger Inkubation eine sehr gut Korrelation der ermittelten Hemmwirkungen. Mit steigender Konzentration an DOC nimmt die hemmende Wirkung der Eluate zu. Nach zwölfwöchiger Inkubationszeit ist diese Korrelation durch Alterungsprozesse schwächer ausgeprägt. Bei einer DOC-Konzentration von ca. 280 mg/l (1 Woche) und 400 mg/l (12 Woche) in den Polyacrylateluaten wird das in den vorhergehenden

Vorhaben aufgestellte Bewertungskriterium von 25% Abweichung zur Kontrolle überschritten (Abb. 27).

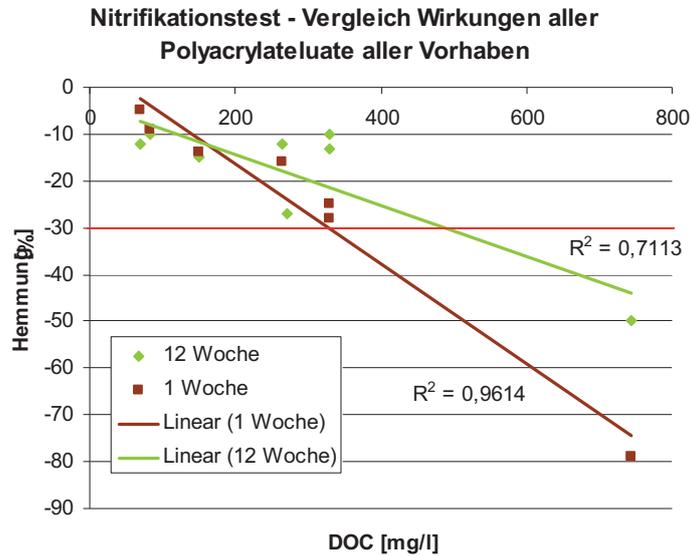


Abbildung 27: Positive Korrelation der Wirkung aller Polyacrylateluate (Teil I bis III), mit Trendlinie und Bestimmtheitsmaß, nach Ausreißereliminierung (Teil II PAC MP 1te Woche), rote Linie = Bewertungsgrenze von 25%

Dieser Zusammenhang ist nach zwölfwöchiger Inkubationszeit im Bodenatmungstest ebenfalls deutlich und nach einwöchiger Inkubation schwach ausgeprägt (Abb. 28).

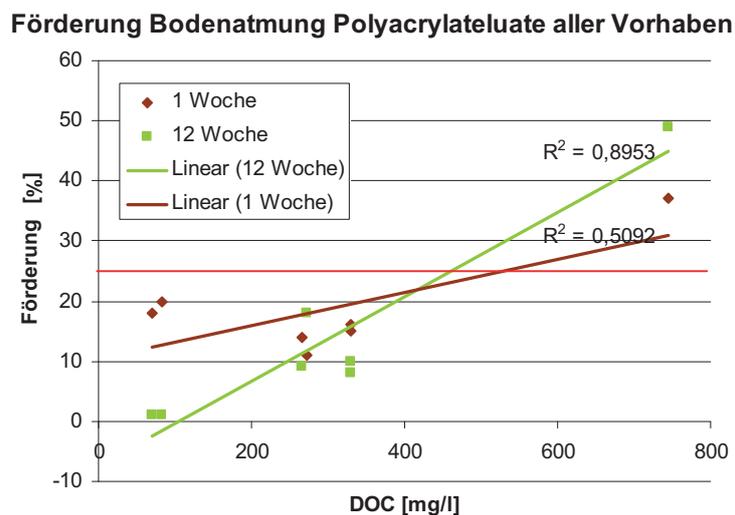


Abbildung 28: Ergebnisse Bodenatmung aller Polyacrylateluate (Teil I bis III), positive Korrelation der Wirkungen nach zwölfwöchiger Inkubation nach Ausreißereliminierung (PAC I-MP-B), rote Linie = Bewertungsgrenze von 25%

Ohne die Werte der Maximalphasen der PAC I Eluate weisen die korrelierten Ergebnisse der kumulativen Atmung nach einwöchiger Inkubation ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß von 0,98 auf.

Vergleicht man die Wirkungen im Leuchtbakterientest mit den DOC-Konzentrationen, ist ebenfalls eine positive Korrelation zu erkennen. Ab einer Konzentration von ca. 450 mg/l DOC in den Polyacrylateluate, wird der Schwellenwert von 8 im Leuchtbakterientest überschritten (Abb. 29).

Vergleich Verdünnungsstufen aller Polyacrylateluate aller Vorhaben im Leuchtbakterientest

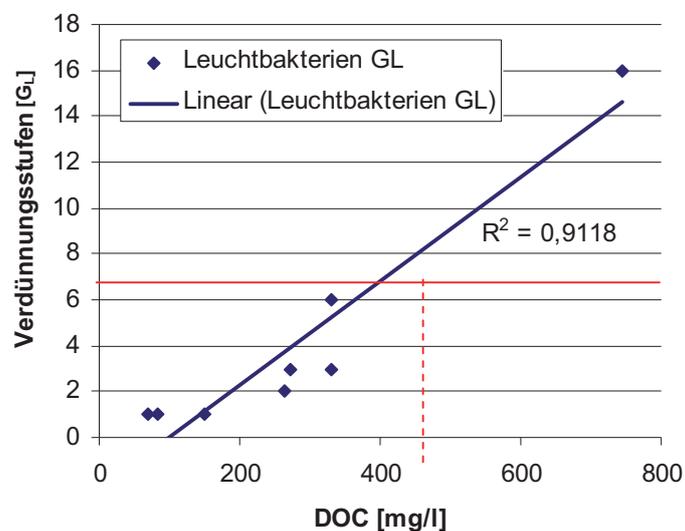


Abbildung 29: Ergebnisse Leuchtbakterientest aller Polyacrylateluate (Teil I bis III), positive Korrelation der G_L -Werte und der DOC-Konzentrationen der Eluate, rote Linie = Bewertungsgrenze: Verdünnungsstufe 8

Die abgeleiteten Korrelationen sind Ergebnis der in den Vorhaben erhaltenen Ergebnisse. Da keine Hinweise auf die Inhaltsstoffe vorlagen, sondern nur der Summenparameter DOC, sind die gezeigten Korrelationen nur ein Hinweis auf die durch die Inhaltsstoffe der Eluate verursachten Wirkungen. Die Korrelationen zeigen jedoch, dass die gewählten terrestrischen Tests sensitiv reagieren und eine Gefährdung des Schutzguts Boden und Grundwasser sehr gut anzeigen. Insgesamt wurden die Ergebnisse der Vorläuferprojekte durch die erneuten ökotoxikologischen Tests bestätigt.

Die getesteten Eluate der Bodeninjektionsmittel Polyacrylat aller Vorhaben zeigen ab einer DOC-Konzentration von ca. 280 mg/l Abweichungen zur Kontrolle (Bewertungskriterium 25%) die als kritisch einzustufen sind an.

8 Diskussion und Zusammenfassung

8.1 Ökotoxikologische Testergebnisse

Die eingesetzten Bauprodukteluat⁵ zeigen in den terrestrischen Ökotoxizitätstests nach zwölf Wochen keine Wirkungen die größer als 25% Abweichung zur Kontrolle sind und somit als tolerierbar angesprochen werden können.

Die erwartete ökotoxikologische Wirkung des Zementleimes, der mit einem Biozid versetzt wurde, blieb aus. Entsprechend der beobachteten/erzielten Ergebnisse war entweder die ökotoxische Wirkung des zur Verfügung gestellten Biozids nur gering oder es wurde nicht in ausreichendem Maße aus dem Bauprodukt freigesetzt um eine eindeutige Wirkung (Hemmung) zu erzielen.

Die Elution des Polyacrylates (PAC I und PAC III) ergab unterschiedliche DOC-Konzentrationen in den Eluaten der Säulenparallelen (vgl. Kap. 6.1.1). Diese Unterschiede spiegeln sich in den Wirkungen der terrestrischen Tests wieder. Im Nitrifikationstest zeigten die Ergebnisse nach 1 Woche Inkubation zunehmende Hemmungen mit steigenden DOC-Konzentrationen in den Eluaten. Im Bodenatmungstest traten in allen Testansätzen Förderungen auf, die auf gut verwertbare Inhaltsstoffe zurückgeführt werden können. Die Acrylat-Eluate beinhalten eine Summe von organischen Verbindungen (Stoffgemisch) die durch den DOC quantifiziert werden. Welche Verbindungen vorliegen, bleibt indes unbeantwortet. Die NMR-Untersuchung grenzte dies zwar ein, ließ jedoch keine eindeutige Aussage zu. Gelöste Acrylatmonomere und Methacrylate wirken TOC erhöhend und sind auf Grund der Molekülgrößen und -struktur gut abbaubar (Martens, 1998). Der Abbau von Mischkontaminationen erfolgt jedoch sequentiell. Dies wird durch die Ergebnisse der Abbautests bestätigt.

Die Ergebnisse des Nitrifikationstests spiegeln die Empfindlichkeit der chemoautotrophen Nitrifikanten (*Nitrosomas*, *Nitrobacter*) wieder. In sandigen Böden mit geringen C_{org}-Gehalten existieren geringe Populationsdichten dieser Spezialisten, die deutlich anfälliger auf Stoffeinträge reagieren. Der Bodenatmungstest, der die Wirkung auf die Gesamtheit der aeroben und fakultativ anaeroben, heterotrophen Bodenmikroorganismen darstellt, kann Störungen durch Stoffeinträge besser ausgleichen. Förderungen können neben der Verwertung organischer Inhaltsstoffe als C-Quelle, jedoch auch auf überlagernde Effekte wie eine erhöhte Stressatmung oder auf eine Veratmung von abgetöteten, empfindlicheren Mikroorganismengruppen zurückzuführen sein (Giese, 2007).

Beim Vergleich aller Ergebnisse zeigt sich, dass das Polyacrylat die höchste Menge an organischen Inhaltsstoffen freisetzt und damit die größten Wirkungen in den biologischen Tests erzielt. In den Algentests liegen alle Polyacrylat-Eluate der Maximalphase über dem zulässigen Grenzwert und zeigen, dass kurzzeitig ein Austrag von toxisch wirkenden Inhaltsstoffen stattfindet. Längerfristig findet keine Beeinträchtigung des umgebenden Milieus statt. Der Leuchtbakterientest zeigt keine toxischen Wirkungen.

⁵ Ohne Ausreißer PAC I MP - B

Die gefundenen Korrelationen zeigen, dass die gewählten terrestrischen Tests sensitiv reagieren und eine Gefährdung des Schutzguts Boden und Grundwasser sehr gut anzeigen. Insgesamt wurden die Ergebnisse der Vorläuferprojekte durch die erneuten ökotoxikologischen Tests bestätigt.

Die Ergebnisse der getesteten Polyacrylat-Eluate aller Vorhaben weisen ab einer DOC-Konzentration von ca. 280 mg/l Abweichungen zur Kontrolle (Bewertungskriterium 25%), die als kritisch einzustufen sind, auf.

8.2 Doppelpeaks

Durch eine zu geringe Aktivität, bedingt durch den Entnahmezeitpunkt im Winter, musste ein anderer Boden (LUFA 2.3) als der ursprünglich ausgewählten Testboden (Refesol 01 A) für die Untersuchungen verwendet werden. In allen mit diesem Boden gebildeten Testansätzen der Bodenatmung waren nach zwölfwöchiger Inkubation am Ende der Messphase deutliche Schimmelpilzbeläge auf der Bodenoberfläche sichtbar. Die Probenbehandlung vor dem eigentlichen Testbeginn (das Überstauen mit Eluat und nachträgliche Abtrocknen auf den angestrebten Wassergehalt von 50 % der WHK_{max}) wurde vermutlich von Pilzen besser verkraftet als von den Bakterien. Darüber hinaus konnten sich diese während der langen Inkubationszeit vermutlich besser entwickeln, da optimale Bedingungen für Pilze vorlagen. Somit wurde im anschließenden Bodenatmungstest eher die Wirkung der Eluate auf die Pilzpopulation als auf die gesamte Bodenmikroflora untersucht. Dies gilt erwartungsgemäß nicht für die mit Kupfer (als $CuCl_2 \cdot 2H_2O$) behandelte Positivkontrolle, da Kupfer das Pilzwachstum stark hemmt. In Untersuchungen zum Phänom der Doppelpeaks (mit TNT bzw. Cycloheximid) konnte mit Hilfe von PLFA-Profilen⁶ gezeigt werden, dass diese auf die selektiv bzw. kurzfristig toxische Wirkung der Additive zurückzuführen waren. Für die Ausbildung des zweiten Respirationsmaximums war v. a. das Wachstum von Pilzen (mit dem Marker 18:2 δ 9,12) verantwortlich (Bartling et al., 2009). Dennoch stellte die Bestimmung der Atmungskurven ein gutes Instrument zur differenzierten Beurteilung der Wirkungen der Bauprodukteluate dar. Die Ergebnisse zeigen, dass trotz der in allen Ansätzen auftretenden Doppelpeaks eine sehr gute Korrelation mit den Ergebnissen der vorhergehenden Polyacrylatuntersuchungen existiert. Ein Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse kann daher nicht nachgewiesen werden. Vermutlich können diese Effekte durch Verwendung des in dem Vorgängervorhaben vorgeschlagenen Testbodens Refesol 01 A vermieden werden. In den Vorgängervorhaben wurden mehrere Böden eingesetzt und kein Kontrollboden wies Doppelpeaks auf.

Die geringe Aktivität eines im Winter entnommenen Bodens ist jedoch grundlegend ein Problem für die Verwendung als Testboden in den ökotoxikologischen Testverfahren. Eine Vorratslagerung des Testbodens an den ausführenden Testlaboren wäre eine Möglichkeit witterungsbedingte Einflüsse zu vermeiden.

⁶ PLFA: Phospholipidfettsäure(n)

8.3 Validierung der Parameter und Kriterien für die ökotoxikologische Bewertung

Ziel dieses weiterführenden Forschungsvorhabens war es, die in den Vorgängervorhaben überprüften terrestrischen ökotoxikologischen Testverfahren

- Bestimmung der potenziellen Nitrifikation - Schnellverfahren mittels Ammoniumoxidation nach DIN ISO 15685 und
- Bestimmung der Aktivität der Bodenmikroflora mit Hilfe von Atmungskurven nach DIN ISO 17155

mit neuen Bodeninjektionsmitteln durchzuführen und die aufgestellten Bewertungsparameter und -kriterien an Hand der neuen Ergebnisse für die ökotoxikologische Bewertung von Bauprodukten zu validieren.

Die grundsätzlichen Anforderungen, wie ökologische Relevanz, Praktikabilität und Reproduzierbarkeit sowie die Ableitung von Bewertungskriterien für beide terrestrische Tests wurden ausführlich im Abschlussbericht des zweiten vom DIBt geförderten Vorhabens (Terytze et al., 2007) und bei Giese (2007) dargelegt und diskutiert.

Die in den Vorgängervorhaben aufgestellten Bewertungsparameter, die dem Minimierungsgebot des Vorsorgeprinzips Folge leisten, sind im Folgenden kurz dargestellt (Terytze et al., 2007):

1. potentiellen Nitrifikation - Parameter: NO_2 - N - Bildung

Bewertung: Abweichungen zur Kontrolle sind nicht tolerierbar, wenn die Hemmung der potenziellen Nitrifikation nach 100-tägiger Inkubationszeit mehr als 25 % beträgt. Förderungen der Nitrifikation um mehr als 25 % können im Einzelfall berücksichtigt werden. In Zweifelsfällen ist der Test bei Förderungen zu wiederholen.

2. Bodenatmung - Parameter: kumulativen CO_2 - Bildung (C_R), Zeit bis zum Peakmaximum (t_{Peakmax}) und Dauer der Lag-Phase (t_{Lag})

Bewertung: Abweichungen zur Kontrolle sind nicht tolerierbar, wenn die Hemmung der kumulativen CO_2 -Bildung nach 100-tägiger Inkubationszeit mehr als 25 % beträgt oder eine Verlängerung der Zeitdauer von der Substratzugabe bis zum Peakmaximum um mehr als 25 % und eine Verlängerung der Dauer der Lag-Phase um mehr als 25 % auftritt. Förderungen um mehr als 25 % oder die Verkürzung der Zeitdauer von der Substratzugabe bis zum Peakmaximum und der Lag-Phase (beide Parameter müssen zutreffen) um mehr als 25 % werden nur dann negativ bewertet, wenn die zugegebene Kohlenstoffmenge die Förderungen nicht erklärt, das heißt, die geförderte Atmung nicht eindeutig auf Nährstoffeffekte zurückzuführen ist. Bei unklaren, nicht einzuordnenden stimulierenden Effekten ist der Test zu wiederholen.

Die aufgestellten Bewertungsparameter werden durch die aktuellen Ergebnisse gestützt. Im Bodenatmungstest hat sich der Parameter „kumulative CO₂- Bildung (C_R)“ als zuverlässiger Bewertungsparameter herausgestellt, ebenso wie der Parameter NO₂ - N – Bildung der potentiellen Nitrifikation. Aus Sicht der Vereinfachung der komplexen Bewertung des Bodenatmungstestes bei baurechtlichen Entscheidungen und auf Grundlage der erhaltenen Ergebnisse wird als alleiniger zu bewertender Parameter die „kumulative CO₂- Bildung (C_R)“ vorgeschlagen, da Verschiebungen in den Parametern *Zeitdauer von der Substratzugabe bis zum Peakmaximum* und *Dauer der Lag-Phase* auch in die kumulative CO₂- Bildung eingehen.

Der hier angewendete stoffbezogene Ansatz, der auch bei Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel Anwendung findet, beurteilt die Wirkung der in Bauprodukteluaten enthaltenen organischen und anorganischen Stoffgemische im Rahmen der Vorsorge. Schädliche Bodenveränderungen, die die Lebensraumfunktion von Bodenorganismen einschränken, müssen reversibel sein, d.h. nach 100 Tagen müssen die Veränderungen zu einem Kontrollboden in einem noch zu tolerierenden Bereich liegen (Malkomes, 1985). Die Grenze von 25% Abweichung zur Kontrolle (Hemmung/Förderung) als Bewertungskriterium zur Abschätzung von nicht tolerierbaren Auswirkungen von Bauprodukteluaten auf das terrestrische Milieu wird, wie die Bewertung nach 100-tägiger Inkubation, bestätigt. Förderungen, die 25% übersteigen, sollten in Verbindung mit den Ergebnissen des biologischen Abbaus und der zugegebenen Art und Menge an Kohlenstoff betrachtet und nicht per se negativ bewertet werden.

Wünschenswert wäre es für die Validität des Bodenatmungstest (DIN ISO 17155) und Nitrifikationstest (DIN ISO 15685) eine „Referenztoxe“ einzusetzen, die die Qualität des Versuches belegt. Gegenwärtig existieren jedoch keine Vorgaben für Referenzsubstanzen und Validitätskriterien in der Norm für die mikrobiologischen Tests. Da für die Bewertung von Bauprodukteluaten ein bestimmter Testboden (Refesol Kategorie 01A) vorgeschlagen wird, wäre zu überlegen, ob speziell für diesen Testboden die Einführung einer Referenzsubstanz, die es zulässt, bei einer bestimmten Konzentration ein bestimmtes Maß an Schädigung festzulegen, sinnvoll ist.

Wenn die allgemeine Parameter und der TOC/DOC einen typischen Verlauf über die Elutionszeit besitzen, d.h. kurze Zeit nach Elutionsbeginn ansteigen und relativ schnell bis auf das Niveau des umströmenden Elutionswassers fallen, ist es i. d. R. ausreichend, die terrestrischen Tests mit den Eluaten aus der Maximalphase durchzuführen.

Die Diskussionen im Betreuerkreis haben gezeigt, dass die Verwendung von deionisiertem Wasser zur Inkubation des Kontrollbodens in den terrestrischen Tests problematisch ist. Aufgrund der unterschiedlichen pH-Werte und elektrischen Leitfähigkeiten des zur Elution

eingesetzten Trinkwassers und des deionisierten Wassers, soll zur Vermeidung von eventuellen Einflüssen auf die Ergebnisse, zur Inkubation des Kontrollbodens nur Trinkwasser, dass auch bei der Elution des Bauproduktes verwendet wurde, eingesetzt werden.

8.4 Bildung der Maximalphase

Die Vergleichsuntersuchung zur inversen Säulenelution hat gezeigt, dass die Art der Vereinigung der Eluatfraktionen zur zu untersuchenden Maximalphase einen Einfluss auf die Höhe der Stoffkonzentration in den Eluaten hat (vgl. Kap. 12.3). Werden für organische Stoffgemische bei der Vereinigung all jene erhaltenen Fraktionen berücksichtigt, die zusammen den 90%igen TOC/DOC repräsentieren, kommt es im Vergleich zu der Vereinigung der 3 höchsten TOC/DOC-Fraktionen zu einer Verdünnung der Konzentration an TOC/DOC, die Einfluss auf die weiteren Untersuchungen (z.B. auf die ökotoxikologischen Tests) hat. Der Unterschied zwischen beiden Verfahren ist umso größer, je länger mobilisierbare Stoffe ausgetragen werden und je geringer deren Konzentration ist. Ein schneller und hoher Austrag über wenige Fraktionen lässt die Verfahren annäherungsweise gleich erscheinen.

Welches Verfahren zur Bildung der Maximalphase zukünftig herangezogen wird, muss Gegenstand von Diskussionen in den Entscheidungsgremien werden.

Teil II - Laborvergleichstest zur Normierung der inversen Säulenelution

9 Vorbereitung Laborvergleichstest

Im Vorfeld wurden mit Frau Dr. Pawel vom DIBt und der Betreuergruppe die Inhalte und Ziele der Vergleichsuntersuchung (VU) erörtert. Ziel ist die Normierung der inversen Säulenelution, die durch die durchgeführte VU angeschoben werden soll. Die anfängliche Zahl der gewünschten Teilnehmer konnte nicht beibehalten werden, da eine geringe Bereitschaft bzw. Motivation bei den angefragten Laboren bestand. Begründet wurden die Absagen mit zu hohem Aufwand und hohen Kosten und geringen bis gar keinem Nutzen für die Labore.

Die VU konnte aus diesem Grund nur mit drei Laboren, die in Tabelle 26 aufgelistet sind, durchgeführt werden.

Tabelle 26: Teilnehmer an der Vergleichsuntersuchung

Labor/Institut	Verantwortlicher
MFPA Leipzig	Frau Dr. Hornig
Hygieneinstituts Gelsenkirchen	Herr Dr. Koch
Freie Universität Berlin, AG Org. Umweltgeochemie	Herr Prof. Dr. Terytze

Die Durchführung der VU mit 3 Laboren wurde mit dem DIBt im Vorfeld abgestimmt.

Mit den o.g. Laboren wurden auf zwei vorbereitenden Treffen folgende Punkte erörtert:

- Zeitlicher Ablauf
- Eingesetzte Bauprodukte
- Aufbau Elutionsversuch und Windkesselanlage
- Zu untersuchende Parameter
- Arbeitsanweisungen

Im Folgenden werden die mit den Teilnehmern erörterten Punkte vorgestellt.

Zeitlicher Ablauf

Nach Absprache mit den teilnehmenden Laboren wurden die Monate Juli – September 2009 für die VU ausgewählt. Dabei sollten bis Mitte September die Elutionen durchgeführt und bis spätestens Ende September die Ergebnisse übermittelt werden.

Durch aufgetretene terminliche Schwierigkeiten der teilnehmenden Labore, wurden die Ergebnisse erst Mitte Oktober übermittelt.

Der zeitliche Ablauf der VU stellte sich wie folgt dar:

Tag 1: Füllen der 3 Säulen mit Sand und 24h-Spülung

Tag 2: BP-Injektion/Einbau und Start, Beprobung in den ersten 6 Stunden 1/2stündlich

Tag 3 bis 4: 2 Beprobungen im Abstand von 8 Stunden und Ende am 4 Tag

Tag 5: Entleeren und Säubern, Beurteilung des BP-Körpers (Form, Größe, Gewicht, Volumen)

Bauprodukte

Die ausgewählten und von der MC Bauchemie bereitgestellten Bauprodukte für Eluatherstellung für die Ökotoxikologischen Tests im Teil I des Vorhabens wurden ebenfalls in der VU eingesetzt. Die Bauprodukte wurden vor Beginn an die teilnehmenden Labore versendet oder persönlich ausgeliefert. Als Bauprodukte kamen zum Einsatz:

- Injektionsstoff auf Zementleimbasis + Biozid
- Injektionsgel auf Acrylatbasis (Polyacrylat)

Die Bauprodukte wurden auf Grund der unterschiedlichen Einbauweise, der Einbau des Zementleims erfolgt per Hand und das Polyacrylat wurde mittels Windkesselanlage injiziert, und ihres unterschiedlichen Freisetzungsverhaltens ausgewählt. Der Zementleim wurde mit einem Biozid angemischt, um messbare TOC Konzentrationen zu erlangen.

Aufbau Elutionsversuch und Windkesselanlage

Der Aufbau des Elutionsversuches und der Windkesselanlage⁷ sind den Anhang 2 und 3 zu entnehmen.

Für die Durchführung der Säulenversuche wurde für alle Labore eine ausreichende Menge an Sand bereitgestellt. Bei dem angelieferten Sand handelt es sich um Sand einer Charge aus dem Quarzwerk Frechen mit der Bezeichnung F 36 (vgl. Anhang 1).

Parameter

Als Parameter wurden TOC, pH-Wert, Leitfähigkeit, Trübe (FNU) und Temperatur sowie Farbe, Geruch und Neigung zur Schaumbildung untersucht. Für den Zementleim wurden zusätzlich die Schwermetalle Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn sowie As bestimmt. Die Schwermetallanalysen erfolgte für alle Proben der VU Teilnehmer aus Kostengründen an der FU Berlin. Farbe, Geruch und Neigung zur Schaumbildung wurden vereinfacht ermittelt. Eine Beurteilung erfolgte nach den Abstufungen: keine, schwache, starke.

Arbeitsanweisungen

Zur Vorbereitung der Arbeitsanweisungen für die VU wurden mehrere Versuche zum Einbau bzw. zur Injektion der Bauprodukte in die Säulen durchgeführt. Ziel war es die internen

⁷ Die Windkesselanlage dient zur Injektion des Injektionsgels auf Acrylatbasis (Polyacrylat) und soll eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Laboren gewährleisten.

Arbeitsanweisungen der FU Berlin weiterzuentwickeln und allgemeinverständlich für die teilnehmenden Labore zu gestalten.

Die nötigen Sicherheitsdatenblätter, Arbeits-, Anmisch- und Einbauanweisungen wurden frühzeitig bereitgestellt. Im Folgenden sind alle bereitgestellten Arbeitsanweisungen (vgl. Anhang 8) aufgelistet:

- Elution von Bauprodukten mittels Säulenversuch
- Anmischung Polyacrylat
- Anmischung Zementleim
- Injektion Polyacrylat
- Einbau Zementleim
- Messparameter Neigung zur Schaumbildung
- Messparameter Farbe
- Messparameter Geruch
- Liste zu verwendender Verfahren

Weiterhin wurde ein Formular (*VU Eingabemaske Säulenelution Bauprodukte*) für die Auswertung der Ergebnisse und die Liste der zu verwendenden DIN-Normen versendet.

10 Durchführungen Laborvergleichstest

Grundlage der VU war die modifizierte Arbeitsanweisung „Elution von Bauprodukten – Perkulationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln“ auf Basis der Qualitätsmanagement-Arbeitsanweisung „Säulenversuch mit umgekehrter Fließrichtung“ (Stand 2003) des Hygieneinstituts Gelsenkirchen.

In den von der FU Berlin bereitgestellten Arbeitsanweisungen wurden des Weiteren die Anmischung und die Injektion/Einbau der Bauprodukte festgeschrieben.

Im Folgenden sind die wichtigsten Festlegungen für die VU im Überblick dargelegt.

Die **Injektion des Polyacrylats** fand mittels Windkesselanlage (WKA) in die **wassergesättigte Säule** statt. Nach **10 min Aushärtezeit** wurde die Elution mit einer Fließrate von 4 L/h gestartet. Für jedes Bauprodukt wurden 1,1 Liter Polyacrylat angemischt, da ca. 100 ml in der WKA verblieben. Das Anmischen der beiden vorgemischten Komponenten erfolgte durch verrühren direkt in der WKA.

Der **Einbau des Zementleims** erfolgte mit Hilfe eines Kunststoffrohrs (oder ähnlichem), zur Erreichung eines definierten Probekörpers. Das Produkt wurde **per Hand** in die Säule **eingebaut**. Die **Aushärtezeit betrug 90 min**. Die Anmischung von 1 Kilogramm Bauprodukt erfolgte durch ein Rührgerät.

Alle Einzelheiten bezüglich der Anmischung und des Einbaus/der Injektion können den jeweiligen Arbeitsanweisungen im Anhang 8 entnommen werden.

Die Versuchsbedingungen der jeweiligen Labore sind der Tabelle 27 zu entnehmen.

Tabelle 27: Zusammenfassung der übertragenen Versuchsbedingungen VU

Teilnehmer	Referenzmaterial (VUM)	Zementleim mit Biozid	Polyacrylat
Labor (Code) 8	Datum Beginn der Prüfung	18.08.2009	11.08.2009
	Datum Ende der Prüfung	20.08.2009	13.08.2009
	Volumen/Masse des injizierten/eingebauten Materials	991 bzw. 990 g	993 bis 1007 g
	Anzahl Parallelen	3	3
	Anzahl Proben je Parallele (incl. BW)	18	18
	Dauer der Elution [h]	52h 45min	max. 54h
	Raumtemperatur [°C]	18,5	18,5
	Aufbereitung der Eluatproben	nein	nein
	Lagerung/Konservierung der Proben vor Analyse	Lagerung bei 4°C im Dunklen	Lagerung bei 4°C im Dunklen
Labor (Code) 12	Datum Beginn der Prüfung	01.09.2009	21.09.2009
	Datum Ende der Prüfung	03.09.2009	23.09.2009
	Volumen/Masse des injizierten/eingebauten Materials	1,0 kg	1,1 kg
	Anzahl Parallelen	3 Säulen	3 Säulen
	Anzahl Proben je Parallele (incl. BW)	18	18
	Dauer der Elution [h]	54 h 25 min (ab Injektion)	55 h 30 min
	Raumtemperatur [°C]	22,0	22,50
	Aufbereitung der Eluatproben	gemäß Norm	gemäß Norm
	Lagerung/Konservierung der Proben vor Analyse	Lagerung bei 4°C im Dunkeln!	Lagerung bei 4°C im Dunkeln!
Labor (Code) 10	Datum Beginn der Prüfung	16.09. + 23.09. + 30.09.2009	18.08. + 25.08. + 08.09.2009
	Datum Ende der Prüfung	18.09. + 25.09. + 02.10.2009	20.08. + 27.08. + 10.09.2009
	Volumen/Masse des injizierten/eingebauten Materials	jeweils 1.000 g	958 bis 1.044 g
	Anzahl Parallelen	1 pro Durchgang (insg. 3)	1 pro Durchgang (insg. 3)
	Anzahl Proben je Parallele (incl. BW)	18	18
	Dauer der Elution [h]	jeweils 54:00 h	55:30 h (A) 54:45 h (B) 55:10 h (C)
	Raumtemperatur [°C]	Säule A: 18,2 - 20,4 Säule B: 19,3 - 20,8 Säule C: 18,2 - 22,4	Säule A: 24,0 - 25,6 Säule B: 23,4 - 24,8 Säule C: 20,7 - 22,0
	Aufbereitung der Eluatproben	-	-
	Lagerung/Konservierung der Proben vor Analyse	Lagerung im Kühlschrank bei 4±2 °C	Lagerung im Kühlschrank bei 4±2 °C

In Tabelle 28 und 29 sind die Eckpunkte der Versuchsdurchführung jedes Labors aufgeführt.

Tabelle 28: Zusammenfassung der übertragenen Eckdaten zur VU Zementleim

Labor (Code)	12			10			8		
Säule	D	E	F	A	B	C	A	B	C
Dauer Spülung Sandsäule	48 h	48 h	48 h	24	24	24	23h 32min	23h 32min	23h 32min
Abnahme Blindwert	24h vor Start	24h vor Start	24h vor Start	16.09.2009 / 07:00 Uhr	23.09.2009 / 07:00 Uhr	30.09.2009 / 07:00 Uhr	09:48 Uhr	09:48 Uhr	09:48 Uhr
Abgepumptes Wasser (L)	2,5	2,5	2,5	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Start Aushärtezeit	07:10	07:10	07:10	08:00	08:00	08:00	11:15	11:15	11:15
Zeitpunkt Einbau Bauprodukt in die Säule	07:20	07:20	07:20	08:10	08:10	08:10	11:31	11:31	11:31
Volumen/Masse eingebautes Bauprodukt	1000 g	1000 g	1000 g	1.000 g	1.000 g	1.000 g	991 g	991 g	990 g
Menge übriggebliebener Sand nach Auffüllung	2136 g	2074 g	2190 g	972 g	969 g	935 g	1486 g	1486 g	1486 g
Start Aufsättigung und Elution	08:05	08:05	08:05	09:30	09:30	09:30	12:45	12:45	12:45
Datum - Ende der Prüfung	03.09.2009	03.09.2009	03.09.2009	18.09.2009	25.09.2009	02.10.2009	20.08.2009	20.08.2009	20.08.2009
Gesamtdauer der Elution	54 h 25 min	54 h 25 min	54 h 25 min	54 h	54 h	54 h	52 h 45 min	52 h 45 min	52 h 45 min

Tabelle 29: Zusammenfassung der übertragenen Eckdaten zur VU Polyacrylat

Labor (Code)	12			10			8		
Säule	D	E	F	A	B	C	A	B	C
Dauer Spülung Sandsäule	24h	24h	24h	22	24	24	23 h 35 min	23 h 35 min	23 h 35 min
Abnahme Blindwert	7:00	7:00	7:00	18.08. 07:00	25.08. 07:00	08.09. 07:00	10:30	10:30	10:30
Abgepumptes Wasser (L)	1	1	1	0	0	0	1	1	1
Start Aushärtezeit	7 h 55 min	8 h 10 min	8 h 30 min	07 h 49 min	08 h 04 min	07 h 54 min	11 h 31 min	11 h 52 min	12 h 16 min
Zeitpunkt Injektion Bauprodukt in die Säule	7 h 56 min	8 h 11 min	8 h 31 min	07 h 50 min	08 h 05 min	07 h 55 min	11 h 32 min	11 h 53 min	12 h 17 min
Volumen/Masse eingebautes Bauprodukt	1,1 kg	1,1 kg	1,1 kg	957,9 g	995,5 g	1043,5 g	1007 g	993 g	999 g
Menge nichtinjiziertes Bauprodukt	40 g	45 g	39 g	142,1 g	104,5 g	56,5 g	88 g	101 g	95 g
Start Aufsättigung und Elution	8:05	8:20	8:40	08:00	08:15	08:05	11:41	12:02	12:26
Datum - Ende der Prüfung	23.09.	23.09.	23.09.	20.08.	27.08.	10.09.	13.08.	13.08.	13.08.
Gesamtdauer der Elution	55 h 30 min	55 h 30 min	55 h 30 min	55 h 30 min	54 h 45 min	55 h 10 min	53 h 59 min	53 h 38 min	53 h 14 min

Nach Ablauf der festgelegten Prüfzeit wurde die Durchströmung der Säule beendet und in der Regel zeitnah der entstandene Injektionskörper ausgebaut. Vor dem Vermessen bzw. einer direkten Volumenbestimmung und der Bestimmung des Gewichtes wurde der Injektionskörper vorsichtig mit Wasser abgespült. Die Injektionskörper wurden fotografiert.

Für die Bestimmung der Parameter waren folgende Messverfahren in Tabelle 30 vorgegeben.

Tabelle 30: Verfahren zur Bestimmung der allgemeinen Parameter und des TOC

Parameter	Verfahren
pH-Wert	DIN 38404-5
elektrische Leitfähigkeit	DIN EN 27888
Geruch *	DIN EN 1622 (Anhang C – Qualitatives, vereinfachtes Verfahren)
Färbung *	DIN EN ISO 7887 (Hauptabschnitt II)
Trübung	DIN EN ISO 7027
Neigung zur Schaumbildung *	Arbeitsanweisung FU Berlin
TOC	DIN EN 1484

* Verfahren ist als Arbeitsanweisung beigelegt (Anhang 8)

Alle Eluate des Zementleimes incl. Blindwerte wurden zur Schwermetallbestimmung an die FU Berlin gesendet.

Als qualitätssichernde Maßnahme zur Unterstützung der Bewertung der Ergebnisse der VU wurde eine Referenzlösungen mit den relevanten Inhaltsstoffen zeitgleich mit den Bauprodukten versendet. Die Auslieferung der Referenzlösungen erfolgte zeitnah nach der Herstellung. Bis zur Auslieferung wurden die Referenzlösungen bei 4°C und unter Lichtausschluss aufbewahrt.

11 Datenauswertung

Für die zwei Bauprodukte und die Untersuchungen wurden Eingabemasken ausgegeben, die per e-Mail an die FU Berlin zurück zu senden waren. In den Eingabemasken waren sowohl die Untersuchungsergebnisse als auch die für die Versuchsdurchführung relevanten Randbedingungen anzugeben. Jede Datenmaske enthielt ein vorbereitetes Arbeitsblatt, in dem die Analysenergebnisse automatisch zusammengefasst wurden.

Die Auswertung der VU erfolgte auf Grundlage der klassischen Statistik nach DIN 38402-42 - Ringversuch zur Verfahrensvalidierung. Die Ergebnisse wurden dabei zu Zwecken der Anonymisierung codiert. Für die rechnergestützte Auswertung wurde die Statistiksoftware SPSS (Version 17.0) und Excel (Version 2000) verwendet.

Als Sollwerte wurde für jeden Parameter der Gesamtmittelwert aller Labore herangezogen. Die berechneten Gesamtmittelwerte wurden entsprechend den Normvorgaben unter Berücksichtigung der abgegebenen Einzelwerte der teilnehmenden Labore ermittelt.

Für die Parameter der Referenzlösung wurden vereinfacht die Standardabweichungen und deren Variationskoeffizienten bestimmt.

Durch die geringe Teilnehmerzahl wurde auf eine Ausreißereliminierung auf Basis eines zu stark abweichenden Labormittelwertes (Typ 2) und einer zu hohen laborinternen Standardabweichung (Typ 3), wie sie die DIN 38402-42 vorgibt, verzichtet. Es wurde jedoch auf einzelne laborinterne Ausreißer geprüft (Typ 1).

Der Ausschluss von Teilnehmern wegen Verfahrensfehler wurde auf Grund der geringen Teilnehmer nicht berücksichtigt. Jedoch wurde dies bei Auftreten von Verfahrensfehlern gekennzeichnet.

Die Auswertung der VU-Ergebnisse war in drei Phasen aufgeteilt. In Phase 1 wurde geprüft, ob ein direkter Vergleich der jeweiligen Einzelfraktionen möglich ist oder ob eine Anpassung der Fraktionen bei unterschiedlich einsetzendem Parameteranstieg erfolgen muss. Dafür wurden, um eine bessere Vergleichbarkeit zu erlangen, alle Daten der Parameter Leitfähigkeit und TOC blindwertbereinigt, um bei diesen Parametern einer Verfälschung durch den Einfluss des Trinkwassers zu entgehen. Des Weiteren wurde auf Basis des TOC die 3 Fraktionen mit dem höchsten Anteil an TOC und die Fraktionen, die den 90%-Anteil an TOC beinhalten⁸, ausgewählt. Die Parameter dieser Fraktionen der Maximalphasen wurden auf Grund der in den reellen Untersuchungen für die Bestimmung ökotoxikologischer Parameter gebildeten Mischproben (Maximalphase) bei den weiteren Auswertungen ebenfalls herangezogen. Gleichzeitig wurden die Randbedingungen der Versuchsdurchführung ausgewertet, welche die Teilnehmer in den Datenmasken mitgeteilt hatten. Dabei wurden aufgetretene Verfahrensfehler oder Abweichungen vermerkt. In Phase 2 erfolgte eine Ausreißerermittlung (Typ 1). In Phase 3 der Auswertung wurden die verbliebenen Ergebnisse nochmals einer intensiven Plausibilitätsprüfung unterzogen. Beispielsweise wurde bei stark von Gesamtmittelwert abweichenden Messwerten ein Vergleich mit den Ergebnissen der Referenzlösung des entsprechenden Labors vorgenommen und Rücksprache mit den betreffenden Teilnehmern gehalten.

Die Ergebnisse der VU der abschließenden Betrachtung werden im nächsten Kapitel auszugsweise vorgestellt und diskutiert.

Anhang 10 beinhaltet die detaillierten Ergebnisse der VU für die zu ermittelnden Parameter.

⁸ Bildung der 90% TOC Mischfraktion siehe Anhang 5

12 Ergebnisse

12.1 Rohdaten

In den nachfolgenden Tabellen sind alle gelieferten Ergebnisse (Rohdaten) der Parameter der VU, die eine Veränderung im Vergleich zum Blindwert aufwiesen, aufgeführt.

Zusammengefasst zeigten die Ergebnisse der Elutionen des **Zementleimes** einen geringen Austrag an Inhaltsstoffen an. Die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Trübung, TOC und Geruch sowie das Schwermetall Chrom sind in Tabelle 31 bis 33 aufgeführt. Chrom war als einziges Schwermetall durch einen nennenswerten Austrag als Parameter für die VU relevant. Die weiteren analysierten Schwermetalle wurden aus dem Rohdatensatz herausgenommen, da sie a) nicht nachgewiesen wurden bzw. unter der Bestimmungsgrenze lagen oder b) durch das verwendete Trinkwasser als Elutionsmittel bereits im Blindwert höher als in den einzelnen Fraktionen enthalten und so nicht geeignet für die weitere Auswertung waren.

Die Elutionen des **Polyacrylates** zeigten einen deutlichen Austrag an Inhaltsstoffen an. Wesentliche Parameter sind der TOC und die elektrische Leitfähigkeit. Die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Trübung, TOC, Geruch und Neigung zur Schaumbildung sind in Tabelle 34 bis 36 aufgeführt.

Beim **Vergleich der einzelnen Fraktionen** untereinander bzw. des Elutions(Parameter)verlaufs aller Säulen zeigt sich, dass eine direkte Gegenüberstellung nicht möglich ist. Die Parameterkurven zeigen einen versetzten Verlauf, der zu großen Streuungen der Werte, hohen Standardabweichungen, Extremwerten und Ausreißern führt und keine sinnvolle Auswertung ermöglichte. Dies sei kurz für den TOC aufgeführt. In Abbildung 30 sind alle TOC-Verläufe dargestellt. Es wird ersichtlich, dass der Austrag an TOC in einigen Säulen früher einsetzt als in anderen und dadurch die Werte stark um den Mittelwert streuen.

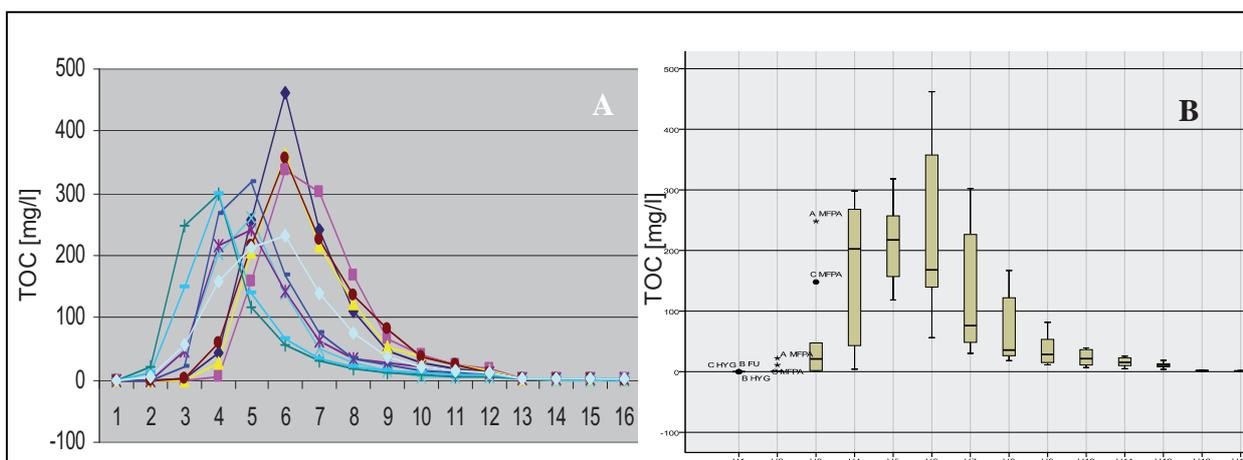


Abbildung 30: Kurvenverlauf TOC (A) und ermittelte Boxplots pro Fraktion (B) des Polyacrylates mit Extremen Werten und Ausreißern (Blindwertbereinigt)

Ergebnisse Zementleim

Tabelle 31: Ergebnisse Labor C 8 Zementleim für alle drei Parallelen

8	Säule A						Säule B						Säule C					
	pH-Wert	elektr. Leitf. [$\mu\text{S/cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Chrom [$\mu\text{g/l}$]	pH-Wert	elektr. Leitf. [$\mu\text{S/cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Chrom [$\mu\text{g/l}$]	pH-Wert	elektr. Leitf. [$\mu\text{S/cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Chrom [$\mu\text{g/l}$]
BW	7,74	629	0,03	3,9	geruchlos	0	7,68	614	0,53	4	geruchlos	0	7,69	614	0,02	3,5	geruchlos	0
EW	7,58	616	0,13	3,3	geruchlos	0	7,58	616	0,13	3,3	geruchlos	0	7,58	616	0,13	3,3	geruchlos	0
Fr. 1	8,10	595	0,96	3,6	geruchlos	0	8,11	595	1,33	3,6	geruchlos	0	8,17	589	1,17	4,2	geruchlos	0
Fr. 2	8,01	646	0,02	6,1	geruchlos	2	8,04	625	0,02	5,1	geruchlos	1	8,09	769	0,21	23	geruchlos	12
Fr. 3	8,15	749	0,1	22,5	geruchlos	9	7,91	727	0,08	19	geruchlos	7	8,24	783	0,14	27,5	geruchlos	10
Fr. 4	8,4	725	0,08	20	geruchlos	8	8,1	737	0,06	20,5	geruchlos	10	8,5	716	0,07	18,5	geruchlos	6
Fr. 5	8,53	694	0,06	15	geruchlos	7	8,35	706	0,02	16,5	geruchlos	6	8,56	688	0,04	14	geruchlos	5
Fr. 6	8,59	674	0,02	12,5	geruchlos	5	8,42	678	0,23	17,5	geruchlos	5	8,59	669	0,02	11	geruchlos	5
Fr. 7	8,62	662	0,02	9,9	geruchlos	3	8,49	663	0,04	10,4	geruchlos	4	8,61	656	0,02	8,8	geruchlos	3
Fr. 8	8,65	654	0,02	8,9	geruchlos	3	8,49	651	0,02	8,9	geruchlos	3	8,62	648	0,02	8	geruchlos	2
Fr. 9	8,67	648	0,02	8,4	geruchlos	2	8,47	643	0,02	7,7	geruchlos	2	8,63	642	0,02	7,5	geruchlos	2
Fr. 10	8,68	645	0,02	7,8	geruchlos	2	8,46	639	0,02	7	geruchlos	2	8,64	639	0,02	6,8	geruchlos	2
Fr. 11	8,68	642	0,13	7,7	geruchlos	1	8,47	637	0,02	8,1	geruchlos	1	8,66	638	0,02	6,4	geruchlos	2
Fr. 12	8,68	641	0,02	6,6	geruchlos	1	8,47	635	0,02	6,4	geruchlos	1	8,63	637	0,05	6,1	geruchlos	1
Fr. 13	8,22	634	0,04	3,8	deutl. org.	0	8,05	632	0,02	3,6	org.	0	8,2	633	0,02	4	deutl. org.	0
Fr. 14	8,01	626	0,02	3,5	deutl. org.	0	7,91	625	0,02	3,3	org.	0	7,98	625	0,02	3,6	deutl. org.	3
Fr. 15	7,87	625	0,02	3,6	stark org.	0	7,8	625	0,02	3,4	stark org.	0	7,85	624	0,02	3,3	stark org.	0
Fr. 16	7,91	623	0,02	3,6	stark org.	0	7,86	624	0,02	3,2	stark org.	0	7,91	623	0,02	3,8	deutl. org.	0

Tabelle 32: Ergebnisse Labor C 10 Zementleim für alle drei Parallelen

10	Säule A						Säule B						Säule C						
	Fr.	pH-Wert	elektr. Leitf. [$\mu\text{S/cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Chrom [$\mu\text{g/l}$]	pH-Wert	elektr. Leitf. [$\mu\text{S/cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Chrom [$\mu\text{g/l}$]	pH-Wert	elektr. Leitf. [$\mu\text{S/cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Chrom [$\mu\text{g/l}$]
	BW	7,78	637	0,39	2,7	geruchlos	0	7,72	630	0,32	2,8	geruchlos	0	7,86	619	0,15	1,9	geruchlos	0
	EW	7,83	636	0,29	2,2	geruchlos	0	8,15	662	0,14	6,4	geruchlos	0	8,19	615	0,21	1,7	geruchlos	0
	Fr. 1	7,86	772	0,27	19	geruchlos	0	8,39	874	0,13	36	geruchlos	0	7,75	628	0,35	2,3	geruchlos	0
	Fr. 2	8,16	883	0,51	38	geruchlos	0	9,4	771	<0,1	24	geruchlos	7	7,75	696	0,33	9,6	geruchlos	8
	Fr. 3	9,28	786	0,25	28	geruchlos	7	9,29	703	<0,1	16	geruchlos	20	8,23	851	0,12	33	geruchlos	26
	Fr. 4	9,2	717	0,13	20	geruchlos	8	9,33	678	<0,1	13	geruchlos	22	9,48	769	0,14	23	geruchlos	20
	Fr. 5	9,01	679	0,18	13	geruchlos	8	9,35	666	<0,1	9,7	geruchlos	14	9,54	709	0,1	15	geruchlos	13
	Fr. 6	9,02	660	0,1	9,7	geruchlos	6	9,31	654	<0,1	8	geruchlos	10	9,5	682	0,11	11	geruchlos	8
	Fr. 7	9,12	659	0,11	7,8	geruchlos	5	9,25	639	<0,1	6,9	geruchlos	8	9,25	653	<0,1	8,3	geruchlos	7
	Fr. 8	9,15	652	<0,1	6,7	geruchlos	4	9,26	640	<0,1	6,4	geruchlos	6	9,46	661	<0,1	7	geruchlos	5
	Fr. 9	9,13	647	0,13	6	geruchlos	3	9,25	631	<0,1	5,8	geruchlos	5	9,48	655	<0,1	6,1	geruchlos	4
	Fr. 10	9,1	640	0,1	5,5	geruchlos	2	9,11	621	<0,1	5,8	geruchlos	5	9,15	629	<0,1	5,5	geruchlos	4
	Fr. 11	8,95	625	0,23	2,5	geruchlos	2	8,94	620	<0,1	2,3	geruchlos	4	9,37	641	<0,1	5,2	geruchlos	3
	Fr. 12	8,76	621	0,27	2,2	geruchlos	0	8,76	615	0,1	2	geruchlos	4	9,4	631	0,11	4,9	geruchlos	3
	Fr. 13	8,33	617	0,28	1,9	faulig, H2S stark	0	8,45	613	0,15	1,9	geringer H2S	0	9,02	626	0,12	2,2	Geruch nach H2S	0
	Fr. 14	8,22	614	0,32	2	faulig, H2S stark	0	8,34	609	<0,1	1,8	starker H2S	0	8,78	622	0,12	2	stark nach H2S	0
	Fr. 15	7,94	629	0,17	1,8	faulig, H2S geringer	0	7,83	614	0,12	1,8	starker H2S	0	8,33	622	0,21	1,9	stark nach H2S	0
	Fr. 16	8,15	606	0,58	1,7	faulig, H2S geringer	0	8,11	613	<0,1	1,7	starker H2S	0	8,17	619	0,16	1,8	stark nach H2S	0

Tabelle 33: Ergebnisse Labor C 12 Zementleim für alle drei Parallelen

12	Säule D								Säule E								Säule F							
	Fr.	pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung	TOC	Geruch	Chrom		pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung	TOC	Geruch	Chrom		pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung	TOC	Geruch	Chrom			
		[µS/cm]	[FNU]	[mg/l]			[µg/l]			[µS/cm]	[FNU]	[mg/l]		[µg/l]			[µS/cm]	[FNU]	[mg/l]		[µg/l]			
BW	7,81	511	0,298	2,69	sandig		0	7,81	511	0,298	2,69	sandig		0	7,81	511	0,298	2,69	sandig		0			
EW	7,48	512	0,128	2,75	ohne		0	7,48	512	0,128	2,75	ohne		0	7,48	512	0,128	2,75	ohne		0			
Fr. 1	8,01	591	3,87	21,3	sandig	stark kalkig	17,32	8,19	658	6,68	30,3	stark erdig		18,97	8,27	493	1,63	3,52	stark sandig		1,2			
Fr. 2	8,69	759	0,485	43	sandig	stark kalkig	35,53	8,68	692	0,531	31,7	stark erdig		26,41	8,28	519	0,257	4,44	stark sandig		3,57			
Fr. 3	8,88	608	0,239	16,2	stark sandig		16,3	8,99	617	0,246	15,2	stark erdig		15,44	8,43	592	0,25	10,7	mineralisch		12,74			
Fr. 4	8,93	590	0,227	12,5	stark sandig		12,78	9,03	575	0,212	8,86	sandig	schwach	8,62	8,44	674	0,248	24,9	mineralisch		22,47			
Fr. 5	9	572	0,205	9,79	stark sandig		10,4	9,03	560	0,221	6,52	sandig	schwach	6,05	8,67	603	0,198	15,6	mineralisch		14,88			
Fr. 6	9,01	555	0,211	7,49	stark sandig		7,83	8,92	549	0,211	5,75	sandig	schwach	5,17	8,51	564	0,206	10,4	sandig	schwach	9,59			
Fr. 7	8,93	542	0,203	6,51	stark sandig		6,51	8,83	542	0,203	5,31	sandig	schwach	4,62	8,51	547	0,182	7,74	sandig	schwach	7,22			
Fr. 8	8,73	536	0,192	5,9	sandig	schwach	5,58	8,81	537	0,234	5,07	sandig	schwach	4,13	8,5	536	0,174	6,44	sandig	schwach	5,6			
Fr. 9	8,91	529	0,184	5,4	sandig	schwach	4,83	8,85	534	0,197	4,95	sandig	schwach	3,72	8,7	529	0,208	5,69	sandig	schwach	4,64			
Fr. 10	8,87	526	0,182	5,24	sandig	schwach	4,14	8,81	532	0,194	4,82	sandig	schwach	4,16	8,67	527	0,161	5,26	sandig	schwach	3,2			
Fr. 11	8,61	523	0,172	4,92	sandig	schwach	3,63	8,75	530	0,201	4,65	sandig	schwach	2,83	8,8	530	0,165	4,99	sandig	schwach	3,44			
Fr. 12	8,68	521	0,174	4,76	sandig	schwach	3,13	8,67	522	0,184	4,46	sandig	schwach	2,59	8,7	518	0,169	4,73	sandig	schwach	2,89			
Fr. 13	8,15	502	0,189	2,81	stark faulig		0	8,03	504	0,199	2,74	stark faulig		0	8,01	496	0,169	2,78	stark faulig		0			
Fr. 14	8,04	503	0,159	2,71	stark faulig		0	7,95	505	0,175	2,71	stark faulig		0	7,95	498	0,16	2,71	faulig/sandig	stark	0			
Fr. 15	7,87	499	0,155	2,69	stark faulig		0	7,8	502	0,174	2,68	stark faulig		0	7,75	498	0,153	2,69	stark faulig		0			
Fr. 16	7,93	503	0,128	2,67	stark faulig		0	7,84	503	0,171	2,7	stark faulig		0	7,88	500	0,167	2,67	stark faulig		0			

Ergebnisse Polyacrylat

Tabelle 34: Ergebnisse Labor C 8 Polyacrylat für alle drei Parallelen

Fr.	Säule A						Säule B						Säule C					
	pH-Wert	elekt. Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	N. z. Schaumb.	pH-Wert	elekt. Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	N. z. Schaumb.	pH-Wert	elekt. Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	N. z. Schaumb.
BW	7,74	633	0,35	2,9	ohne	keine	7,71	635	0,16	2,9	ohne	keine	7,69	635	0,17	3,1	ohne	keine
EW	7,66	638	0,11	3,4	ohne	keine	7,66	638	0,11	3,4	ohne	keine	7,66	638	0,11	3,4	ohne	keine
Fr. 1	7,75	633	0,48	2,9	ohne	keine	7,79	632	2,63	3,1	ohne	keine	7,76	632	4,17	3,1	ohne	keine
Fr. 2	7,66	635	0,02	3,1	ohne	keine	7,73	634	0,02	2,8	ohne	keine	7,66	634	0,02	3,3	ohne	keine
Fr. 3	7,69	639	0,02	5,3	ohne	keine	7,65	634	0,02	3,3	ohne	keine	7,65	634	0,02	3,2	ohne	keine
Fr. 4	7,61	713	0,09	46	ohne	schwach, nicht stabil	7,64	644	0,02	7	ohne	keine	7,63	680	0,07	29,5	ohne	schwach, nicht stabil
Fr. 5	7,58	1054	0,02	260	ohne	stark, nicht stabil	7,6	867	0,02	160	ohne	stark, nicht stabil	7,58	947	0,02	210	ohne	stark, nicht stabil
Fr. 6	7,59	1341	0,02	465	schw. org.	stark, nicht stabil	7,61	1116	0,02	340	schw. org.	stark, nicht stabil	7,6	1168	0,03	365	schw. org.	stark, nicht stabil
Fr. 7	7,68	997	0,02	245	schw. org.	stark, nicht stabil	7,68	1072	0,02	305	schw. org.	stark, nicht stabil	7,66	961	0,06	220	schw. org.	stark, nicht stabil
Fr. 8	7,72	796	0,25	115	schw. org.	stark, nicht stabil	7,7	875	0,02	170	schw. org.	stark, nicht stabil	7,68	800	0,49	125	schw. org.	stark, stabil
Fr. 9	7,73	729	0,75	50	schw. org.	stark, nicht stabil	7,74	761	0,15	68	schw. org.	stark, nicht stabil	7,72	741	1,08	56,5	schw. org.	stark, nicht stabil
Fr. 10	7,78	699	0,76	30,5	schw. org.	stark, nicht stabil	7,71	791	0,61	42	schw. org.	stark, stabil	7,73	713	1,2	40	schw. org.	stark, stabil
Fr. 11	7,75	686	0,58	20,5	schw. org.	stark, nicht stabil	7,73	699	0,63	28	schw. org.	stark, stabil	7,74	695	1,03	26	schw. org.	stark, stabil
Fr. 12	7,75	682	0,37	16	schw. org.	schwach, nicht stabil	7,74	689	0,66	21,5	schw. org.	stark, stabil	7,76	685	0,82	18	schw. org.	stark, stabil
Fr. 13	7,77	657	0,06	5,2	ohne	keine	7,77	655	0,23	4,5	kein - schw. org.	schwach	7,78	655	0,21	6	ohne	keine - schwach
Fr. 16	7,75	641	0,02	5	ohne	keine	7,74	642	0,02	4,1	ohne	keine	7,74	642	0,02	4,2	ohne	keine

Tabelle 35: Ergebnisse Labor C 10 Polyacrylat für alle drei Parallelen

Fr.	Säule A					Säule B					Säule C							
	pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	N. z. Schaumb.	PH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	N. z. Schaumb.	PH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	N. z. Schaumb.
BW	7,71	637	0,30	1,8	geruchlos	keine	7,84	599	0,25	2	geruchlos	keine	7,67	605	0,19	2	geruchlos	keine
EW	8,19	599	1,22	1,8	geruchlos	keine	8,19	585	1,17	1,7	geruchlos	keine	8,15	602	0,78	1,8	geruchlos	keine
Fr. 1	7,75	614	0,37	1,7	geruchlos	keine	7,87	582	0,3	1,9	geruchlos	keine	7,69	616	0,23	1,9	geruchlos	keine
Fr. 2	7,74	650	0,22	24	geruchlos	leichte Schaumb.	7,84	582	0,47	1,8	geruchlos	keine	7,75	628	0,12	13	geruchlos	keine
Fr. 3	7,52	1010	0,19	250	geruchlos	instabil	7,84	618	0,26	23	geruchlos	schwach, instabil	7,60	655	0,14	150	geruchlos	gering, instabil
Fr. 4	7,60	1090	0,31	300	geruchlos	instabil	7,60	1040	0,37	270	geruchlos	stark, instabil	7,61	1100	0,09	300	geruchlos	instabil
Fr. 5	7,74	811	0,24	120	geruchlos	instabil	7,64	1110	0,18	320	geruchlos	stark, instabil	7,79	847	0,44	140	organisch	stabil (50s)
Fr. 6	7,77	704	0,35	58	geruchlos	instabil	7,64	875	0,17	170	geruchlos	stark, instabil	7,82	716	0,84	67	organisch	stabil (50s)
Fr. 7	7,78	663	0,30	32	geruchlos	30s.	7,91	724	0,26	78	geruchlos	stark, instabil	7,82	664	0,76	37	organisch	stabil
Fr. 8	7,79	651	0,23	20	geruchlos	stabil (60s)	7,94	647	0,37	36	geruchlos	stark, instabil	7,82	646	0,72	24	organisch	stabil
Fr. 9	7,75	640	0,23	13	geruchlos	stabil (60s)	7,95	629	0,38	25	geruchlos	stark, instabil	7,83	636	0,54	17	organisch	stabil
Fr. 10	7,74	632	0,20	9,3	geruchlos	instabil	7,92	617	0,39	18	geruchlos	stark, instabil	7,83	629	0,5	13	organisch	stabil
Fr. 11	7,71	626	0,19	7,6	geruchlos	instabil	7,98	607	0,32	14	geruchlos	stark, stabil (2 Min.)	7,86	626	0,36	12	organisch	stabil
Fr. 12	7,75	630	0,20	6,3	geruchlos	instabil	7,95	604	0,31	12	geruchlos	schwach, noch stabil	7,85	625	0,29	9,9	organisch	stabil
Fr. 13	7,71	617	0,21	3,3	geruchlos	instabil	7,80	603	0,28	4,3	geruchlos	schwach, instabil	7,82	643	0,22	3,3	geruchlos	keine
...Fr. 16	7,76	607	0,17	2,5	geruchlos	instabil	7,78	601	0,19	3,2	geruchlos	schwach, instabil	7,84	660	0,27	2,5	geruchlos	keine

Tabelle 36: Ergebnisse Labor C 12 Polyacrylat für alle drei Parallelen

C 12	Säule D										Säule E										Säule F									
	Fr.	pH-Wert	elektr. Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	N. z. Schaumb.	pH-Wert	elektr. Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	N. z. Schaumb.	pH-Wert	elektr. Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	N. z. Schaumb.	pH-Wert	elektr. Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	N. z. Schaumb.					
BW	7,92	495	0,12	2,5	sandig	keine	7,92	495	0,12	2,5	sandig	keine	7,92	495	0,12	2,5	sandig	keine	7,92	495	0,12	2,5	sandig	keine	7,92	495	0,12	2,5	sandig	keine
EW	7,96	506	0,12	2,3	ohne	keine	7,96	506	0,12	2,3	ohne	keine	7,96	506	0,12	2,3	ohne	keine	7,96	506	0,12	2,3	ohne	keine	7,96	506	0,12	2,3	ohne	keine
Fr. 1	7,94	497	0,55	2,4	stark sandig	keine	7,81	495	0,51	2,1	stark sandig	keine	7,85	498	0,63	3,0	stark sandig	keine	7,85	498	0,63	3,0	stark sandig	keine	7,85	498	0,63	3,0	stark sandig	keine
Fr. 2	7,82	500	0,13	2,8	stark sandig	stark nicht stabil	7,78	499	0,31	2,4	stark sandig	keine	7,67	496	0,16	3,0	stark sandig	keine	7,67	496	0,16	3,0	stark sandig	keine	7,67	496	0,16	3,0	stark sandig	keine
Fr. 3	7,66	636	0,16	50,0	schwach sandig	stark nicht stabil	7,89	570	0,56	49	schwach sandig	schwach nicht stabil	7,74	497	0,15	4,4	stark sandig	keine	7,74	497	0,15	4,4	stark sandig	keine	7,74	497	0,15	4,4	stark sandig	keine
Fr. 4	7,53	1023	0,14	205,0	stark organisch	stark nicht stabil	7,46	1025	0,16	220	stark organisch	schwach nicht stabil	7,47	651	0,35	63,0	schwach organisch	schwach nicht stabil	7,47	651	0,35	63,0	schwach organisch	stark nicht stabil	7,47	651	0,35	63,0	schwach organisch	stark nicht stabil
Fr. 5	7,53	1126	0,13	262,0	stark organisch	stark nicht stabil	7,42	1058	0,27	244	stark organisch	schwach nicht stabil	7,47	954	0,18	220,0	stark organisch	schwach nicht stabil	7,47	954	0,18	220,0	stark organisch	stark nicht stabil	7,47	954	0,18	220,0	stark organisch	stark nicht stabil
Fr. 6	7,65	848	0,14	142,0	stark organisch	stark nicht stabil	7,37	825	0,17	144	stark organisch	schwach nicht stabil	7,48	1069	0,14	360,0	stark organisch	schwach nicht stabil	7,48	1069	0,14	360,0	stark organisch	stark nicht stabil	7,48	1069	0,14	360,0	stark organisch	stark nicht stabil
Fr. 7	7,60	653	0,16	51,0	stark organisch	stark nicht stabil	7,67	663	0,26	66	stark organisch	schwach nicht stabil	7,56	934	0,15	229,0	stark organisch	schwach nicht stabil	7,56	934	0,15	229,0	stark organisch	stark nicht stabil	7,56	934	0,15	229,0	stark organisch	stark nicht stabil
Fr. 8	7,64	584	0,26	29,0	stark organisch	stark nicht stabil	7,57	600	0,5	38	stark organisch	schwach nicht stabil	7,6	781	0,15	139,0	stark organisch	schwach nicht stabil	7,6	781	0,15	139,0	stark organisch	stark nicht stabil	7,6	781	0,15	139,0	stark organisch	stark nicht stabil
Fr. 9	7,64	560	0,28	16,0	stark organisch	stark nicht stabil	7,62	578	0,31	31	stark organisch	schwach nicht stabil	7,63	680	0,22	84,0	stark organisch	schwach nicht stabil	7,63	680	0,22	84,0	stark organisch	stark nicht stabil	7,63	680	0,22	84,0	stark organisch	stark nicht stabil
Fr. 10	7,69	545	0,3	9,2	stark organisch	stark nicht stabil	7,59	560	0,29	24	stark organisch	schwach nicht stabil	7,59	605	0,28	39,0	stark organisch	schwach nicht stabil	7,59	605	0,28	39,0	stark organisch	stark nicht stabil	7,59	605	0,28	39,0	stark organisch	stark nicht stabil
Fr. 11	7,66	533	0,32	7,5	schwach organisch	schwach nicht stabil	7,58	551	0,24	18	schwach organisch	schwach nicht stabil	7,63	569	0,3	28,0	schwach organisch	schwach nicht stabil	7,63	569	0,3	28,0	schwach organisch	stark nicht stabil	7,63	569	0,3	28,0	schwach organisch	stark nicht stabil
Fr. 12	7,76	530	0,37	6,3	schwach organisch	schwach nicht stabil	7,62	546	0,21	14	schwach organisch	schwach nicht stabil	7,79	539	0,29	13,0	schwach organisch	schwach nicht stabil	7,79	539	0,29	13,0	schwach organisch	schwach nicht stabil	7,79	539	0,29	13,0	schwach organisch	schwach nicht stabil
Fr. 13	7,72	504	0,14	3,3	schwach organisch	keine	7,77	506	0,16	4,4	schwach sandig	keine	7,57	507	0,17	3,8	schwach sandig	keine	7,57	507	0,17	3,8	schwach sandig	keine	7,57	507	0,17	3,8	schwach sandig	keine
... Fr. 16	7,60	497	0,53	2,8	schwach sandig	keine	7,75	497	0,43	3,5	schwach sandig	keine	7,71	497	0,41	2,6	schwach sandig	keine	7,71	497	0,41	2,6	schwach sandig	keine	7,71	497	0,41	2,6	schwach sandig	keine

Die **Auswertung der Randbedingungen** ergaben folgende Abweichungen zur Arbeitsanweisung:

- Zu hohe Raumtemperatur/Wassertemperatur bei Labor C 10 bei Versuch Polyacrylat Säule A und B
- Kein abgepumptes Wasser bei Labor C 10 bei Versuch Polyacrylat Säule A, B und C vor Injektion
- Zu früher Elutionsbeginn (60 min statt 90 min) bei Labor C 12 bei Versuch Zementleim in allen drei Säulen

Weitere Unterschiede zwischen den Laboren bestand bei der Menge an übrig gebliebenen Sand im Versuch Zementleim nach Wiedereinbau des Sandes und bei den Mengen an nichtinjizierten Polyacrylat.

Die ermittelten Punkte wurden bei der weiteren Auswertung berücksichtigt und ihr Einfluss bestimmt.

12.2 Probekörper

Zementleim: Die Probekörper des Zementleims weisen bei allen Teilnehmern identische Formen auf. So bilden sich durch den definierten Einbau Zylinder, mit einseitiger kalottenförmiger Ausrundung aus (Abb. 31).



Abbildung 31: Zementleimkörper der VU, Auswahl; gesamte Probekörper in Anhang 10 dargestellt

In Tabelle 37 sind die Maße der ausgebauten Probekörper aufgeführt.

Tabelle 37: Prüfkörper Zementleim

Labor (Code)	Prüfkörper	Masse [g]	Oberfläche [cm ²]	Volumen [cm ³]
12	D	n. b.	404	596
	E	n. b.	403	600
	F	n. b.	398	584
10	A	1160	533	662
	B	1182	533	661
	C	1172	533	639
8	A	1212	471	680
	B	1202	452	670
	C	1143	424	600

n. b.: nicht bestimmt

Die Volumen der ausgebildeten Baukörper sind sehr gut vergleichbar und besitzen mit ca. 6% eine geringe Standardabweichung (Tab. 39).

Polyacrylat: Die Injektionskörper des Polyacrylates weisen hingegen unterschiedliche Ausformungen (kugelförmig über unregelmäßig kugelförmig bis hin zu unförmig) auf (Abb. 32). Dabei sind die einzelnen Ausformungen für die Teilnehmer charakteristisch. Grund dafür könnten u.a. verschiedene Lagerungen des eingefüllten Sandes sein oder Undichtigkeiten am verwendeten Packer. In Tabelle 38 sind die Maße der ausgebauten Probekörper aufgeführt.

Tabelle 38: Prüfkörper Polyacrylat

Labor (Code)	Prüfkörper	Masse [g]	Oberfläche [cm ²]	Volumen [cm ³]
12	D	n. b.	907,9	2572
	E	n. b.	774,4	2026
	F	n. b.	804,3	2144
10	A	4189	200x160x160 [mm]*	2230
	B	4406	190x150x160 [mm]*	2332
	C	4791	240x190x130 [mm]*	2347
8	A	4091	n. b. b.	2270
	B	4029	n. b. b.	2210
	C	4146	n. b. b.	2250

* Abmessung, n. b.: nicht bestimmt, n. b. b.: nicht bestimmbar



Abbildung 32: Polyacrylatkörper der VU, Auswahl; gesamte Probekörper in Anhang 10 dargestellt

Ein Vergleich der Baukörpervolumina zeigt, dass eine gute Übereinstimmung zwischen den Laboren besteht (ca. 7% Standardabweichung) (Tab. 39).

Tabelle 39: Standardabweichung in Prozent der Volumina der gebildeten Baukörper

Polyacrylat	Volumen [cm ³]	MW	STAW [cm ³]	STAW [%]	Zementleim	Volumen [cm ³]	MW	STAW [cm ³]	STAW [%]
	2572					596,00			
12	2026	2247,33	287,29	12,78	12	600,00	593,33	8,33	1,40
	2144					584,00			
	2230					662,00			
10	2332	2303,00	63,66	2,76	10	661,00	654,00	13,00	1,99
	2347					639,00			
	2270					680,00			
8	2210	2243,33	30,55	1,36	8	670,00	650,00	43,59	6,71
	2250					600,00			
MW [cm ³]	2264,56	2264,56			MW [cm ³]	632,44	632,44		
STAW [cm ³]	150,72	33,35			STAW [cm ³]	37,39	33,93		
STAW %	6,66	1,47			STAW %	5,91	5,36		

Ein direkter Vergleich der Oberflächen war auf Grund der Schwierigkeiten bei der Bestimmung bei unförmigen Probekörpern nicht möglich. Hier bleibt nur der visuelle Vergleich zur Bestimmung der Vergleichbarkeit. Die Probekörper des Teilnehmers Labor Code 8 weisen durch die unförmige Ausbildung die höchste äußere Oberfläche auf. Ein Grund könnte eine nicht fest genug verbundenes Packersystem und die Verwendung eines nicht idealen Filtervlieses gewesen sein. Eine ideale Kugelform und damit die geringste Oberfläche sind annähernd bei Labor Code 12 entstanden.

12.3 Vergleich (Verfahrenskenndaten)

Ein wesentliches Ziel der VU bestand in der Ermittlung von Verfahrenskenndaten für den inversen Säulenversuch entsprechend der DIN 38402-42. Um die von den Teilnehmern gelieferten Ergebnisse sinnvoll auswerten zu können, wurden aus den Daten der Einzelfraktionen theoretische Mischfraktionen abgeleitet. Als Leitparameter diente der TOC. Es wurden rechnerisch folgende Mischfraktionen zur besseren Vergleichbarkeit der Labore ermittelt: die 90%TOC Mischfraktion und die Mischfraktion aus den 3 höchsten TOC-Fraktionen. Des Weiteren wurde der Gesamt-TOC und für Zementleim zusätzlich der Gesamt-Chrom ermittelt und für die weitere Auswertung herangezogen. Weiterhin wurde bei den Parametern der Referenzlösung der Variationskoeffizient bestimmt.

Die Verfahrenskenndaten sind für den Säulenversuch in Abschnitt 12.3.1 für die zu ermittelnden Parameter tabellarisch zusammengestellt und in Abschnitt 12.3.2 sind die Parameter der Referenzlösung aufgeführt.

Insgesamt ergaben die ermittelten Vergleichsvariationskoeffizienten akzeptable Reproduzierbarkeiten für die untersuchten Parameter sowohl für Polyacrylat (Injektion) als auch für Zementleim (Einbau). Betrachtet man die wichtigen Parameter TOC, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit, besitzt die inverse Säulenelution nach Schössner eine gute Reproduzierbarkeit, die Vergleichsvariationskoeffizienten sind für Polyacrylat und Zementleim $\leq 25\%$. Die Trübe besitzt auf Grund des niedrigen Messwertebereichs die höchsten Vergleichsvariationskoeffizienten, ähnlich des Variationskoeffizienten in der Referenzlösung (vgl. Kap. 12.3.2).

Die Parameter Geruch, Farbe und Neigung zur Schaumbildung konnten nur eingeschränkt ausgewertet werden, da eine Behandlung der erhaltenen qualitativen Werte nach DIN 38402-42 nicht möglich ist. Als Mittelwert wurden die Einstufungen herangezogen, die bei den einzelnen Werten überwogen. Die abgegebenen Einstufungen für diese Parameter besaßen überwiegend gute Übereinstimmungen.

Vergleicht man die unterschiedlich gebildeten Maximalphasen untereinander, stellt man fest, dass die Bildung der Mischfraktion der 3-höchsten-TOC-Fraktionen die beste Vergleichbarkeit zwischen den Laboren bei den Parametern elektrische Leitfähigkeit und TOC liefert. In Abbildung 33 und 34 ist dies für die Parameter Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Trübung und TOC sowie Chrom für Zementleim dargestellt. Die gebildete 90%-TOC Mischfraktion zeigt hingegen bei allen Parametern die größten Vergleichsvariationskoeffizienten und damit eine geringere, aber immer noch gute, Reproduzierbarkeit.

Der Parameter Chrom weist neben der Trübung den größten Vergleichsvariationskoeffizienten von 42% (Mischfraktion 3 höchste TOC) bis zu 61% (Mischfraktion 90% TOC) auf.

Vergleich Vergleichsvariationskoeffizient Polyacrylat

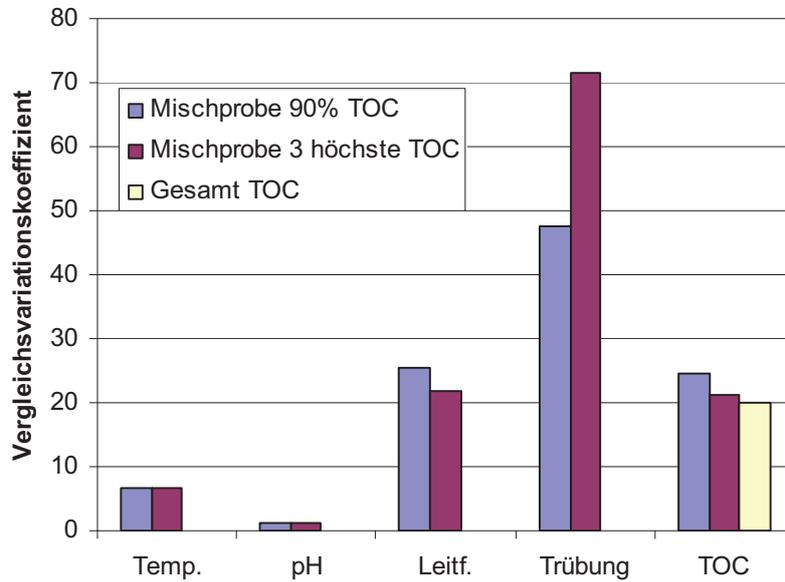


Abbildung 33: Variationskoeffizienten der VU Polyacrylat im Vergleich

Vergleich der Vergleichsvariationskoeffizienten Zementleim

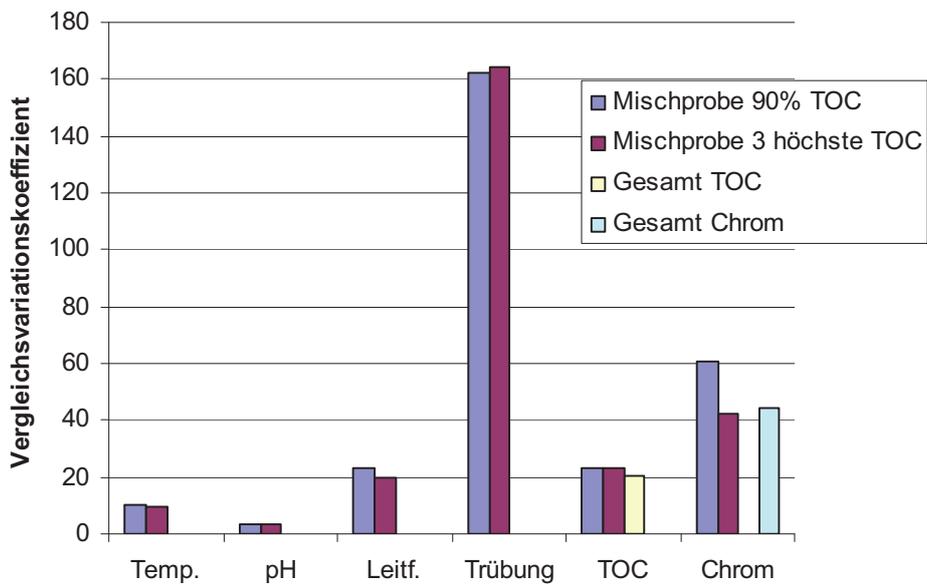


Abbildung 34: Variationskoeffizienten der VU Zementleim im Vergleich

12.3.1 Zusammenfassung Verfahrenskenndaten inverser Säulenversuch

Die Verfahrenskenndaten auf Grundlage der Vergleichsuntersuchung sind in den folgenden Tabellen 40 und 41 aufgeführt.

Tabelle 40: Verfahrenskenndaten Vergleichsuntersuchung inverser Säulenversuch – Polyacrylat

Merkmal	Fraktion	Dimension	l	n	n _A	n _{AP} [%]	X	Vergleichs-		Wiederhol-		CV _r [%]
								standard-	abweichung	standard-	abweichung	
				Anzahl der ausreißer- freie Einzel- werte	Anzahl der Ausreißer- werte	Anteil der Ausreißer	Gesamt- mittelwert	SR	CV _R [%]	SR	Wiederhol- variations- koeffizient	
Temp.		°C	3	9	0	0,00	22,78	1,54	6,75	1,09	4,80	
pH-Wert			3	9	0	0,00	7,65	0,08	1,07	0,05	0,62	
Leitf.		µS/cm	3	9	0	0,00	316,14	80,32	25,41	60,80	19,23	
Trübung		FNU	3	8	1	11,11	0,21	0,10	47,62	0,10	47,62	
TOC	Misch- probe 90%	mg/l	3	9	0	0,00	182,98	44,69	24,42	35,48	19,39	
Geruch	TOC		3	9	0	0,00	schwach organisch					
Farbe			3	9	0	0,00	farblos					
Schaum			3	9	0	0,00	stark nicht stabil					
Temp.		°C	3	9	0	0,00	22,79	1,55	6,79	1,12	4,90	
pH-Wert			3	9	0	0,00	7,59	0,10	1,29	0,07	0,98	
leitf.		µS/cm	3	9	0	0,00	416,43	90,41	21,71	56,66	13,61	
Trübung		FNU	3	8	1	11,11	0,14	0,10	71,43	0,02	14,29	
TOC	Misch- probe 3 höchste TOC	mg/l	3	8	1	11,11	235,52	50,07	21,26	24,66	10,47	
Geruch	TOC		3	9	0	0,00	schwach organisch					
Farbe			3	9	0	0,00	farblos					
Schaum			3	9	0	0,00	stark nicht stabil					
TOC	Gesamt	mg/l	3	9	0	0,00	967,12	193,98	20,06	144,25	14,92	

Tabelle 41: Verfahrenskenndaten Vergleichsuntersuchung inverser Säulenversuch – Zementleim

Merkmal	Fraktion	Dimension	l	n	Anzahl der ausreißer- freien Einzel- werte		n _A	n _{AP} [%]	Anteil der Ausreißer	Gesamt- mittelwert	Vergleichs- standard- abweichung	s _R	Vergleichs- variations- koeffizient	CV _R [%]	Wiederhol- standard- abweichung	s _r	Wiederhol- variations- koeffizient	CV _r [%]
					Anzahl der Ausreißer- werte	Anzahl der Ausreißer												
Temp.		°C	3	8		1	11,11		21,33	2,18		10,22		0,24		1,12		
pH-Wert			3	9		0	0,00		8,60	0,28		3,27		0,15		1,79		
Leitf.	Misch- probe	µS/cm	3	9		0	0,00		114,62	26,45		23,08		18,18		15,86		
Trübung	90%	FNU	3	8		1	11,11		0,53	0,86		162,26		0,65		122,64		
TOC		mg/l	3	9		0	0,00		17	4,09		23,50		3,34		19,22		
Geruch	TOC		3	9		0	0,00		geruchlos									
Farbe			3	9		0	0,00		farblos									
Schaum			3	9		0	0,00		keine									
Chrom			3	8		1	11,11		12,86	7,83		60,91		3,56		27,72		
Temp.		°C	3	9		0	0,00		21,30	2,03		9,54		0,27		1,29		
pH-Wert			3	9		0	0,00		8,69	0,28		3,18		0,10		1,14		
Leitf.	Misch- probe 3	µS/cm	3	9		0	0,00		134,00	26,77		19,98		18,56		13,85		
Trübung	höchste	FNU	3	9		0	0,00		0,56	0,92		164,29		0,66		117,86		
TOC		mg/l	3	9		0	0,00		20	4,60		22,84		3,67		18,24		
Geruch	TOC		3	9		0	0,00		geruchlos									
Farbe			3	9		0	0,00		farblos									
Schaum			3	9		0	0,00		keine									
Chrom		µg/l	3	9		0	0,00		13,19	5,55		42,11		4,78		36,21		
TOC	Gesamt	mg/l	3	8		1	11,11		96	19,44		20,21		13,25		13,77		
Chrom	Gesamt	µg/l	3	8		1	11,11		85,44	37,71		44,13		11,57		13,54		

12.3.2 Referenzlösung

Die übermittelten Daten der Referenzlösung (Tab. 42) stellen ein wichtiges Hilfsmittel für die Bewertung der VU-Ergebnisse dar. Der Beitrag der Bestimmungsverfahren zum Vergleichsvariationskoeffizienten konnte dadurch abgeschätzt werden.

Tabelle 42: Parameter Referenzlösung

Referenzlösung	pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung	TOC	Geruch	Farbe	N. z. Schaumb.
Labor		[μ S/cm]	[FNU]	[mg/l]			
12	2,37	3350	0,36	169	stark organisch	schwach gelblich	schwach, nicht stabil
10	2,43	3170	3,14	150	schwach organisch	farblos	schwach, nicht stabil
8	2,39	3290	0,48	160	schwach organisch	farblos	stark, nicht stabil

Als Sollwerte wurde für jeden Parameter erneut der Gesamtmittelwert aller Labore herangezogen. Die berechneten Gesamtmittelwerte wurden entsprechend den Normvorgaben unter Berücksichtigung der abgegebenen Einzelwerte der teilnehmenden Labore ermittelt.

Die ermittelten Parameter TOC, elektr. Leitfähigkeit und pH-Wert zeigen eine gute Übereinstimmung (Tab. 43). Die qualitativen Parameter Geruch, Farbe und Neigung zur Schaumbildung wurden leicht abweichend bestimmt. Der Parameter Trübung zeigt auch hier eine sehr große Abweichung, verursacht durch den niedrigen Messwertbereich.

Tabelle 43: Standardabweichungen Parameter Referenzlösung

Referenzlösung	pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung	TOC
		[μ S/cm]	[FNU]	[mg/l]
MW	2,40	3270,00	1,33	159,67
STABW	0,03	91,65	1,57	9,50
STABW %	1,27	2,80	118,46	5,95

Insgesamt zeigen die erhaltenen Standardabweichungen einen geringen Einfluss der Bestimmungsverfahren auf die erhaltenen Verfahrenskenndaten.

12.3.3 Einflüsse

Um Einflussfaktoren auf die Verfahrenskenndaten zu identifizieren, wurden in einem ersten Schritt die in Kapitel 12.1 ermittelten Abweichungen zur Arbeitsanweisungen bewertet und in einem zweiten Schritt die Einflüsse der eingesetzten Elutionswässer (Trinkwasser) und der gebildeten Oberflächen der Baukörper überprüft.

Die eingetretenen Abweichungen zur Arbeitsanweisung, wie hohe Raumtemperatur und kein abgepumptes Wasser vor der Injektion beim Versuch mit Polyacrylat haben offensichtlich keinen Einfluss auf die zu bestimmenden Parameter.

Der *zu frühe Elutionsbeginn* bzw. die Verringerung der Aushärtezeit im Versuch Zementleim könnte jedoch Einfluss auf die Mobilisierung von Chrom aus dem Baukörper gehabt haben. Dieser mögliche Effekt wird aber überlagert durch den Einfluss des Elutionswassers des Teilnehmers Labor Code 12. Das Elutionswasser besitzt eine ca. um 1/6 geringere elektrische Leitfähigkeit (Ionenstärke) als das der anderen Teilnehmer. Dies könnte dazu geführt haben, dass vermehrt Ionen und Schwermetalle, bedingt durch das größere Gleichgewichtsgefälle, in Lösung gegangen sind. Eine höhere elektrische Leitfähigkeit ist jedoch in den Fraktionen des Zementleimes des Teilnehmers nicht nachweisbar, im Gegensatz zu den Fraktionen des Polyacrylates, wo die höchsten Werte für die elektrische Leitfähigkeit bestimmt wurden.

Die Form bzw. die äußere Oberflächen der Baukörper haben einen Einfluss auf die Höhe der mobilisierten Inhaltsstoffe. Die Polyacrylat-Probekörper des Teilnehmers Labor Code 8 weisen durch die unförmige Ausbildung des Probekörpers die höchste äußere Oberfläche auf. Dieser Teilnehmer weist ebenfalls die höchsten TOC-Werte auf. Der Einfluss der Form der Probekörper der anderen zwei Teilnehmer auf die TOC-Werte, sind durch den zusätzlichen Einfluss der geringeren Leitfähigkeit von Labor Code 12 nicht nachweisbar. Die Form und damit die Größe der äußeren Oberflächen der gebildeten Baukörper könnten mit den TOC-Gehalten korrelieren. Dies war jedoch durch die schwierige Oberflächenbestimmung der unförmigen Baukörper nicht belegbar.

Als größte Einflüsse auf die Vergleichbarkeit des Verfahrens können somit die Form der gebildeten Probekörper und die unterschiedlichen Leitfähigkeiten der Elutionsmittel (Trinkwasser) identifiziert werden, die jedoch in dieser Vergleichsuntersuchung vernachlässigbar erscheinen. Eine hohe Ähnlichkeit der gebildeten Probekörper und der eingesetzten Elutionswässer könnten eine noch bessere Reproduzierbarkeit zwischen den Laboren bewirken.

Um verschiedene Wasserqualitäten als Einflussfaktoren auf die Vergleichbarkeit der inversen Säulenelution auszuschließen, sollten Untersuchungen zur Verwendung von destilliertem Wasser oder destilliertem Wasser mit erhöhter Ionenstärke als Elutionsmittel erfolgen.

13 Zusammenfassung Vergleichsuntersuchung

Die Durchführung der Vergleichsuntersuchung (VU) zur Normierung der **inversen Säulenelution** erfolgte mit 3 Laboren. Es wurden zwei Bauprodukte in jeweils 3 Parallelen mit dem Elutionsmittel Trinkwasser eluiert. Als Parameter wurden TOC, pH-Wert, Leitfähigkeit, Trübe (FNU) und Temperatur sowie Farbe, Geruch und Neigung zur Schaumbildung bestimmt. Zusätzlich wurden in den Eluatens des Bauproduktes Zementleim die Schwermetalle ermittelt.

Die Elutionen des **Polyacrylates** führten zu einem deutlichen Austrag an Inhaltsstoffen. Wesentliche Parameter sind der TOC und die elektrische Leitfähigkeit. Die Parameter elektrische Leitfähigkeit und TOC des **Zementleimes** zeigen hingegen einen geringen Austrag an Inhaltsstoffen an. Chrom war als einziges Schwermetall durch einen nennenswerten Austrag als Parameter für die VU relevant.

Ein wesentliches Ziel der VU bestand in der **Ermittlung von Verfahrenskenndaten** für den inversen Säulenversuch entsprechend der DIN 38402-42. Aus den Einzelfractionen wurde die "90%TOC-Fraktion", die "3 höchsten TOC-Fractionen" und der "Gesamt-TOC" sowie für Zementleim der "Gesamt-Chrom" ermittelt und für die weitere Auswertung herangezogen.

Insgesamt ergaben die ermittelten Vergleichsvariationskoeffizienten akzeptable Reproduzierbarkeiten für die untersuchten Parameter sowohl für Polyacrylat (Injektion) und Zementleim (Einbau). Betrachtet man die Parameter TOC, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit, besitzt die inverse Säulenelution nach Schössner eine **gute Reproduzierbarkeit**, die **Vergleichsvariationskoeffizienten** sind für Polyacrylat und Zementleim $\leq 25\%$. Der Parameter Chrom weist neben der Trübung den größten Vergleichsvariationskoeffizienten mit bis zu 58% auf.

Vergleicht man die unterschiedlich gebildeten Maximalphasen untereinander, stellt man fest, dass die Methode der "3-höchsten-TOC-Fraktion" die beste Vergleichbarkeit zwischen den Laboren liefert.

Als wichtige **Einflussfaktoren** auf die Vergleichbarkeit des Verfahrens konnten die **Form der gebildeten Probekörper** und die unterschiedlichen **Leitfähigkeiten der Elutionsmittel** (Trinkwasser) identifiziert werden.

14 Gesamtzusammenfassung Teil 1 und 2

Entsprechend den Grundsätzen zur „Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ des DIBt sind ökotoxikologische Tests für terrestrische Testsysteme vorzusehen. In zwei aufeinanderfolgenden Forschungsvorhaben wurde die Eignung des Ammoniumoxidationstests (DIN ISO 15685) und Bodenatmungstests (DIN ISO 17155) zur Bewertung der Auswirkung von Bauprodukten (Kanalrohrsanierungsmittel und Bodeninjektionsmittel) auf Böden getestet. Die Ergebnisse dieser Vorhaben haben gezeigt, dass eine von Bauprodukten ausgehende Wirkung auf Bodenorganismen durch die o.g. Testverfahren deutlich aufgezeigt wird.

Ziel dieses weiterführenden Forschungsvorhabens war es, die in den vorhergehenden Vorhaben ebenfalls erarbeiteten Bewertungsmaßstäbe und -kriterien für die Auswirkung von Bauprodukten auf Böden zu validieren.

Es wurden drei Bodeninjektionsmittel, ein Produkt auf Zementleimbasis, ein Polyacrylat und ein Polyurethanharz mittels Säulenelution nach Schössner eluiert. Die gewonnenen Eluate wurden auf einem sandigen Testboden aufgegeben und inkubiert. Die ökotoxikologische Wirkung auf Böden wurde anhand der beiden terrestrischen Testverfahren ermittelt. In einem Versuchsansatz wurde eine Positivkontrolle mitgeführt, bei der dem Boden $2000 \text{ mg Cu kg}^{-1} \text{ TM}$ (als $\text{CuCl}_2 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$) zugesetzt wurden.

Um Fragen der Alterung der durch die Elution mobilisierten Stoffe in den Böden und der Regeneration der Mikroorganismenpopulationen berücksichtigen zu können, wurden die terrestrischen Tests wie in den Vorgängervorhaben nach 3 Monaten wiederholt.

Parallel dazu wurde der Leuchtbakterienlumineszenztest (DIN EN ISO 11348-2), der Algenwachstumshemmtest (DIN 38412-33) und der Abbautest gemäß OECD 301 E (OECD-Screening-Test) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden mit denen der ersten beiden Vorhaben verglichen und ausgewertet.

Die Ergebnisse der ökotoxikologischen Untersuchungen der Bauprodukteluatate ergaben im Leuchtbakterientest keine Toxizität. Im Algentest zeigten nur die Eluate des Polyacrylates eine deutliche Toxizität an. Im Abbautest erwies sich nur der Zementleim als nicht abbaubar.

In den terrestrischen Tests zeigte der Versuchsansatz mit Zementleim nur geringe Wirkungen. In den Versuchsansätzen mit den Polyacrylat-Eluaten wurden in den terrestrischen Tests deutliche Wirkungen beobachtet. Im Nitrifikationstest traten Hemmeffekte bis zu 28 % auf. Dagegen wiesen die Bodenatmungskurven Förderungen bis zu 47 % auf, die auf die gute Abbaubarkeit der Polyacrylateluatate zurückzuführen waren. Damit wurden die Testergebnisse der ersten beiden Vorhaben bestätigt. Eine Auswertung aller bisher erhaltenen Ergebnisse der Polyacrylateluatate ergab eine positive Korrelation des Summenparameters DOC mit den ermittelten Wirkungen in den eingesetzten terrestrischen und aquatischen Ökotoxizitätstest.

Die beiden terrestrischen Testverfahren erwiesen sich wie im Vorläufervorhaben als äußerst sensitiv. Sie zeigten auch kleine Verschiebungen, wie durch die Zementleim-Eluate oder die Eluate der Abklingphase hervorgerufen, deutlich an.

Die mikrobielle Aktivität des Testbodens der Refesol-Kategorie 01 A erwies sich durch einen ungünstigen Entnahmzeitpunkt im Winter als nicht ausreichend. Abweichend wurde deshalb der Referenzboden LUFA 2.3, der eine ausreichende mikrobielle Aktivität aufwies, in den Tests eingesetzt. In allen Testansätzen der Bodenatmung waren jedoch nach zwölfwöchiger Inkubation am Ende der Messphase deutliche Schimmelpilzbeläge auf der Bodenoberfläche sichtbar, die zu Doppelpeaks in allen Testansätzen (incl. Kontrolle) führten. Die Ergebnisse zeigten jedoch, dass trotz der in allen Ansätzen auftretenden Doppelpeaks eine sehr gute Korrelation mit den Ergebnissen der vorhergehenden Polyacrylatuntersuchungen existiert. Ein Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse konnte daher nicht nachgewiesen werden.

Die in den Vorgängervorhaben bereits vorgeschlagenen Bewertungsmaßstäbe werden durch die aktuellen Ergebnisse grundlegend gestützt. Im Bodenatmungstest hat sich der Parameter „kumulative CO₂- Bildung (C_R)“ als sehr zuverlässiger Bewertungsparameter herausgestellt, ebenso wie der Parameter: NO₂ - N – Bildung der potentiellen Nitrifikation.

Die Grenze von 25% Abweichung zur Kontrolle (Hemmung/Förderung) als Bewertungskriterium zur Abschätzung von nicht tolerierbaren Auswirkungen von Bauprodukteluat auf das terrestrische Milieu wird, dem Vorsorgeprinzip entsprechend, weiterhin empfohlen.

Die Bewertungsmaßstäbe und –kriterien sind im Folgenden aufgeführt:

1. potentiellen Nitrifikation - Parameter: NO₂ - N - Bildung

Bewertung: Abweichungen zur Kontrolle sind nicht tolerierbar, wenn die Hemmung der potenziellen Nitrifikation nach 100-tägiger Inkubationszeit mehr als 25 % beträgt. Förderungen der Nitrifikation um mehr als 25 % können im Einzelfall berücksichtigt werden. In Zweifelsfällen ist der Test bei Förderungen zu wiederholen.

Zur Vereinfachung der komplexen Bewertung des Bodenatmungstests aus baurechtlicher Sicht und auf Grundlage der erhaltenen Ergebnisse wird als alleiniger zu bewertender Parameter die „kumulative CO₂- Bildung (C_R)“ vorgeschlagen. Verschiebungen in den bisher mit aufgeführten Bewertungsparametern *Zeitdauer von der Substratzugabe bis zum Peakmaximum* und *Dauer der Lag-Phase* spiegeln sich im Parameter „kumulative CO₂- Bildung“ wieder und werden so mit erfasst.

2. Bodenatmung - Parameter: kumulativen CO₂- Bildung (C_R)

Bewertung: Abweichungen zur Kontrolle sind nicht tolerierbar, wenn die Hemmung der kumulativen CO₂-Bildung nach 100-tägiger Inkubationszeit mehr als 25 % beträgt. Förderungen um mehr als 25 % werden nur dann negativ bewertet, wenn die zugegebene Kohlenstoffmenge

die Förderungen nicht erklärt, das heißt, die geförderte Atmung nicht eindeutig auf Nährstoffeffekte zurückzuführen ist. Förderungen die 25% übersteigen, sollten in Verbindung mit den Ergebnissen des biologischen Abbaus betrachtet werden. Bei unklaren, nicht einzuordnenden stimulierenden Effekten kann eine Wiederholung der Tests erforderlich sein.

Die Tests sind nach 7-tägiger und 100-tägiger Inkubationszeit durchzuführen. Zur Bewertung sind nur die Ergebnisse nach 100-tägiger Inkubationszeit heranzuziehen.

Es wird empfohlen, beide Bodentests in die Testbatterie aufzunehmen. Während der Atmungstest Auskunft über die generelle Wirkung auf die biologische Aktivität der Bodenmikroflora gibt, liefert der Nitrifikationstest Informationen über die Wirkung auf eine äußerst wichtige und sehr empfindliche Spezialistengruppe.

Für die Gesamtbewertung ökotoxikologischer Auswirkungen ist es wichtig beide Bodentest neben den aquatischen Tests und dem Abbautest in die Grundsätze zur "Bewertung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser" aufzunehmen.

Bei der Elution von Bauprodukten kommt es i. d. R. hauptsächlich am ersten Untersuchungstag zu einem Austrag an Inhaltsstoffen der meist am zweiten Tag wieder das Ausgangsniveau des Blindwertes erreicht. Wenn also die allgemeinen Parameter und der TOC/DOC einen typischen Verlauf über die Elutionszeit besitzen, d.h. kurze Zeit nach Elutionsbeginn ansteigen und relativ schnell bis auf das Niveau des umströmenden Elutionswassers fallen, ist es ausreichend, die terrestrischen Tests mit den Eluatn aus der Maximalphase durchzuführen.

Ein weiteres Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die inverse Säulenelution nach Schössner in einem Laborvergleichstest zu überprüfen und die Grundlage für eine Normierung des Elutionsverfahrens zu schaffen. Dabei stand die Absicherung des in den Grundsätzen des DIBt genannten Elutionsverfahrens nach Schössner, als Testmethode zur Bestimmung des Freisetzungsverhaltens von Bauprodukten, im Vordergrund.

Die Durchführung der Vergleichsuntersuchung zur Normierung der inversen Säulenelution erfolgte mit 3 Laboren. Es wurden zwei Bauprodukte (Polyacrylat, Zementleim) in jeweils 3 Parallelen mit dem Elutionsmittel Trinkwasser eluiert. Das Eluat wurde über 3 Tage in 16 Fraktionen pro Säule aufgefangen. Als Parameter wurden TOC, pH-Wert, Leitfähigkeit, Trübe (FNU) und Temperatur sowie Farbe, Geruch und Neigung zur Schaumbildung bestimmt. Zusätzlich wurden in den Eluatn des Bauprodukts Zementleim die Schwermetalle Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn sowie As analysiert.

Grundlage der Vergleichsuntersuchung war die modifizierte Arbeitsanweisung „Elution von Bauprodukten – Perkulationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln“ auf Basis der Qualitätsmanagement-Arbeitsanweisung „Säulenversuch mit umgekehrter Fließrichtung“ (Stand 2003) des Hygieneinstituts Gelsenkirchen. Als qualitätssichernde Maßnahme zur Unterstützung der Bewertung der Ergebnisse der

Vergleichsuntersuchung wurde eine Referenzlösungen mit den relevanten Inhaltsstoffen zeitgleich mit den Bauprodukten versendet.

Die Auswertung der VU erfolgte auf Grundlage der klassischen Statistik nach DIN 38402-42 - Ringversuch zur Verfahrensvalidierung. Die Ergebnisse wurden dabei zu Zwecken der Anonymisierung codiert.

Aus den Ergebnissen der erhaltenen 16 Fraktionen wurde, auf Basis des TOC (Leitparameter) die 3 Fraktionen mit dem höchsten Anteil an TOC und die Fraktionen, die den 90%-Anteil an TOC beinhalten, ausgewählt und rechnerisch vereinigt. Die Parameter dieser so gebildeten "Maximalphasen" wurden, neben dem gesamt eluierten TOC und Chrom, miteinander verglichen. Des Weiteren wurden die Ergebnisse der Untersuchung der Referenzlösung berücksichtigt.

Die Auswertung des Laborvergleichstest ergab für die ermittelten Vergleichsvariationskoeffizienten akzeptable Reproduzierbarkeiten für die untersuchten Parameter sowohl für Polyacrylatinjektion als auch für den Einbau des Zementleims. Betrachtet man die Parameter TOC, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit, besitzt die inverse Säulenelektion nach Schössner eine gute Reproduzierbarkeit, die Vergleichsvariationskoeffizienten sind für Polyacrylat und Zementleim $\leq 25\%$. Die Trübe besitzt auf Grund des niedrigen Messwertebereichs die höchsten Vergleichsvariationskoeffizienten. Die Parameter Geruch, Farbe und Neigung zur Schaumbildung konnten nur eingeschränkt ausgewertet werden. Als Mittelwert wurden die Einstufungen herangezogen, die bei den einzelnen Werten überwogen. Die abgegebenen Einstufungen für diese Parameter besaßen überwiegend gute Übereinstimmungen.

Beim Vergleich der unterschiedlich gebildeten Maximalphasen, erzielt die Maximalphase der 3-höchsten-TOC-Fraktionen die beste Vergleichbarkeit zwischen den Laboren bei den Parametern elektrische Leitfähigkeit und TOC. Die gebildete 90%-TOC Maximalphase besitzt die größten Vergleichsvariationskoeffizienten und damit eine geringere, aber immer noch gute, Reproduzierbarkeit.

Der Parameter Chrom weist neben der Trübung den größten Vergleichsvariationskoeffizienten mit bis zu 58% auf.

Die Ergebnisse der Referenzlösung zeigen insgesamt einen geringen Einfluss der Bestimmungsverfahren auf die erhaltenen Vergleichsvariationskoeffizienten.

Als wichtige Einflussfaktoren auf die Vergleichbarkeit des Verfahrens konnten die Form der gebildeten Probekörper und die unterschiedlichen Leitfähigkeiten der Elutionsmittel (Trinkwasser) identifiziert werden.

Um verschiedene Wasserqualitäten als Einflussfaktoren auf die Vergleichbarkeit der inversen Säulenelektion auszuschließen, sollten Untersuchungen zur Verwendung von destilliertem Wasser oder destilliertem Wasser mit erhöhter Ionenstärke als Elutionsmittel erfolgen.

15 Literaturverzeichnis

- Bartling, J. (2008): Untersuchung abnormer Verläufe von Bodenatmungskurven mit Hilfe von PLFA-Profilen. Diplomarbeit an der Technischen Universität Berlin (unveröffentlicht), Berlin.
- Bussian, B., Kördel, W., Kuhnt, G., Ohnesorge, S. und Weinfurter, K. (2005): Grundlagen eines deutschen Referenzbodensystems. In: Wasser und Boden. Zeitschrift für Wasser- und Abfallwirtschaft, 11/05.
- DIBt (2009): Grundsätze zur "Bewertung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser". Deutsches Institut für Bautechnik. Berlin.
- DIN ISO 17155 (2003): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Abundanz und Aktivität der Bodenmikroflora mit Hilfe von Atmungskurven
- DIN ISO 15685:2001: Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der potentiellen Nitrifizierung. Schnellverfahren mittels Ammoniumoxidation
- DIN 38404-5:2005: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Physikalische und physikalisch-chemische Kenngrößen (Gruppe C) – Teil 5: Bestimmung des pH-Wertes (C 5)
- DIN EN 27888:1993: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit
- DIN EN 1622:2006: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung des Geruchsschwellenwerts (TON) und des Geschmacksschwellenwerts (TFN)
- DIN EN ISO 7887:1994: Wasserbeschaffenheit - Untersuchung und Bestimmung der Färbung
- DIN EN ISO 7027:1999: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Trübung
- DIN EN ISO 11348-2 (1999): Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Hemmwirkung von Wasserproben auf die Lichtemission von *Vibrio fischeri* (Leuchtbakterienluminiszenztest), Verfahren mit flüssig getrockneten Bakterien
- DIN EN ISO 11885 (2008): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von ausgewählten Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-OES)
- DIN 38412-33 (1991): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Testverfahren mit Wasserorganismen (Gruppe L); Bestimmung der nicht giftigen Wirkung von Abwasser gegenüber Grünalgen (*Scenedesmus*-Chlorophyll-Fluoreszenztest) über Verdünnungsstufen
- DIN EN 1484:1997: Wasseranalytik - Anleitungen zur Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) und des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC)

- DIN ISO 15799:2004: Bodenbeschaffenheit. Anleitung ökotoxikologischen Charakterisierung von Böden und Bodenmaterialien
- DIN 38402-42:2005: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Allgemeine Angaben (Gruppe A) - Teil 42: Ringversuche zur Verfahrensvalidierung, Auswertung (A 42)
- Giese, E. (2007): Evaluierung ausgewählter biologischer Testverfahren zur vorsorgeorientierten Beurteilung ökotoxikologischer Wirkungen von Bauprodukten auf Böden. Dissertation, Freie Universität Berlin, Berlin.
- Hygieneinstitut Gelsenkirchen (2003): Qualitätsmanagement - Arbeitsanweisung. Technische Anforderungen. Abteilung Wasserchemie: Säulenversuch mit umgekehrter Fließrichtung (Methode zur Beurteilung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser).
- Martens, J. (1998): Untersuchungen zur Grundwasserkontaminationswirkung verschiedener Injektionsmittel auf Acrylatbasis bei der Abdichtung im Lockergesteinsbaugrund. GCA-Verlag, Darmstadt.
- Merck (2007): Sicherheitsdatenblatt Acrylsäure (800181). Stand vom 23.05.2007, 7 S., www.chemdat.info.
- OECD 301 E/ EN ISO 7827 (1995): OECD Screening Test: Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der vollständigen aeroben biologischen Abbaubarkeit organischer Stoffe in einem wässrigen Medium – Verfahren mittels Analyse des gelösten organischen Kohlenstoffes (DOC); Deutsche Fassung.
- Richardson, M. L. (1985): Nitrification Inhibition in the Treatment of Sewage. RSC, London.
- Schössner, H. und Kunz, H. (2005): Erarbeitung einer standardisierten Methode zur Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten zur Bodeninjektion und Kanalsanierung auf Boden und Grundwasser unter Verwendung des Säulenversuchs mit umgekehrter Fließrichtung. In: Kurzberichte aus der Bauforschung, 46, S. 38-45.
- Terytze, K., Giese, E. und Wagner, R. (2005): Ermittlung und Eignung des Ammoniumoxidations- und Bodenatmungstests zur Bewertung der ökotoxikologischen Auswirkungen von Bauprodukten auf Böden. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- Terytze, K., Giese, E. und Wagner, R. (2007): Validierung des Ammoniumoxidations- und Bodenatmungstests als Bestandteil einer ökotoxikologischen Testbatterie zur Bewertung der ökotoxikologischen Auswirkungen von Bauprodukten auf Böden. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

16 Anhang

Anhang 1	Reagenzien und Geräte Säulenanlage	102
Anhang 2	Aufbau und Funktionsweise Säulenanlage	104
Anhang 3	Aufbau und Funktionsweise Windkesselanlage	107
Anhang 4	Elutionsprotokolle Eluatherstellung für Ökotoxizitätstests	109
Anhang 5	Vereinigung Einzelfractionen zu Mischfractionen (90% TOC/DOC)	117
Anhang 6	Ergebnistabellen Elutionen für Ökotoxizitätstests	119
Anhang 7	Ergebnisse aquatische Ökotoxizitätstests und Abbautest	131
Anhang 8	Arbeitsanweisungen Ringversuch	134
Anhang 9	Ergebnisse Vergleichsuntersuchung Rohdaten	141
Anhang 10	Dokumentation Probekörper	159
Anhang 11	Parametervergleich und graphische Auswertung (Boxplots)	164

Anhang 1 Reagenzien und Geräte Säulenanlage

1.1 Reagenzien

Elutionsmittel: Trinkwasser

Spülflüssigkeiten (zur Reinigung der Glasflaschen, der Säule und der Leitungen): Salpetersäure (zur Analyse) 0,1 mol/l, organische Lösemittel, z. B. Aceton (zur Analyse)

Quarzsand: Quarzsand Frechen, F369

1.2 Geräte

Säule aus Acrylglas: Höhe 50 ± 1 cm und Durchmesser 30 ± 1 cm, Öffnung für Mauerpacker (ca. 20 mm Durchmesser), verdickt und mit Schraubgewinde in einer Höhe von ca. 20 cm (± 1) über dem Säulenboden, Schraubverschluss aus Acrylglas, passend zu dem o.g. Gewinde der Säule

Mauerpacker (Stahlpacker): Maße 170mm x \varnothing 20mm, Spanngummi 70mm mit Außengewinde M10 x 1 und freiem Durchgang \varnothing 6 mm, Unterteil Maße 170mm x \varnothing 20mm, Außengewinde M 10 x 1 und freiem Durchgang \varnothing 6 mm zur Verlängerung, Mutter 6kt – M10 x 1

Vorratsbehälter: Fassungsvermögen 30 (± 5) Liter (Wasserspeicher für die Wasserförderung der Schlauchpumpe mit Trinkwasserzulauf)

Wasserbad: Thermostatisierung des geförderten Wassers auf 20 ± 2 °C

Schlauchpumpe: Peristaltikpumpe mit einer Förderrate von mind. 4l/h und weiteres Zubehör (Pumpenschläuche, Verbindungsschläuche, Schlauchverbinder)

Geräte für die Injektion: Verwendung finden hier die handelsüblichen Injektionspumpen, die auch in der Praxis für das betreffende Produkt eingesetzt werden oder Windkesselanlage

Messbecher: Zur Bestimmung des Volumens der aufgefangenen Fraktionen mit Nennvolumina von 2 Litern.

Sammelflaschen aus Glas: 1 Liter Braunglasflaschen mit PTFE-Inlays oder Glasschliff

Filtrationsvorrichtung: Vakuumfiltrationsgerät (30 kPa bis 70 kPa) oder ein Druckfiltrationsgerät ($< 0,5$ MPa).

⁹ Stoffdaten Quarzsand Frechen F36

Der Frechener Quarzsand ist ein aufbereitetes, in seinen chemischen und physikalischen Kennwerten standardisiertes Produkt. Der Rohsand der Lagerstätte Frechen wird im Tagebau mit Schaufelradbaggern gewonnen. Die Aufbereitung umfasst die Entschlammung, Hydroklassierung und Trocknung des Quarzsandes. Der Frechener Quarzsand zeichnet sich durch hohe chemische Reinheit aus. Sein SiO₂-Gehalt liegt über 99% (Fremdüberwacht nach DIN 4226 HS-Nr.: 2505 10 00). Der Frechener Quarzsand F36 ist eng gestuft mit einer mittleren Korngröße von 0,17 mm und einer spez. Oberfläche von 139 cm²/g.

Membranfilter: Für die Filtration der Eluate mit einer Porengröße von 0,45 µm, vorgespült oder ähnlich gereinigt.

Leitfähigkeitsmessgerät: Fehlergrenzen höchstens 0,1 mS/m.

pH-Wert-Messgerät: Fehlergrenzen höchstens 0,05 pH-Einheiten.

Analysenwaage: Fehlergrenzen höchstens 0,1 g.

Trübungsmessgerät: Zur Bestimmung der Trübe in FNU, Messbereich 0,2 – 1000 FNU

TOC/DOC Messgerät: Zur Bestimmung austragbarer (gelöster) organischer Inhaltsstoffe

Anhang 2 Aufbau und Funktionsweise Säulenanlage

Quelle: Qualitätsmanagement-Arbeitsanweisung: Säulenversuch mit umgekehrter Fließrichtung, Hygieneinstitut Gelsenkirchen (2003)

2.1 Aufbau Säulenanlage

Der Aufbau des Säulenversuches zur Beurteilung von Injektionsmitteln ist in Abbildung 1 dargestellt.

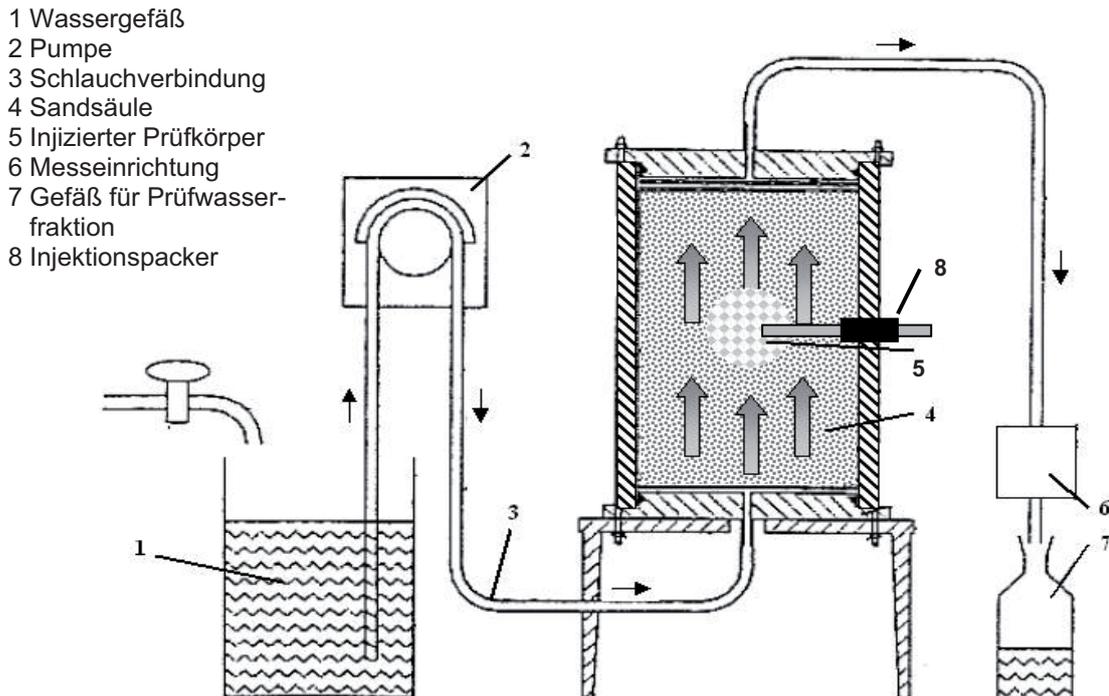


Abbildung 1: Säulenaufbau – Säule mit umgekehrter Fließrichtung

2.1.1 Zusammenbau der Säule

Das Acrylglasrohr wird auf einen der beiden Deckel mit Dichtungsring fest aufgesetzt und das ganze so auf das Stativ gestellt, dass die Schlauchtülle des Deckels durch das Loch in der Stativplatte hindurchreicht und die Bohrungen für die 4 Gewindestangen im Deckel mit denen der Stativplatte übereinstimmen.

2.1.2 Anschluss der Wasserzufuhr

Der Schlauch für die Trinkwasserzufuhr wird auf die untere Schlauchtülle gesteckt und mit dem Förderschlauch der Schlauchpumpe durch ein Verbindungsstück verbunden. Das andere Ende des Förderschlauches der Pumpe wird mit einem weiteren Stück Schlauch verbunden, das dann aus dem Vorratsbehälter das ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) auf Trinkwasser fördert.

2.1.3 Einbau des Mauerpackers (bei Injektion)

Für die Prüfung von Injektionsmaterialien wird vor dem Befüllen der Säule mit Sand der Mauerpacker in die hierfür vorgesehene Öffnung der Säule wasserdicht eingebaut.

2.1.4 Sandfüllung

Als nächstes wird Wasser in die Säule gepumpt (bis etwa zu einem Drittel der Säulenhöhe). Eine Filzscheibe wird auf den Grund der Säule gelegt und dann der Sand nach und nach eingefüllt (bis etwa zu einem Drittel der Säulenhöhe). Durch weiteres Zupumpen des Wassers während des Einfüllens von Sand wird ein möglichst lufttraumfreies Einschlämmen erreicht. Die Säule ist soweit zu füllen, dass die Filzplatte, die Lochplatte aus Stahl und der Deckel dicht auf der Sandfüllung aufliegen.

2.1.5 Schließen der Säule

Mit Hilfe der 4 Gewindestangen werden beide Deckel wasserdicht miteinander und mit der Platte des Stativs verschraubt. Die Schlauchtülle des oberen Deckels wird ebenfalls mit einem Schlauch verbunden, der das aus der Säule austretende Wasser wegleitet (zum Verwerfen in einen Abguss oder später für die Probenahme).

2.2 Funktionsweise Säulenanlage

Das zu untersuchende Bauprodukt wird unter festgelegten Bedingungen in die sandgefüllte Säule injiziert oder per Hand eingebaut und mit dem Elutionsmittel Trinkwasser für mehrere Tage im Aufwärtsstrom bei einer Fließrate von 4 l/h eluiert.

Nach Einbringung des Prüfmaterials und beendeter Reaktion (Aushärtphase) wird die Elution gestartet. Die Reaktionszeit (Gelzeit) ist materialabhängig und muss daher beachtet werden (Herstellerangaben). Das aus der Säule austretende Prüfwasser wird fraktionsweise aufgefangen.

Das Verfahren liefert wässrige Eluate die physikalisch und chemisch nach bestehenden Standardverfahren analysiert werden können.

2.2.1 Spülen der mit Sand gefüllten Säule

Vor dem Einbringen des zu untersuchenden Materials muss die Sandfüllung der Säule 24 Stunden mit Trinkwasser gespült werden. Hierzu wird mit der Pumpe Wasser aus dem Vorratsbehälter von unten nach oben durch die Säule gepumpt (Förderleistung: $4 \pm 0,2$ Liter pro Stunde). Das oben aus der Säule austretende Wasser wird während des Spülvorgangs verworfen.

Nach dem 24-stündigen Spülen wird unmittelbar vor Testbeginn eine Fraktion des Prüfwassers (1 Liter) als Blindwert aufgefangen.

2.2.2 Untersuchungsmaterial

Die zu untersuchende Menge beträgt 1kg (ca. 1L) des zu bewertenden Bauproduktes. Das Bauprodukt ist nach Herstellerangaben anzumischen. Dabei sind die Reaktionszeiten des Produktes zu beachten.

2.2.3 Einbau/Injektion

Das Einbringen von Produkten kann prinzipiell auf zwei verschiedenen Wegen erfolgen.

Einbau: Das in der Säule befindliche Wasser wird bis zur Höhe der Öffnung für den Mauerpacker abgelassen. Der Deckel der sandgefüllten Säule wird geöffnet und der feuchte Sand bis zur Höhe der Öffnung für den Mauerpacker entfernt. In der Mitte wird eine möglichst runde Sandmulde geschaffen die später das Produkt aufnehmen soll.

Die Komponenten des Produktes werden nach Herstellerangaben vorbereitet (z. B. in Lösung gebracht oder abgemessen) und vermischt. 1000 ml des Produktes werden vorsichtig in die Mulde überführt.

Der entnommene Sand wird nach der Hälfte der abgelaufenen Reaktionszeit (Gelzeit) wieder in die Säule gefüllt. Anschließend wird die Säule verschlossen.

Injektion: Die Komponenten des Produktes werden nach Herstellerangaben vorbereitet (z. B. in Lösung gebracht oder abgemessen). Die Probenmenge (z.B. Komponente A + Komponente B) sollte 1000 ml nicht übersteigen.

Bei einem schnell reagierenden Zweikomponenten-System erfolgt die Injektion mit den auch in der Praxis verwendeten Pumpen mit Mischkopf; die Reaktion beginnt im Moment der Injektion (während und nach Passieren des Mauerpackers).

Bei Zweikomponenten-Systemen, die langsam reagieren, werden die Komponenten vorgemischt. Die anschließende Injektion kann dann mit einer einfachen Pumpe durchgeführt werden.

Eine Alternative zu Injektionspumpen stellt die Verwendung der Windkesselanlage (WKA) zur Injektion dar. Hier werden die einzelnen Komponenten vorgemischt und dann direkt in der WKA vereinigt und nach geringer Zeit mit Druck injiziert (vgl. Anhang 3).

2.2.4 Perkolation und Probenahme

Nach Ende der Reaktionszeit wird die Durchströmung der Säule ($4 \pm 0,2$ Liter) gestartet und das austretende Prüfwasser sofort in Fraktionen von je $2 (\pm 0,1)$ Liter (Gefäße: 2-Liter-Messbecher) aufgefangen. Die 2-Liter-Mischfraktionen werden dann jeweils in eine 1-Liter Flasche umgefüllt.

Dabei findet eine kontinuierliche Probenahme der 2-Liter-Fraktionen während der ersten 6 bis 8 Stunden nach Start der Durchströmung statt.

Am 2. bis 8. Tag ist die Entnahme von jeweils 2 Proben (je $1 \pm 0,1$ Liter) im Abstand von ca. 8 Stunden vorzunehmen.

Am 14. Tag ist die Entnahme von jeweils 2 Proben (je $1 \pm 0,1$ Liter) im Abstand von ca. 8 Stunden zur Bestimmung der „Abklingphase“ vorzunehmen. Bei mineralischen Systemen werden die Fraktionen der Abklingphase nach einer Versuchsdauer von 28 Tagen entnommen.

Die abgefüllten Proben werden bis zur weiteren Verwendung kühl (4 bis 8°C) aufbewahrt.

Anhang 3 Aufbau und Funktionsweise Windkesselanlage

3.1 Aufbau

Der Aufbau der Windkesselanlage ist der Abbildung 1 zu entnehmen. Im Wesentlichen besteht sie aus folgenden Einzelteilen (vgl. Abb. 1):

- PMMA Zylinder DI = 140 mm, h = 200 mm
- Glaszylinder DI = 118 mm, h = 140 mm zur Aufnahme des Injektionsmaterials
- quadratische Grundplatte aus Aluminium unten ohne Öffnung
- quadratische Grundplatte aus Aluminium oben mit mittiger Öffnung \varnothing 110 mm
- Druckdeckel mit integriertem Ansaugrohr / Überlaufschlauch und einer Lufteinlassöffnung, die mit der Druckluftanlage verbunden ist; der Deckel wird über 2 Schnellspannverschlüsse gegen die obere Grundplatte verspannt.

Die Grundplatten sind über 4 Gewindestäbe miteinander verspannt.

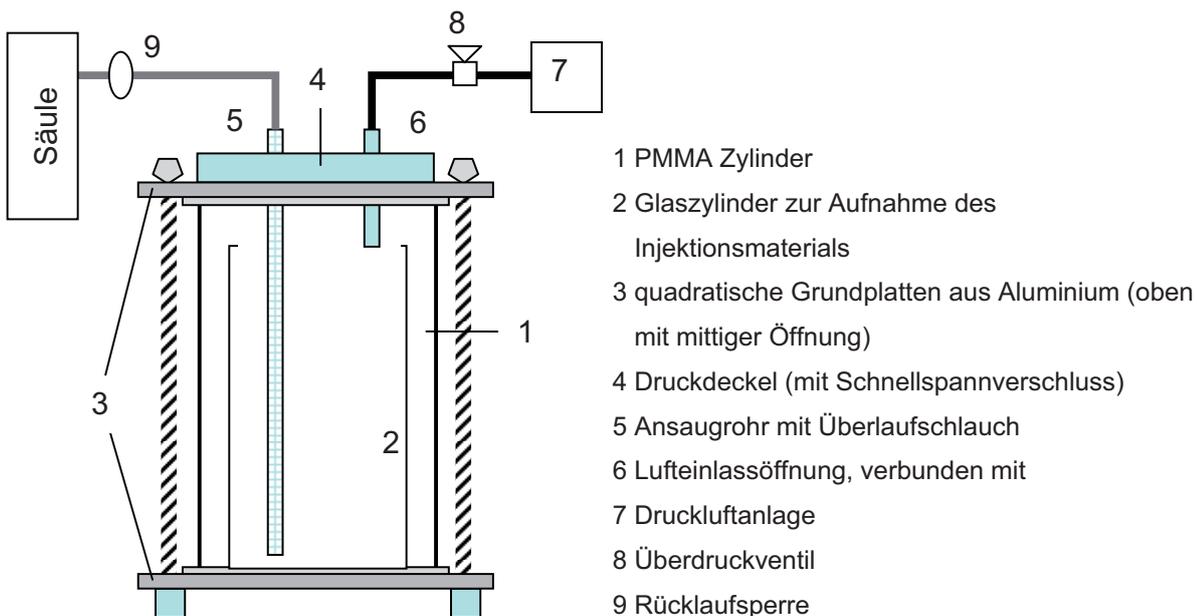


Abbildung 1: Windkesselanlage (WKA)

3.2 Funktionsweise

Die Windkesselanlage wird mit der Säule über den Überlaufschlauch verbunden. Die zu untersuchende Probe wird je nach Bauprodukt und Aushärtezeit im angemischten Zustand oder als Teilkomponente in das Aufnahmegefäß gegeben (und dort erst angemischt (z.B. bei schnell reagierenden Systemen)). Die Windkesselanlage wird verschlossen und ein Druck von 1 - 4 bar

angelegt (kann durch Vorversuche ermittelt werden). Das flüssige Produkt wird auf diese Weise in die Säule injiziert. Das Überdruckventil wird als Sicherung eingesetzt, wenn das Produkt z.B. auf Grund von Verstopfung des Mauerpackers nicht injiziert werden kann und ein Druckablass notwendig wird. Die Rücklaufsperrung ist bei erfolgter Injektion sofort zu schließen, um einen Rücklauf des Produktes aus der Säule in die Windkesselanlage zu vermeiden. Nach erfolgter Injektion ist das Ansaugrohr sowie der Glaszylinder zu reinigen.

Anhang 4 Elutionsprotokolle Eluatherstellung für Ökotoxikologische Tests

Bauprodukt	Zementleim		
	A	B	C
Datum Beginn der Prüfung	12.03.2009	12.03.2009	12.03.2009
Datum Ende der Prüfung	18.03.2009	18.03.2009	18.03.2009
Anzahl der Parallelen	3		
Anzahl Probe je Parallele (incl. BW)	22	22	22
Dauer der Elution [h]	ca. 142	ca. 142	ca. 142
Raumtemperatur [°C]	18	18	18
Dauer Spülung Sandsäule [h]	24	24	24
Abnahme Bindwert (Datum, Zeit)	12.03.2009, 08:07		
abgepumptes Wasser [L]	8	8	8
Start Aushärtezeit	09:50	09:50	09:50
Zeitpunkt Einbau des Bauprodukts in die Säule	10:19	10:21	10:23
Start Auf sättigung und Elution	12:11	12:11	12:11
Volumen /Masse eingebautes Bauprodukt [ml]	1000	1000	1000
Masse Injektionskörper [g]	1658	1602	1607
Volumen Injektionskörper [ml]	839	1344	1175
Abmessungen Injektionskörper	Ø 165 mm / h 65 mm	Ø 165 mm / h 90 mm	Ø 180 mm /h 75 mm
Beschreibung Injektionskörper	kalottenkörnig, ebene Fläche ist Oberseite, zur Mitte hin etwas eingefallen	kalottenkörnig, ebene Fläche ist Oberseite, zur Mitte hin etwas eingefallen	kalottenkörnig, ebene Fläche ist Oberseite, zur Mitte hin etwas eingefallen

Baukörper – Zementleim (12.03.2009)



Säule A

Säule B

Säule C

Bauprodukt
Polyurethan-Harz

	Parallelen (Säule)		
	A	B	C
Datum Beginn der Prüfung	20.04.2009	20.04.2009	20.04.2009
Datum Ende der Prüfung	23.04.2009	23.04.2009	23.04.2009
Anzahl der Parallelen	3		
Anzahl Probe je Parallele (incl. BW)	18	18	18
Dauer der Elution [h]	68,5	68,5	68,5
Raumtemperatur [°C]	18	18	18
Dauer Spülung Sandsäule [h]	24	24	24
Abnahme Bindwert (Datum, Zeit)	08:55	08:55	08:55
abgepumptes Wasser [L]	ca. 5, Wasserstand nach dem Abpumpen unter Packer	ca. 5, Wasserstand nach dem Abpumpen unter Packer	ca. 5, Wasserstand nach dem Abpumpen unter Packer
Start Aushärtezeit	11:12	11:12	11:12
Zeitpunkt Injektion des Bauprodukts in die Säule	(Einbau von Hand) 11:35	11:15	11:16
Start Aufsättigung und Elution	12:40	12:20	12:20
Volumen /Masse eingebautes Bauprodukt [ml]	500	500	500
Masse Injektionskörper [g]	2299	3402	3696
Volumen Injektionskörper [ml]	2100	2150	2300
Abmessungen Injektionskörper LängexHöhexBreite [cm]	18 x 12.5 x 20 _{Oberseite / 3Unterseite}	21.5 x 17.5 x 9	24 x 18 x 9
Beschreibung Injektionskörper	kegelförmig mit schmal zulaufender Spitze an der Unterseite, kalottenförmige Einrundung an der Oberseite, der Körper ist mit Hohlräumen durchzogen	im weitesten Sinne kugelförmige Ausbildung, sehr unförmig mit vielen kleinen unregelmäßigen Ausbeulungen, der ganze Packer ist von einem PU-Harz/Sand Gemisch umschlossen	im weitesten Sinne kugelförmige Ausbildung, sehr unförmig mit vielen kleinen unregelmäßigen Ausbeulungen, der ganze Packer ist von einem PU-Harz/Sand Gemisch umschlossen

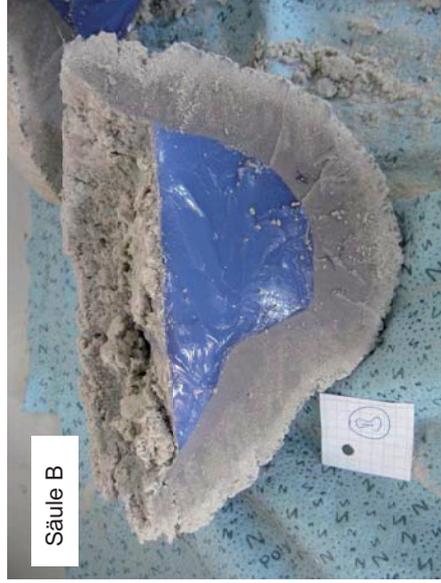
Baukörper – Polyurethan-Harz



Bauprodukt Polyacrylat - Polyacrylat I (PAC I)

	Parallelen (Säule)		
	A	B	C
Datum Beginn der Prüfung	26.03.2009	26.03.2009	26.03.2009
Datum Ende der Prüfung	30.03.2009	30.03.2009	30.03.2009
Anzahl der Parallelen	3		
Anzahl Probe je Parallele (incl. BW)	20	20	20
Dauer der Elution [h]	100	100	100
Raumtemperatur [°C]	18	18	18
Dauer Spülung Sandsäule [h]	24	24	24
Abnahme Bindwert (Datum, Zeit)	26.03.2009, 09:37		26.03.2009, 09:37
abgepumptes Wasser [L]	ca. 5, Wasserstand nach dem Abpumpen unter Packer		ca. 5, Wasserstand nach dem Abpumpen unter Packer
Start Aushärtezeit	13:18	13:15	13:12
Zeitpunkt Einbau des Bauprodukts in die Säule	13:18	13:15	13:12
Start Aufsättigung und Elution	13:26	13:23	13:20
Volumen /Masse eingebautes Bauprodukt [ml]	1000	1000	1000
Masse Injektionskörper [g]	2197	3049	1704
Volumen Injektionskörper [ml]	1600	1970	1340
Abmessungen Injektionskörper	Ø 615 mm / h 70 mm	Ø 645 mm / h 13 mm	Ø 573 mm/ h 71 mm
Beschreibung Injektionskörper	unförmig: ebene Oberseite, runder an der Unterseite flach abschließender Körper mit einseitiger Ausbeulung	ähnlich wie ein Kegel mit abgerundeter Spitze an der Unterseite	unförmig: ebene Oberseite, runder an der Unterseite flach abschließender Körper mit einseitiger Ausbeulung

Baukörper – Polyacrylat (PAC I)



Bauprodukt Polyacrylat - Polyacrylat III (PAC III)

	Parallelen (Säule)		
	A	B	C
Datum Beginn der Prüfung	22.06.2009	22.06.2009	22.06.2009
Datum Ende der Prüfung	25.06.2009	25.06.2009	25.06.2009
Anzahl der Parallelen	3		
Anzahl Probe je Parallele (incl. BW)	18	18	18
Dauer der Elution [h]	68,5	68,5	68,5
Raumtemperatur [°C]	18	18	18
Dauer Spülung Sandsäule [h]	24	24	24
Abnahme Bindwert (Datum, Zeit)	22.06.2009, 10:10	22.06.2009, 10:10	22.06.2009, 10:10
abgepumptes Wasser (L)	1,1	1	1
Start Aushärtezeit	11:33	11:54	12:20
Zeitpunkt Injektion des Bauprodukts in die Säule	11:33	11:55	12:21
Start Aufsättigung und Elution	11:35	11:57	12:22
Volumen /Masse eingebautes Bauprodukt [g]	1019.71	1035.16	1021.48
Menge nicht-injiziertes Bauprodukt in Verbindungsschlauch und Becherglas [g]	71,47	56,47	62,47
Masse Injektionskörper [g]	3880	4584	3910
Volumen Injektionskörper [ml]	2250	2375	2250
Abmessungen Injektionskörper LängexHöhhexBreite [cm]	20.5 x 15 x 15	15 x 23.5 x 18	23 x 13 x 17.5
Beschreibung Injektionskörper	kugelförmig, an der Unterseite ein bisschen abgeflacht, Ausbeulung entlang des Packers	kugelförmig mit spitz zulaufender Ausbeulung an der Oberseite, die obere Hälfte ist von Hohlräumen durchzogen	kugelförmig, an der Unterseite ein bisschen abgeflacht, starke Ausbeulung entlang des Packers

Baukörper – Polyacrylat PAC III



Anhang 5 Vereinigung Einzelfraktionen zu Mischfraktionen (90% TOC/DOC)

1 Allgemein

Für die Vereinigung der Eluatfraktionen zu einer Mischfraktion ist der 90% Anteil des gesamten eluierbaren TOC/DOC heranzuziehen. Alle Einzelfraktionen mit einem TOC/DOC > 5 mg/l werden in die Berechnung mit einbezogen. Die Grenze von 5 mg/l kann jedoch bauproduktspezifisch und je nach Höhe des eluierten TOC/DOC variieren. Bei geringen TOC/DOC Konzentrationen (z.B. bei Zementleim) kann eine zu niedrige TOC/DOC Grenze zu starken Verdünnungen und somit zu einer ungewünschten Verringerung der TOC/DOC Konzentration in der 90%-TOC/DOC-Phase (Maximalphase) führen.

2 Bestimmung der 90% Maximalphase

Von der ermittelten TOC/DOC-Konzentration pro Fraktion wird die Summe an gesamt eluiertem TOC/DOC gebildet und der 90% Anteil bestimmt. Ausgehend von der höchsten TOC/DOC-Konzentration werden solange die Einzelfraktionen zusammengefasst bis 90 ± 5 % des Gesamt-TOC/DOC erreicht sind. Das Ziel ist, den 90% Anteil so gut es geht zu erfassen. Im Einzelfall ist zu prüfen, ob eine Unter- oder Überschreitung eine bessere Annäherung an die 90%-Grenze liefert. Die ausgewählten Fraktionen werden in gleichen Teilen zu einer Maximalphase vereinigt, je nach erforderlicher Eluatmenge.

Die gebildete Maximalphase repräsentiert somit 90% des Gesamt-TOC/DOC. In Abbildung 1 ist beispielhaft die Verreinigung der Einzelfraktionen zur 90%-DOC-Maximalphase aufgeführt. In diesem Beispiel repräsentieren die durch dieses Vorgehen gebildete Maximalphasen 88 – 93 % des Gesamt-DOC. Die DOC-Grenze für die Summenberechnung liegt hier bei 5 mg/l. Alle Fraktionen die darunter liegen, wurden nicht in die Summenberechnung einbezogen.

3 Abklingphase

Aus den nachfolgenden Fraktionen, die nicht zur Bildung der Maximalphase herangezogen wurden, ist die Abklingphase zu bilden. Dabei werden alle Fraktionen herangezogen die eine TOC/DOC-Konzentration \leq der TOC/DOC-Grenze für die Summenberechnung aufweisen.

Fraktion	DOC in mg/l					
	Säule A		Säule B		Säule C	
BW	3,4		3,2		3,4	
1	4,1		11,1		5	
2	6,4		85		40	
3	17,5		215		60	
4	50		225		80	
5	80		225		105	
6	105		205		100	
7	115		175		90	
8	103		160		70	
9	87		124		47	
10	70		95	1509	38	630
11	60		79		25	
12	45	715	65		20	
13	8				7	
14	6,6				6,7	
15	6,7				6,5	
16	6				5,5	
17	5,5				4,5	
18	4,5		5,3		4,5	
19	4,6		4,1		4,5	
Summe DOC die in Berechnung eingeht [mg/l]						
	771,7		1719,6		705,7	
90% DOC-Grenze [mg/l]						
	694,53		1547,64		635,13	
Anteil DOC der gebildeten Mischfraktion von Summe DOC [%]						
	92,7		87,8		89,3	

Abbildung 1: Rechnerische Bildung der 90% Fraktion (Maximalphase)

Anhang 6 Ergebnistabellen Elutionen für Ökotox

Messprotokoll Säulenversuch - Ergebnisse Parameteruntersuchung
Bestimmung des Auslaugverhaltens von Bauprodukten - Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und GW

Säule A Zementleim

Entnahme- datum	Entnahme- zeitpunkt	Fraktion	Volumen [ml]	Temp. [°C]	pH- Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
12.03.2009	08:07	BW-A	2010	20,7	7,98	633	0,11	geruchlos	keine	nein	3,3	3,2
12.03.2009	12:48	ZL-A-1	2000	20,3	8,31	651	3,92	geruchlos	keine	nein	8,5	9,1
12.03.2009	13:18	ZL-A-2	2000	20,5	8,28	952	2,03	geruchlos	keine	nein	46	40,5
12.03.2009	13:48	ZL-A-3	1975	20,6	8,74	877	0,61	geruchlos	keine	sehr schwach	37	33
12.03.2009	14:18	ZL-A-4	2010	20,9	9,27	777	0,27	geruchlos	keine	nein	21	21
12.03.2009	14:48	ZL-A-5	2030	21,1	9,35	711	1,81	geruchlos	keine	nein	15,5	15,5
12.03.2009	15:18	ZL-A-6	2010	21,4	9,32	678	3,42	geruchlos	keine	nein	11,5	11,6
12.03.2009	15:48	ZL-A-7	2000	21,4	9,24	659	1,96	geruchlos	keine	nein	10,5	10,2
12.03.2009	16:18	ZL-A-8	2040	21,4	9,15	644	0,93	geruchlos	keine	nein	10,2	9,3
12.03.2009	16:48	ZL-A-9	2000	21,3	9,08	643	0,75	geruchlos	keine	nein	9,2	9
12.03.2009	17:18	ZL-A-10	2010	21,3	9,03	638	0,83	geruchlos	keine	nein	9,8	8
12.03.2009	17:48	ZL-A-11	2010	21,1	8,97	640	0,76	geruchlos	keine	nein	3,1	7,4
12.03.2009	18:18	ZL-A-12	2020	20,9	8,93	643	0,69	geruchlos	keine	nein	6,7	9,6
13.03.2009	10:15	ZL-A-13	2000	20,3	8,45	614	0,11	org. schwach, faule Eier	keine	nein	4,3	3,8
13.03.2009	14:15	ZL-A-14	2010	20,4	8,38	615	0,31	org. deutlich, faule Eier	keine	nein	3,7	3,5
13.03.2009	18:15	ZL-A-15	2030	21	8,26	620	0,29	org. deutlich, faule Eier	keine	nein	3,9	4
14.03.2009	10:42	ZL-A-16	2080	20,9	8,10	617	0,10	org. schwach, faule Eier	keine	nein	3,8	3,9
15.03.2009	10:55	ZL-A-17	1990	19,9	8,14	620	0,10	org. sehr schwach, faule Eier	keine	nein	3,5	3,4
16.03.2009	09:55	ZL-A-18	2050	19,8	8,03	628	1,27	geruchlos	keine	nein	3,8	5,7
16.03.2009	17:55	ZL-A-19	2070	19,1	8,08	647	0,25	geruchlos	keine	nein	4	3,9
17.03.2009	09:55	ZL-A-20	2050	19,9	7,92	613	0,29	geruchlos	keine	nein	3,2	3,8
18.03.2009	09:56	ZL-A-21	1940	20	8,12	616	0,42	geruchlos	keine	nein	3,7	3,6

Messprotokoll Säulenversuch - Ergebnisse Parameteruntersuchung
Bestimmung des Auslaugverhaltens von Bauprodukten - Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und GW

Säule B Zementleim

Entnahme- datum	Entnahme- zeitpunkt	Fraktion	Volumen [ml]	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
12.03.2009	08:07	BW-B	2000	20,6	7,88	633	0,12	geruchlos	keine	keine	3,5	3,5
12.03.2009	12:48	ZL-B-1	1750	20,3	8,27	591	10,25	geruchlos	keine	keine	4,7	4,9
12.03.2009	13:18	ZL-B-2	1850	20,6	8,25	741	0,1	geruchlos	keine	keine	18,5	14
12.03.2009	13:48	ZL-B-3	1950	20,7	8,21	899	0,96	geruchlos	keine	keine	40	32
12.03.2009	14:18	ZL-B-4	2000	21	8,33	867	3,1	geruchlos	keine	keine	32,5	32
12.03.2009	14:48	ZL-B-5	1990	21,2	8,93	789	0,98	geruchlos	keine	keine	24	26
12.03.2009	15:18	ZL-B-6	2000	21,5	9,05	726	0,42	geruchlos	keine	keine	15,8	15,5
12.03.2009	15:48	ZL-B-7	2000	21,7	9,05	693	0,43	geruchlos	keine	keine	12,8	13,5
12.03.2009	16:18	ZL-B-8	1970	21,5	8,79	678	0,4	geruchlos	keine	keine	11,2	11,1
12.03.2009	16:48	ZL-B-9	1970	21,5	8,88	666	0,46	geruchlos	keine	keine	9,7	9,8
12.03.2009	17:18	ZL-B-10	1950	21,4	8,84	666	0,48	geruchlos	keine	keine	8,5	9,1
12.03.2009	17:48	ZL-B-11	1960	21,3	8,80	658	0,49	geruchlos	keine	keine	3,4	7,9
12.03.2009	18:18	ZL-B-12	1960	21,1	8,77	660	0,51	geruchlos	keine	keine	6,8	7,6
13.03.2009	18:18	ZL-B-13	2050	20,5	8,41	623	0,45	org. deutlich, faule Eier	keine	keine	3,8	3,6
13.03.2009	14:15	ZL-B-14	2090	20,3	8,27	620	0,14	org. schwach, faule Eier	keine	keine	3,7	3,5
13.03.2009	18:15	ZL-B-15	2020	20,9	8,11	627	0,22	org. deutlich, faule Eier	keine	keine	3,9	4
14.03.2009	10:42	ZL-B-16	2100	20,7	7,98	618	0,24	org. schwach, faule Eier	keine	keine	3,9	3,8
15.03.2009	10:55	ZL-B-17	2080	19,9	8,06	620	0,15	org. sehr schwach, faule Eier	keine	keine	3,8	3,2
16.03.2009	09:55	ZL-B-18	2100	19,5	8,04	627	0,26	org. sehr schwach, faule Eier	keine	keine	3,6	3,4
16.03.2009	17:55	ZL-B-19	2070	19	8,02	649	0,21	gerucklos	keine	keine	3,5	4,2
17.03.2009	09:55	ZL-B-20	2050	19,8	8,07	614	0,22	geruchlos	keine	keine	3,2	3,3
18.03.2009	09:56	ZL-B-21	2000	19,8	7,97	617	0,99	geruchlos	keine	keine	3,3	3,3

Messprotokoll Säulenversuch - Ergebnisse Parameteruntersuchung
Bestimmung des Auslaugverhaltens von Bauprodukten - Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und GW

Säule C Zementleim

Entnahmedatum	Entnahmezeitpunkt	Fraktion	Volumen [ml]	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. $\mu\text{S/cm}$	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
12.03.2009	08:07	BW-C	2050	20,5	7,85	633	0,19	geruchlos	keine	keine	3,9	3,2
12.03.2009	12:48	ZL-C-1	2000	20,3	8,32	602	12,06	geruchlos	keine	keine	5,1	6,5
12.03.2009	13:18	ZL-C-2	1900	20,4	8,27	905	0,85	geruchlos	keine	keine	41,5	36
12.03.2009	13:48	ZL-C-3	1950	20,7	8,31	872	0,60	geruchlos	keine	keine	36	31
12.03.2009	14:18	ZL-C-4	2030	21	8,90	782	0,43	geruchlos	keine	keine	24	21
12.03.2009	14:48	ZL-C-5	2010	20,9	9,08	723	0,19	geruchlos	keine	keine	18	18
12.03.2009	15:18	ZL-C-6	2020	21,2	9,14	691	0,32	geruchlos	keine	keine	12,5	12,3
12.03.2009	15:48	ZL-C-7	2000	21,2	9,09	674	0,45	geruchlos	keine	keine	11,2	10,8
12.03.2009	16:18	ZL-C-8	2020	21,2	8,99	659	0,41	geruchlos	keine	keine	9,3	9,7
12.03.2009	16:48	ZL-C-9	2000	21,2	8,94	658	0,55	geruchlos	keine	keine	10,2	9,2
12.03.2009	17:18	ZL-C-10	1990	21,1	8,89	652	0,57	geruchlos	keine	keine	7,9	11,3
12.03.2009	17:48	ZL-C-11	2000	21	8,78	652	0,49	geruchlos	keine	keine	3,8	7,1
12.03.2009	18:18	ZL-C-12	2000	20,9	8,84	650	0,53	geruchlos	keine	keine	8,3	7,3
13.03.2009	10:15	ZL-C-13	2050	20,4	8,42	618	0,13	org. schwach, faule Eier	keine	keine	4,0	3,6
13.03.2009	14:15	ZL-C-14	2090	20,3	8,32	617	0,07	org. schwach, faule Eier	keine	keine	4,3	4
13.03.2009	18:15	ZL-C-15	2030	20,7	8,21	623		org. deutlich, faule Eier	keine	keine	4,0	4,3
14.03.2009	10:42	ZL-C-16	2100	20,6	8,01	617	0,17	org. schwach, faule Eier	keine	keine	3,5	3,4
15.03.2009	10:55	ZL-C-17	2050	19,7	8,06	620	0,10	org. sehr schwach, faule Eier	keine	keine	4,0	3,5
16.03.2009	09:55	ZL-C-18	2000	19,5	7,98	626	0,18	org. sehr schwach, faule Eier	keine	keine	3,7	3,4
16.03.2009	17:55	ZL-C-19	2100	19	7,98	648	0,28	geruchlos	keine	keine	3,6	4,2
17.03.2009	09:55	ZL-C-20	2100	19,6	8,01	614	0,35	geruchlos	keine	keine	3,2	3,3
18.03.2009	09:56	ZL-C-21	2000	19,6	7,96	616	0,46	geruchlos	keine	keine	3,5	3,3

Messprotokoll Säulenversuch - Ergebnisse Parameteruntersuchung
Bestimmung des Auslaugverhaltens von Bauprodukten - Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und GW

Säule A Polyurethan

Entnahme- datum	Entnahme- zeitpunkt	Fraktion	Volumen [ml]	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
20.04.2009	08:55	BW-A	1950	21,1	8,07	617	0,10	geruchlos	keine	keine		2,6
20.04.2009	13:30	PU-A-1	1875	20,8	5,62	744	22,20	schwach leimig	keine	keine		4,6
20.04.2009	14:00	PU-A-2	1990	21,3	5,57	638	8,20	schwach leimig	keine	keine	2,5	2,8
20.04.2009	14:30	PU-A-3	2100	21,5	5,82	612	2,98	schwach leimig	keine	keine	3,0	3,1
20.04.2009	15:00	PU-A-4	1900	21,6	6,05	627	2,57	schwach leimig	keine	keine	2,9	3,2
20.04.2009	15:30	PU-A-5	2025	21,7	6,26	637	1,43	schwach leimig	keine	keine	3,1	3,2
20.04.2009	16:00	PU-A-6	2000	21,5	6,37	642	1,22	schwach leimig	keine	keine	3,2	3,5
20.04.2009	16:30	PU-A-7	1950	21,5	6,46	644	0,63	schwach leimig	keine	keine	3,2	2,5
20.04.2009	17:00	PU-A-8	2000	21,5	6,51	645	0,36	schwach leimig	keine	keine	3,3	2,6
20.04.2009	17:30	PU-A-9	2000	21,4	6,57	645	0,09	schwach leimig	keine	keine	3,3	3,0
20.04.2009	18:00	PU-A-10	2000	21,5	6,62	646	0,09	schwach leimig	keine	keine	3,8	2,7
20.04.2009	18:30	PU-A-11	2000	21,5	6,63	647	0,14	schwach leimig	keine	keine	3,6	2,7
20.04.2009	19:00	PU-A-12	2000	21,7	6,66	648	0,30	schwach leimig	keine	keine	3,7	2,9
21.04.2009	09:30	PU-A-13	2000	21,1	7,34	645	0,14	sehr schwach leimig	keine	sehr schwach	4,1	3,5
21.04.2009	17:00	PU-A-14	2020	21,7	7,46	646	0,06	sehr schwach leimig	keine	keine	3,5	3,0
22.04.2009	10:00	PU-A-15	2000	21,7	7,69	642	0,06	sehr schwach leimig	keine	keine	4,4	3,3
22.04.2009	17:30	PU-A-16	2000	21,5	7,58	646	0,09	geruchlos	keine	keine	4,0	3,1
23.04.2009	09:30	PU-A-17	1950	21,2	7,67	642	0,10	geruchlos	keine	keine	4,8	2,9

Messprotokoll Säulenversuch - Ergebnisse Parameteruntersuchung
Bestimmung des Auslaugverhaltens von Bauprodukten - Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und GW

Säule B Polyurethan

Entnahmedatum	Entnahmezeitpunkt	Fraktion	Volumen [ml]	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. $\mu\text{S/cm}$	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
20.04.2009	08:55	BW-B	2400	21,1	7,92	610	0,15	geruchlos	keine	keine		2,8
20.04.2009	13:30	PU-B-1	2025	20,8	5,96	710	1,47	schwach leimig	keine	keine		3,0
20.04.2009	14:00	PU-B-2	2100	20,4	6,21	702	0,80	schwach leimig	keine	keine	2,5	2,8
20.04.2009	14:30	PU-B-3	2150	21,3	5,92	665	0,18	deutlich leimig	keine	keine	2,5	3,5
20.04.2009	15:00	PU-B-4	2100	21,4	5,9	604	0,35	schwach leimig	keine	keine	3,0	3,1
20.04.2009	15:30	PU-B-5	2025	21,5	6,19	614	0,36	schwach leimig	keine	keine	3,5	3,3
20.04.2009	16:00	PU-B-6	2010	21,5	6,33	636	0,50	schwach leimig	keine	keine	3,6	3,5
20.04.2009	16:30	PU-B-7	2075	21,2	6,35	639	0,19	schwach leimig	keine	keine	3,5	3,0
20.04.2009	17:00	PU-B-8	1300	21,2	6,38	640	0,28	schwach leimig	keine	keine	3,6	3,7
20.04.2009	17:30	PU-B-9	2020	21,4	6,4	642	0,09	schwach leimig	keine	keine	3,5	3,6
20.04.2009	18:00	PU-B-10	2025	21,2	6,43	642	0,16	schwach leimig	keine	keine	3,5	2,8
20.04.2009	18:30	PU-B-11	2000	21,3	6,44	644	0,17	schwach leimig	keine	keine	4,1	3,0
20.04.2009	19:00	PU-B-12	2000	21,4	6,48	640	0,06	schwach leimig	keine	keine	4,1	4,1
21.04.2009	09:30	PU-B-13	1950	20,8	7,17	645	0,47	sehr schwach leimig	keine	keine	4,0	3,2
21.04.2009	17:00	PU-B-14	2080	21,6	7,35	646	0,53	sehr schwach leimig	keine	keine	4,0	3,2
22.04.2009	10:00	PU-B-15	2050	21,6	7,45	643	0,10	sehr schwach leimig	keine	keine	4,3	3,1
22.04.2009	17:30	PU-B-16	1950	21,3	7,51	646	0,08	geruchlos	keine	keine	5,3	3,2
23.04.2009	09:30	PU-B-17	1910	21,0	7,62	643	0,11	geruchlos	keine	keine	4,3	3,4

Messprotokoll Säulenversuch - Ergebnisse Parameteruntersuchung
Bestimmung des Auslagerverhaltens von Bauprodukten - Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und GW

Säule C Polyurethan

Entnahme- datum	Entnahme- zeitpunkt	Fraktion	Volumen [ml]	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
20.04.2009	08:55	BW-C	1600	20,6	7,95	619	0,16	geruchlos	keine	keine		3,0
20.04.2009	13:30	PU-C-1	2090	20,9	5,64	746	0,71	schwach leimig	keine	keine		3,3
20.04.2009	14:00	PU-C-2	2100	21,1	5,57	684	0,65	schwach leimig	keine	keine	2,3	2,8
20.04.2009	14:30	PU-C-3	2100	21,3	5,59	612	0,31	schwach leimig	keine	keine	2,5	3,0
20.04.2009	15:00	PU-C-4	2100	21,4	5,78	612	0,16	schwach leimig	keine	keine	2,9	3,7
20.04.2009	15:30	PU-C-5	2025	21,5	6,01	628	0,36	schwach leimig	keine	keine	3,1	3,3
20.04.2009	16:00	PU-C-6	2040	21,5	6,09	630	0,32	schwach leimig	keine	keine	3,1	4,2
20.04.2009	16:30	PU-C-7	2100	21,3	6,15	635	0,09	schwach leimig	keine	keine	3,2	3,7
20.04.2009	17:00	PU-C-8	2000	21,3	6,22	638	0,25	schwach leimig	keine	keine	3,3	3,3
20.04.2009	17:30	PU-C-9	2030	21,4	6,42	641	0,07	schwach leimig	keine	keine	3,5	3,0
20.04.2009	18:00	PU-C-10	2025	21,1	6,28	642	0,16	schwach leimig	keine	keine	3,6	2,8
20.04.2009	18:30	PU-C-11	2025	21,3	6,31	643	0,29	schwach leimig	keine	keine	3,7	2,7
20.04.2009	19:00	PU-C-12	2000	21,3	6,33	644	0,09	schwach leimig	keine	keine	4,1	3,2
21.04.2009	09:30	PU-C-13	2000	20,8	7,01	645	0,05	sehr schwach leimig	keine	keine	4,1	3,1
21.04.2009	17:00	PU-C-14	2120	21,5	7,21	647	0,08	sehr schwach leimig	keine	keine	4,0	3,0
22.04.2009	10:00	PU-C-15	2050	21,5	7,25	643	0,09	sehr schwach leimig	keine	keine	4,3	3,3
22.04.2009	17:30	PU-C-16	2000	21,4	7,27	647	0,07	geruchlos	keine	keine	4,2	3,1
23.04.2009	09:30	PU-C-17	1900	20,9	7,33	643	0,12	geruchlos	keine	keine	1,7	2,9

Messprotokoll Säulenversuch - Ergebnisse Parameteruntersuchung
Bestimmung des Auslaugverhaltens von Bauprodukten - Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und GW

Säule A Polyacrylat I

Entnahme- datum	Entnahme- zeitpunkt	Fraktion	Volumen [ml]	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leiff. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
26.03.2009	09:37	PA-BW-A	2100	20,5	7,95	682	0,14	geruchlos	keine	keine	3,6	3,4
26.03.2009	15:00	PA-A-1	1650	20,1	8,27	612	16,58	geruchlos	keine	keine	4,4	4,1
26.03.2009	15:30	PA-A-2	1700	20,6	8,15	624	0,33	geruchlos	keine	keine	5,6	6,4
26.03.2009	16:00	PA-A-3	1900	20,8	7,74	646	0,61	geruchlos	keine	keine	17,0	17,5
26.03.2009	16:30	PA-A-4	2050	21,0	8,05	708	0,2	geruchlos	keine	keine	48,0	50,0
26.03.2009	17:00	PA-A-5	2025	21,4	7,96	767	0,13	sehr schwach	keine	sehr schwach	87,0	80,0
26.03.2009	17:30	PA-A-6	2050	21,4	7,85	825	0,19	sehr schwach	keine	stark	118,0	105,0
26.03.2009	18:00	PA-A-7	1975	21,4	7,8	830	0,16	sehr schwach	keine	schwach	116,0	115,0
26.03.2009	18:30	PA-A-8	1975	21,3	7,8	812	0,2	sehr schwach	keine	deutlich	100,0	103,0
26.03.2009	19:00	PA-A-9	2000	21,1	7,8	792	0,14	sehr schwach	keine	schwach	85,0	87,0
26.03.2009	19:30	PA-A-10	2000	21,1	7,81	771	0,3	sehr schwach	keine	schwach	n.b.	70,0
26.03.2009	20:00	PA-A-11	2000	21,1	7,83	750	0,17	sehr schwach	keine	sehr schwach	n.b.	60,0
26.03.2009	20:30	PA-A-12	2020	21,0	7,84	733	0,17	sehr schwach	keine	sehr schwach	n.b.	45,0
27.03.2009	10:06	PA-A-13	2000	20,5	8,13	650	0,2	sehr schwach	keine	sehr schwach	7,3	8,0
27.03.2009	14:06	PA-A-14	2000	20,2	7,92	652	0,25	sehr schwach	keine	keine	6,6	6,6
27.03.2009	18:06	PA-A-15	1950	20,6	7,91	647	0,16	sehr schwach	keine	keine	6,2	6,7
28.03.2009	10:38	PA-A-16	1950	10,0	8,34	647	0,16	sehr schwach	keine	sehr schwach	6,0	6,0
29.03.2009	11:49	PA-A-17	2050	19,2	7,62	645	0,24	geruchlos	keine	keine	5,5	5,5
30.03.2009	10:13	PA-A-18	2000	19,3	7,84	648	0,18	geruchlos	keine	keine	5,0	4,5
30.03.2009	18:15	PA-A-19	2000	19,6	7,99	648	0,18	geruchlos	keine	keine	5,0	4,6

Messprotokoll Säulenversuch - Ergebnisse Parameteruntersuchung
Bestimmung des Auslaugverhaltens von Bauprodukten - Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und GW

Säule B

Polyacrylat I

Entnahme- datum	Entnahme- zeitpunkt	Fraktion	Volumen [ml]	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
26.03.2009	09:37	PA-BW-B		20,1	8,02	634	0,39	geruchlos	keine	keine	3,6	3,2
26.03.2009	15:00	PA-B-1	2070	20,2	8,32	607	29,2	geruchlos	keine	keine	5,6	11,1
26.03.2009	15:30	PA-B-2	2100	20,3	7,8	781	0,44	geruchlos	keine	deutlich	102,0	85,0
26.03.2009	16:00	PA-B-3	2025	21,3	8,11	985	0,42	geruchlos	keine	stark	225,0	215,0
26.03.2009	16:30	PA-B-4	2100	21	8,09	1021	0,17	geruchlos	keine	stark	245,0	225,0
26.03.2009	17:00	PA-B-5	1850	21,2	8,02	1014	0,44	sehr schwach	keine	stark	250,0	225,0
26.03.2009	17:30	PA-B-6	1900	21,1	7,96	990	0,25	sehr schwach	keine	stark	215,0	205,0
26.03.2009	18:00	PA-B-7	1800	20,9	7,95	944	0,47	schwach	keine	deutlich	170,0	175,0
26.03.2009	18:30	PA-B-8	1900	21	7,93	900	0,13	sehr schwach	keine	deutlich	140,0	160,0
26.03.2009	19:00	PA-B-9	1950	20,8	7,93	842	0,15	sehr schwach	keine	deutlich	100,0	124,0
26.03.2009	19:30	PA-B-10	1950	20,8	7,92	803	0,1	sehr schwach	keine	schwach	n.b.	95,0
26.03.2009	20:00	PA-B-11	1950	21	7,92	777	0,12	sehr schwach	keine	sehr schwach	n.b.	79,0
26.03.2009	20:30	PA-B-12	1950	20,9	7,91	758	0,18	sehr schwach	keine	sehr schwach	n.b.	65,0
27.03.2009	10:06	PA-B-13	1900	20,4	8,01	656	0,48	schwach	keine	schwach	15,0	10,0
27.03.2009	14:06	PA-B-14	2000	20,2	7,89	655	0,53	sehr schwach	keine	schwach	14,0	13,7
27.03.2009	18:06	PA-B-15	1975	20,5	7,82	649	0,27	sehr schwach	keine	schwach	11,2	11,2
28.03.2009	10:38	PA-B-16	1925	12,1	7,86	645	0,34	geruchlos	keine	sehr schwach	8,0	7,5
29.03.2009	12:12	PA-B-17	2000	19,5	7,83	646	0,68	geruchlos	keine	sehr schwach	8,0	7,8
30.03.2009	10:13	PA-B-18	2250	19,1	7,79	647	0,27	geruchlos	keine	keine	5,5	5,3

n.b. = nicht bestimmt

Messprotokoll Säulenversuch - Ergebnisse Parameteruntersuchung
Bestimmung des Auslaugverhaltens von Bauprodukten - Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und GW

Säule C Polyacrylat I

Entnahme- datum	Entnahme- zeitpunkt	Fraktion	Volumen [ml]	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
26.03.2009	09:37	PA-BW-C	1950	20,0	7,98	636	0,19	geruchlos	keine	keine	3,4	3,4
26.03.2009	15:00	PA-C-1	1900	20,1	8,28	613	0,18	geruchlos	keine	keine	4,3	5,0
26.03.2009	15:30	PA-C-2	2020	20,7	8,16	689	0,26	geruchlos	keine	sehr schwach	40,0	40,0
26.03.2009	16:00	PA-C-3	2000	21,0	8,09	719	0,19	geruchlos	keine	keine	57,0	60,0
26.03.2009	16:30	PA-C-4	2075	20,8	8,04	776	0,22	sehr schwach	keine	schwach	87,0	80,0
26.03.2009	17:00	PA-C-5	1850	20,4	7,95	832	0,09	sehr schwach	keine	schwach	120,0	105,0
26.03.2009	17:30	PA-C-6	1900	20,0	7,89	831	0,21	sehr schwach	keine	schwach	114,0	100,0
26.03.2009	18:00	PA-C-7	1800	19,7	7,89	804	0,19	deutlich	keine	schwach	91,0	90,0
26.03.2009	18:30	PA-C-8	1875	19,7	7,88	772	0,28	deutlich	keine	schwach	66,0	70,0
26.03.2009	19:00	PA-C-9	1950	19,4	7,88	743	0,14	schwach	keine	schwach	45,0	47,0
26.03.2009	19:30	PA-C-10	1900	19,8	7,87	719	0,41	sehr schwach	keine	deutlich	n.b.	38,0
26.03.2009	20:00	PA-C-11	1925	20,4	7,87	703	0,22	sehr schwach	keine	sehr schwach	n.b.	25,0
26.03.2009	20:30	PA-C-12	1930	20,4	7,88	693	0,25	sehr schwach	keine	sehr schwach	n.b.	20,0
27.03.2009	10:06	PA-C-13	1900	20,1	8,07	650	0,26	sehr schwach	keine	sehr schwach	7,2	7,0
27.03.2009	14:06	PA-C-14	2000	20,1	7,81	650	0,12	sehr schwach	keine	sehr schwach	6,3	6,7
27.03.2009	18:06	PA-C-15	1950	20,4	7,83	646	0,15	sehr schwach	keine	sehr schwach	6,0	6,5
28.03.2009	10:38	PA-C-16	1950	10,1	8,25	648	0,13	sehr schwach	keine	sehr schwach	6,0	5,5
29.03.2009	11:58	PA-C-17	2000	19,5	7,81	644	0,33	geruchlos	keine	sehr schwach	5,0	4,5
30.03.2009	10:13	PA-C-18	2250	19,2	7,83	647	0,18	geruchlos	keine	keine	5,0	4,5
30.03.2009	18:15	PA-C-19	2500	19,4	7,84	649	0,41	geruchlos	keine	keine	5,0	4,5

Messprotokoll Säulenversuch - Ergebnisse Parameteruntersuchung
Bestimmung des Auslaugverhaltens von Bauprodukten - Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und GW

Säule A Polyacrylat III

Entnahme- datum	Entnahme- zeitpunkt	Fraktion	Volumen [ml]	Temp. [°C]	pH- Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
22.06.2009	10:10	PAC III BW	2050	18,9	7,89	610	0,10	geruchslos	keine	keine	3,0	3,0
22.06.2009	12:08	PAC III 1	2000	19,1	7,90	611	0,82	geruchslos	keine	keine	8,0	1,5
22.06.2009	12:38	PAC III 2	1975	19,3	7,96	613	0,09	geruchslos	keine	keine	6,0	1,0
22.06.2009	13:08	PAC III 3	1950	19,5	7,97	617	0,06	geruchslos	keine	keine	8,0	1,1
22.06.2009	13:38	PAC III 4	2000	19,9	7,92	694	0,16	geruchslos	keine	leichter Ansatz	51,0	39,0
22.06.2009	14:08	PAC III 5	1950	20,2	7,87	978	0,13	sehr schwach org.	keine	mittel	235,0	208,0
22.06.2009	14:38	PAC III 6	1970	20,5	7,87	1135	0,09	schwach org.	keine	mittel	345,0	293,0
22.06.2009	15:08	PAC III 7	1960	20,6	7,89	1046	0,16	schwach org.	keine	mittel	270,0	243,0
22.06.2009	15:38	PAC III 8	1950	20,7	7,91	866	0,07	schwach org.	keine	mittel	150,0	128,0
22.06.2009	16:08	PAC III 9	1970	20,7	7,91	749	0,11	sehr schwach org.	keine	mittel	70,0	48,0
22.06.2009	16:38	PAC III 10		20,7	7,91	703	0,2	sehr schwach org.	keine	leicht	30,0	23,0
22.06.2009	17:08	PAC III 11	1950	20,5	7,92	677	0,18	sehr schwach org.	keine	mittel	25,0	27,0
22.06.2009	17:38	PAC III 12	1960	20,5	7,91	662	0,3	sehr schwach org.	keine	leicht	17,0	14,5
23.06.2009	09:30	PAC III 13	1950	18,6	8,07	624	0,23	sehr schwach org.	keine	leicht	5,5	2,0
23.06.2009	16:30	PAC III 14	1900	19,3	7,89	632	0,16	geruchslos	keine	keine	3,0	0,5
24.06.2009	09:45	PAC III 15	2000	19,3	7,97	637	0,13	geruchslos	keine	keine	3,0	0,5
24.06.2009	16:45	PAC III 16	1950	20,7	7,99	632	0,14	geruchslos	keine	keine	2,5	0,5
25.06.2009	09:15	PAC III 17	1910	19,3	7,89	634	0,05	geruchslos	keine	keine	2,5	1,0

Messprotokoll Säulenversuch - Ergebnisse Parameteruntersuchung
Bestimmung des Auslaugverhaltens von Bauprodukten - Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und GW

Säule B Polyacrylat III

Entnahme- datum	Entnahme- zeitpunkt	Fraktion	Volumen [ml]	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
22.06.2009	10:10	PAC III BW	1925	18,7	7,89	610	0,14	geruchslos	keine	keine	4,0	2,9
22.06.2009	12:28	PAC III 1	2000	19,1	7,90	608	0,25	geruchslos	keine	keine	7,0	1,0
22.06.2009	12:58	PAC III 2	1950	19,1	7,94	613	0,11	geruchslos	keine	keine	10,0	1,3
22.06.2009	13:28	PAC III 3	2050	19,2	7,93	619	0,07	geruchslos	keine	keine	8,0	2,1
22.06.2009	13:58	PAC III 4	2080	19,6	7,95	802	0,04	geruchslos	keine	schwach	115,0	111,0
22.06.2009	14:28	PAC III 5	2050	19,9	7,83	1107	0,06	sehr schwach org.	keine	mittel	320,0	298,0
22.06.2009	14:58	PAC III 6	1975	20,3	7,84	1170	0,05	schwach org.	keine	mittel	370,0	328,0
22.06.2009	15:28	PAC III 7	2000	20,4	7,85	1141	0,05	schwach org.	keine	mittel	335,0	318,0
22.06.2009	15:58	PAC III 8	1960	20,6	7,87	1078	0,06	schwach org.	keine	mittel	280,0	263,0
22.06.2009	16:28	PAC III 9	1970	20,6	7,87	1010	0,09	schwach org.	keine	mittel	225,0	203,0
22.06.2009	16:58	PAC III 10	1950	20,4	7,85	932	0,18	sehr schwach org.	keine	mittel	170,0	153,0
22.06.2009	17:28	PAC III 11	2000	20,4	7,87	867	0,02	sehr schwach org.	keine	mittel	115,0	156,0
22.06.2009	17:58	PAC III 12	1950	20,4	7,88	826	0,09	sehr schwach org.	keine	mittel	115,0	98,0
23.06.2009	09:30	PAC III 13	2000	18,3	8,04	651	0,13	sehr schwach org.	keine	stark und stabil	13,0	14,6
23.06.2009	16:30	PAC III 14	1820	19,2	7,85	645	0,11	sehr schwach org.	keine	schwach	8,5	5,0
24.06.2009	09:45	PAC III 15	1950	19,1	7,87	643	0,12	sehr schwach org.	keine	sehr schwach	4,0	4,0
24.06.2009	16:45	PAC III 16	1900	20,6	7,91	638	0,09	sehr schwach org.	keine	keine	3,5	0,5
25.06.2009	09:15	PAC III 17	1840	19	7,85	638	0,05	geruchslos	keine	keine	3,5	0,0

Messprotokoll Säulenversuch - Ergebnisse Parameteruntersuchung
Bestimmung des Auslaugverhaltens von Bauprodukten - Beurteilung der Auswirkung von Bauprodukten auf Boden und GW

Säule C **Polyacrylat III**

Entnahme- datum	Entnahme- zeitpunkt	Fraktion	Volumen [ml]	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübe [FNU]	Geruch	Farbe	N. z. Schb.	TOC [mg/l]	DOC [mg/l]
22.06.2009	10:10	PAC III BW	2050	18,6	7,87	611	0,22	geruchslos	keine	keine	4,0	2,5
22.06.2009	12:54	PAC III 1	2000	19,1	7,95	614	0,43	geruchslos	keine	keine	7,0	1,2
22.06.2009	13:24	PAC III 2	2150	19,0	7,94	617	0,16	geruchslos	keine	keine	11,0	1,3
22.06.2009	13:54	PAC III 3	2150	19,3	7,95	619	0,06	geruchslos	keine	keine	8,0	2,1
22.06.2009	14:24	PAC III 4	2100	19,7	7,9	713	0,19	geruchslos	keine	leichter Ansatz	63,0	54,0
22.06.2009	14:54	PAC III 5	1900	20,1	7,8	1030	0,21	sehr schwach org.	keine	mittel	275,0	243,0
22.06.2009	15:24	PAC III 6	1920	20,3	7,79	1179	0,15	sehr schwach org.	keine	mittel	365,0	348,0
22.06.2009	15:54	PAC III 7	1920	20,4	7,85	1173	0,12	schwach org.	keine	mittel	360,0	333,0
22.06.2009	16:24	PAC III 8	2000	20,5	7,87	1070	0,1	schwach org.	keine	mittel	280,0	258,0
22.06.2009	16:54	PAC III 9	2050	20,4	7,87	943	0,04	sehr schwach org.	keine	mittel	190,0	168,0
22.06.2009	17:24	PAC III 10	2000	20,4	7,87	843	0,09	sehr schwach org.	keine	mittel	95,0	108,0
22.06.2009	17:54	PAC III 11	2000	20,4	7,9	780	0	sehr schwach org.	keine	mittel	50,0	99,0
22.06.2009	18:24	PAC III 12	2020	20,4	7,92	738	0,07	sehr schwach org.	keine	mittel	66,0	65,5
23.06.2009	09:30	PAC III 13	1900	18,3	7,99	651	0,1	sehr schwach org.	keine	schwach	5,0	4,5
23.06.2009	16:30	PAC III 14	1850	19,2	7,89	645	0,11	sehr schwach org.	keine	sehr schwach	4,0	3,5
24.06.2009	09:45	PAC III 15	2050	19,1	7,85	643	0,09	geruchslos	keine	sehr schwach	3,5	3,0
24.06.2009	16:45	PAC III 16	1960	22,3	8,01	638	0,13	geruchslos	keine	sehr schwach	3,0	2,0
25.06.2009	09:15	PAC III 17	1950	18,9	7,84	638	0,06	geruchslos	keine	keine	3,0	2,0

Anhang 7 Ergebnisse aquatische Ökotoxizitätstests und Abbaustest

Prozentuale Hemmwerte für jede Testkonzentration, Einzelwerte der Hemmung [%] im Leuchtbakterientest

Probe	Konzentration [Eluat in %]							
	80,0	50,0	33,3	25,0	16,7	12,5	8,3	6,25
ZL-MP-A	43,3	31,6	23,3	17,6	13,0	10,21	7,10	4,71
ZL-MP-B	43,5	30,1	21,4	15,2	9,2	6,3	2,8	2,4
ZL-MP-C	44,8	27,2	16,6	12,3	7,8	2,6	1,2	0
ZL-AP	6,2	2,4	1,6	1,3	0,8	0	0,2	0
PA-MP-A	19,4	9,0	2,1	3,1	0	0,6	0	0
PA-MP-B	7,6	2,1	1,7	1,1	0	0	2,9	0
PA-MP-C	6,1	6,2	4,6	3,4	2,5	4,5	2,3	1,8
PA-AP	1,0	3,2	1,1	1,0	1,9	0,7	1,1	1,1
PACIII - MP - A	23,4	10,0	13,3	--- ¹	4,4	5,0	2,9	1,7
PACIII - MP - B	23,5	22,2	20,3	20,4	18,9	13,8	5,8	5,4
PACIII - MP - C	25,5	20,6	14,5	15,4	11,8	6,8	--- ¹	5,9
PACIII - AP	10,6	5,6	0	0	0	0	4,4	0

¹ tolerierbare Abweichung der Parallelproben überschritten

Prozentuale Hemmwerte für jede Testkonzentration, Einzelwerte der Hemmung [%] im Algentest

Probe	Konzentration [Eluat in %]								
	80,0	50,0	33,3	25,0	16,7	12,5	8,3	6,25	
ZL-MP-A	100	70,8	14,7	0 ¹	2,9	3,1	2,7	0	
ZL-MP-B	81,7	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	
ZL-MP-C	100	74,3	15,1	0 ¹	0 ¹	17,1	7,3	6,6	
ZL-AP	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	
PAC I-MP-A	100	100	92,3	83,9	63,5	40,7	44,4	37,4	
PAC I-MP-B	100	100	100	100	100	88,2	82,9	84,8	
PAC I-MP-C	100	100	94,1	75,0	63,7	59,3	36,2	48,4	
PAC -AP	18,6	16,3	8,9	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	17,9	
PACIII - MP - A	100	100	100	100	100	100	100	100	
PACIII - MP - B	100	100	100	100	100	100	100	100	
PACIII - MP - C	100	100	100	100	100	100	100	100	
Probe	Konzentration [Eluat in %]								
Wiederholung	80,0	50,0	33,3	25,0	16,7	12,5	8,3	6,25	0,1
PACIII - MP - A	100	n.d. ²	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	47,3
PACIII - MP - B	100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	47,4
PACIII - MP - C	100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	45,4
PACIII - AP	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹

¹ Stimulation; ² n.d. = nicht durchgeführt

Abbautest - Verlauf der DOC-Gehalte in den einzelnen Testansätzen im OECD-Screening-Test

	Inokulum-Blindwert [mg/L]		Referenzansatz Na-Benzoesäure	ZL-MP-A [mg/L]		Physik.-chem. Kontrolle: ZL-MP-A + HgCl ₂ + Inokulum [mg/L]	Toxizitätskontrolle: ZL-MP-A + Na-Benzoesäure [mg/L]
Tag 0	0,640	0,485	38,41	23,64	23,69	24,42	63,23
Tag 1	1,057	0,656		17,60	18,18	18,73	53,60
% Abbau ¹			34,1	26,3		25,1	15,8
Tag 3	0,951	0,777		19,26	19,69	26,98	56,55
% Abbau ¹			74,5	19,4		-9,5	11,1
Tag 7	1,158	0,690		19,78	19,04	18,90	20,71
% Abbau ¹			91,7	20,0		24,7	68,4
Tag 10	1,617	1,166		19,76	19,27	19,34	21,02
% Abbau ¹			94,4	21,5		24,8	68,7
Tag 14	2,039	1,506		20,59	20,06	20,8	20,85
% Abbau ¹			96,0	19,7		20,2	69,6
Tag 23	0,679	0,000		21,45	22,51	22,87	23,91
% Abbau ¹			98,6	6,3		7,7	62,4
Tag 28	1,013	0,246		25,13	19,22	20,57	21,44
% Abbau ¹			99,4	6,7		16,4	66,8

¹ bei der Berechnung des Abbaus wird der Inokulum-Blindwert berücksichtigt.

Abbautest - Verlauf der DOC-Gehalte in den einzelnen Testansätzen im OECD-Screening-Test - Fortsetzung

	PA-MP-B		Physik.-chem. Kontrolle:		Toxizitätskontrolle: PA-MP-B + Na-Benzoesat [mg/L]	PAC III-MP-B		Physik.-chem. Kontrolle:		Toxizitätskontrolle: PAC III-MP-B + Na-Benzoesat + Inokulum [mg/L]
	[mg/L]	[mg/L]	PA-MP-B + Na-Benzoesat [mg/L]	PA-MP-B + Na-Benzoesat + Inokulum [mg/L]		[mg/L]	[mg/L]	PAC III-MP-B + Na-Benzoesat [mg/L]	PAC III-MP-B + Na-Benzoesat + Inokulum [mg/L]	
Tag 0	38,66	38,27	38,58	38,11	74,75	37,69	37,27	36,92	35,56	72,16
Tag 1	33,35	31,90	32,97	32,08	66,76	34,87	36,00	35,99	36,49	68,03
% Abbau	16,2		15,5	16,8	11,2	6,3		3,4	-1,8	6,2
Tag 3	30,29	32,06	37,37	35,87	64,75	33,17	32,89	38,51	37,89	54,79
% Abbau	20,0		4,0	6,8	13,9	12,9		-3,5	-5,8	24,7
Tag 7	19,41	19,95	37,03	36,68	56,32	10,14	9,96	37,40	37,16	37,38
% Abbau	50,5		5,0	5,6	25,3	75,3		-0,3	-3,5	49,1
Tag 10	13,81	16,11	36,61	36,63	49,76	10,26	10,36	38,86	38,40	31,32
% Abbau	64,2		7,4	6,1	34,8	75,9		-3,1	-5,7	58,2
Tag 14	12,15	12,12	36,45	35,70	30,17	8,84	9,62	38,53	38,73	23,37
% Abbau	72,7		8,8	9,6	61,7	79,8		-1,1	-5,6	69,8
Tag 23	12,43	11,13	40,13	40,38	12,87	5,07	4,94	44,13	44,19	13,59
% Abbau	69,8		-4,7	-6,7	83,1	87,4		-20,4	-25,3	81,5
Tag 28	10,46	10,02	41,48	41,59	11,01	4,54	4,42	43,72	45,02	13,38
% Abbau	74,6		-7,4	-9,1	86,0	89,6		-18,5	-26,8	82,2

Anhang 8 Arbeitsanweisungen Ringversuch

Folgende Arbeitsanweisungen sind den Teilnehmern der VU zugesendet wurden:

- I** **Arbeitsanweisung** zum Anmischen des Bauprodukts Zementleim
- II** **Arbeitsanweisung** zum Einbau des Bauprodukts Zementleim in eine Säule
- III** **Arbeitsanweisung** zum Anmischen des Bauprodukts Polyacrylat
- IV** **Arbeitsanweisung** zur Injektion des Bauprodukts Polyacrylat
- V** **Arbeitsanweisung** Bestimmung der Neigung zur Schaumbildung
- VI** **Arbeitsanweisung** Bestimmung der Farbe
- VII** **Arbeitsanweisung** Bestimmung des Geruchs

I **Arbeitsanweisung** zum Anmischen des Bauprodukts Zementleim VP-ZL

1. **Zusammensetzung des Bauprodukts**

Das Bauprodukt besteht aus einer Komponente A (Portland-Zement) und aus einer Komponente B (Biozid) (vgl. Tab. 1). Zum Anmischen wird Trinkwasser verwendet.

Tabelle 1: Zusammensetzung und gefährliche Inhaltsstoffe

Bau- produkt	Komponente	Zusammensetzung Gefährliche Inhaltsstoffe	Wassergefährdungsklasse (Selbsteinstufung)
Zement- leim	A: <i>Portland- Zement</i>	Portland-Zement (chromatarm) (70-100%)	<i>I: schwach wassergefährdend</i>
	B: <i>Wässr. Lsg. eines poly- merisierten Melamin- sulfonates.</i>	5-Chlor-2-methyl-2H-isothiazol-3- on (<1,5%) (Sehr giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben), 2-Methyl-2H- isothiazol-3-on (<1,5%)	<i>I: schwach wassergefährdend</i>

2. **Anmischen der Komponenten**

Das Bauprodukt besteht zu 61 % aus Komponente A, zu 6 % aus Komponente B und zu 33 % aus Wasser.

Für eine Säule werden ca. 1,1 kg Bauprodukt benötigt, das sich wie folgt zusammensetzt:

Anmischung für 1,1 kg Bauprodukt:		
Komp. A (Pulver) = 666,71 g	Komponente B: 69,3 g	H ₂ O: 364 g

Für eine bessere Vergleichbarkeit ist das Anmischen einer größeren Menge (mindestens 3,3 kg) sinnvoll, die anschließend in 1,1kg Portionen aufgeteilt wird.

Anmischung für 3,3 kg Bauprodukt		
Komp. A = 2000 g	Komponente B: 207,9 g	H ₂ O = 1091,97 g

3. Vorgehensweise

Zuerst wird die Komponente B mit Trinkwasser in einem ausreichend großen Gefäß (z.B. Eimer) gemischt. Als Rührgerät dient ein auf eine Bohrmaschine aufgesetzter Rührstab. Anschließend wird die Komponente A hinzu gegeben.

Der Eimer wird abgedeckt und die Rührgeschwindigkeit erhöht. Nach 10 Minuten Rührzeit ist das Bauprodukt gut durchmischt und kann in einzelne Portionen aufgeteilt werden. Danach sollte der Einbau in die Säule stattfinden. Das Bauprodukt ist nach etwa 90 min ausgehärtet.

II Arbeitsanweisung zum Einbau des Bauprodukts Zementleim in eine Säule

1. Vorbereitung der Säule

Die Säule wird nach der modifizierte Arbeitsanweisung „Elution von Bauprodukten – Perkulationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln“ mit Feinsand (F 36, Quarzsand Frechen) gefüllt. Anschließend folgt die Spülung des Sands in der Säule über 24 Stunden mit der Fließgeschwindigkeit von 4 l/h.

2. Abnahme des Blindwerts

Am Tag des Einbaus des Bauprodukts und nach der 24-Stunden-Spülung wird der Blindwert abgenommen. Es werden 2 Liter in 30 Minuten aufgefangen und in eine Flasche abgefüllt.

3. Abpumpen des Wassers

Nachdem der Blindwert abgenommen wurde, erfolgt das Abpumpen von 2,5 Litern Wasser aus der Säule (Dies entspricht einem Wasser von ca. 18 cm Höhe bis kurz unter dem Packer).

4. Einbau des Zementleims

Nach Abpumpen der Säule wird der Deckel geöffnet. Mit einer Schaufel ist ein Loch in der Mitte der Säule vor zu graben. Das Loch sollte ca. 30 cm tief, auf Höhe der Packeröffnung, sein (beim Einbau eines Bauprodukts per Hand ist es nicht notwendig einen Packer einzubauen). Der Sand ist zu lagern.

Um eine definierte Einbauöffnung zu erhalten, wird ein Rohr (Kunststoff, AD 110 mm) in das vorgefertigte Loch gedrückt, wieder entfernt und per Hand der restliche Sand, der zuviel ist, aus der Säule geholt, so dass ein definierter Hohlraum entsteht.

In diese vorgefertigte Öffnung wird **1 Kilogramm** (ca. 600 ml) des Bauprodukts eingefüllt.

Nach insgesamt 40 Minuten Aushärtezeit kann mit der Verfüllung des Lochs unter Verwendung des vorher entnommenen Sands begonnen werden. Um Hohlräume im Sand beim Wiedereinbau zu vermeiden, und um ein Absinken des Sands in der Säule nach Wiederaufsättigung zu verhindern, sollte ein sehr feuchter Sand (Sand-Wasser-Gemisch) verwendet werden.

Nach der Befüllung wird die Säule mit dem Deckel wieder verschlossen.

Die Aufsättigung der Säule beginnt nach 90 min Aushärtezeit mit einer Fließrate von 4l/h.

5. Probenahme

Ist die Säule gesättigt wird bei unveränderter Pumprate das austretende Prüfwasser sofort in Fraktionen von je 2 ($\pm 0,1$) Liter (Gefäße: 2-Liter-Messbecher) aufgefangen. Die 2-Liter-Mischfraktionen werden dann jeweils in eine 1-Liter Flasche umgefüllt

In Tabelle 1 ist zur Orientierung ein zeitlicher Ablauf des Einbaus des Bauprodukts Zementleim vermerkt.

Tabelle 1: zeitlicher Orientierungsrahmen für den Einbau von Zementleim

Tätigkeit	Zeit (h:min)	Anmerkung
Abnahme BW	0:00 – 0:30	
Abpumpen 2,5 l	0:30 - 0:45	Größere Pumprate
Ausbau Sand	0:45 – 1:00	
Anmischen der Einzelkomponenten	1:00 – 1:10	
Vereinigung der Komponenten und Rühren/Mischen	1:10 – 1:20	Aushärtezeit: ab Vereinigung der Komponenten 90 min
Einbau Bauprodukt in die Säule	1:20	30 min Pause
Auffüllung des Sandes	1:50 – 2:00	Verwendung eines Sand-Wasser-Gemischs
Verschließen der Säule	2:00 – 2:10	
Start Aufsättigung und Elution	2:40	Aufsättigung benötigt ca. 30 min (Pumprate 4l/h)
Abnahme Fraktion 1	ca. 3:10 – 3:40	

III **Arbeitsanweisung** zum Anmischen des Bauprodukts Polyacrylat MC-Go-GL 2010

1. **Zusammensetzung des Bauprodukts**

Das Bauprodukt besteht aus einer Komponente A, die sich aus drei Teilkomponenten (A1-A3) und aus einer Komponente B (Natriumpersulfat) zusammensetzt (vgl. Tab. 1). Zum Anmischen der Komponente B wird Trinkwasser verwendet.

Tabelle 1: Zusammensetzung und gefährliche Inhaltsstoffe

Bau- produkt	Komponente	Zusammensetzung Gefährliche Inhaltsstoffe	Wassergefährdungsklasse (Selbsteinstufung)
Poly- acrylat	A 1: k.A.	k.A.	1: schwach wassergefährdend
	A 2: k.A.	k.A.	1: schwach wassergefährdend
	A 3: k.A.	k.A.	1: schwach wassergefährdend
	B: k.A.	k.A.	1: schwach wassergefährdend

2. **Anmischen der Komponenten**

Das zu verwendende Mischverhältnis ist 6:5 (Komp. A : B). Um beispielsweise 1,1 kg Bauprodukt zu erhalten müssen 0,6 kg der Komponente A und 0,5 kg der Komponente B vermischt werden.

Für eine Säule werden ca. 1,1 kg Bauprodukt benötigt, das sich wie folgt zusammensetzt:

Anmischung für 1,1 kg Bauprodukt				
Menge Komponente A insgesamt : 600 g			Menge Komponente B insgesamt: 500g	
Komp. A1 = 549,6 g	Komp. A2 = 9,6 g	Komp. A3 = 39,6 g	Komp. B (Salz) = 5 g	H ₂ O = 500 g

Für eine bessere Vergleichbarkeit ist das Anmischen einer größeren Menge (mindestens 3,3 kg) sinnvoll, die anschließend in 1,1kg Portionen aufgeteilt wird.

Anmischung für 3,3 kg Bauprodukt				
Menge Komponente A insgesamt : 1,8 kg			Menge Komponente B insgesamt: 1,5 kg	
Komp. A1 = 1648,8g	Komp. A2 = 28,8 g	Komp. A3 = 118,8 g	Komp. B (Salz) = 15 g	H ₂ O = 1500 g

Die Komponente A und B müssen getrennt angemischt werden. Die Vereinigung von A und B erfolgt erst kurz vor der Injektion.

3. Vorgehensweise:

Um ausreichend Bauprodukt für die Injektion in drei Säulen zu erhalten wird eine Anmischmenge von 3,3 kg Bauprodukt empfohlen.

Die Komponente A und B werden getrennt voneinander gemischt. Jede Komponente wird in einem Gefäß angerührt, und anschließend auf drei Einzelgefäße aufgeteilt, damit sichergestellt wird, dass das Mischverhältnis der einzelnen Komponenten in jeder Testparallele gleich ist.

Solange die einzelnen Komponenten noch nicht für die Injektion benötigt werden, werden sie im Kühlschrank aufbewahrt.

Wichtige Anmerkung:

Die Temperatur des Anmischwassers beeinflusst den Start und die Länge der Gelzeit. Es empfiehlt sich um eine möglichst lange flüssige Phase zu erreichen, das Leitungswasser vorher im Kühlschrank auf etwa 5 – 8°C zu kühlen.

Die Gelzeit des Bauprodukts beginnt nach der Mischung der beiden Komponenten nach ca. 4:50 min. Diese Zeitspanne kann variieren, je nach dem welche Temperatur die Komponenten haben. Das Anmischwasser von Komponente B sollte nicht wärmer als 8 °C sein.

Die Menge der Komponente B (Salz) beeinflusst die Reaktionszeit, je mehr Pulver verwendet wird umso schneller setzt die Gelbildung ein.

IV Arbeitsanweisung zur Injektion des Bauprodukts Polyacrylat

1. Vorbereitung der Säule

Die Säule wird nach der modifizierten Arbeitsanweisung „Elution von Bauprodukten – Perkulationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln“ mit Feinsand (F 36, Quarzsand Frechen) gefüllt und vorbereitet. Anschließend folgt die Spülung des Sands in der Säule über 24 Stunden mit der Fließgeschwindigkeit von 4 l/h.

2. Abnahme des Blindwerts

Am Tag der Injektion des Bauprodukts nach 24-stündiger Spülung wird der Blindwert abgenommen. Es werden 2 Liter in 30 Minuten aufgefangen und in eine Flasche abgefüllt.

3. Abpumpen des Wassers

Nachdem der Blindwert abgenommen wurde, erfolgt das Abpumpen von **1 Liter** Wasser aus der Säule, damit das verdrängte Wasser bei der Injektion nicht unkontrolliert (durch erzeugten Druck, evtl. Austritt von Wasser an Verbindungsstücken etc.) austritt.

4. Injektion

Die Injektion erfolgt mittels Windkesselanlage (WKA, vgl. Abb. 1). Die Windkesselanlage wird über dem Überlaufschlauch (Verwendung eines PVC-Schlauches) mit der Säule verbunden und mit Schellen gesichert. Der zweite Schlauch wird mit der Druckluft verbunden. Die Druckluft ist auf 4 bar einzustellen.

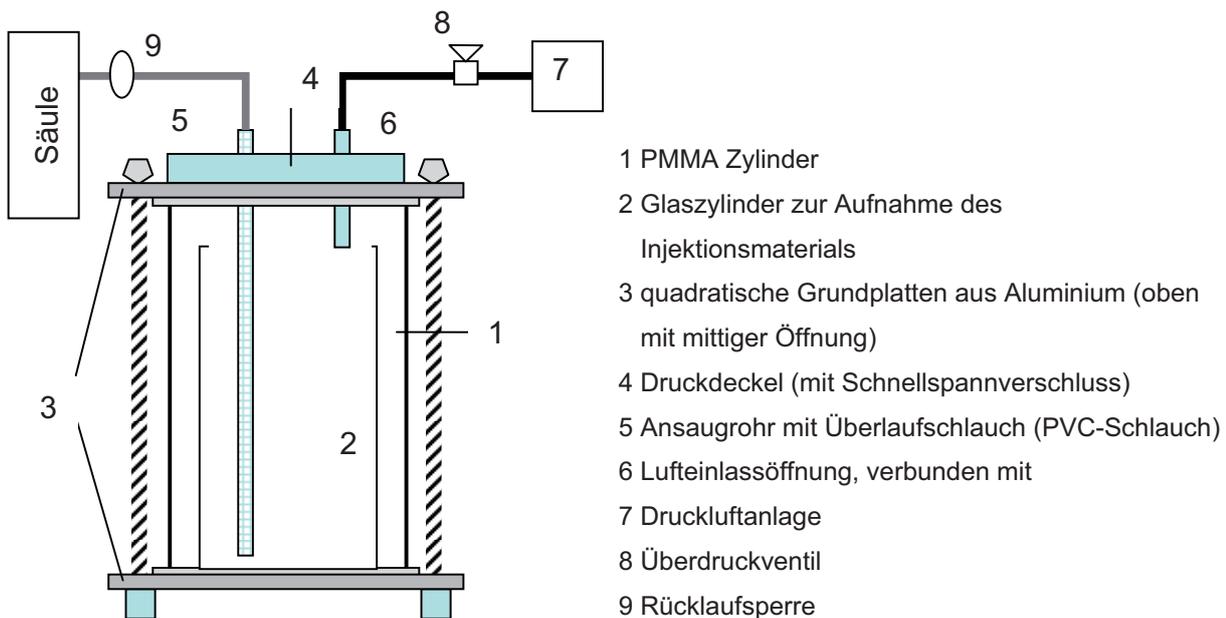


Abbildung 1: Windkesselanlage (WKA)

Die angemischte Komponente A wird in das Becherglas der WKA überführt. Komponente B wird zugegeben, die Stoppuhr gestartet und für 30 s mit Komponente A verrührt. Danach wird die WKA verschlossen und die Druckluft für 5 s geöffnet. Der entstehende Druck in der WKA presst die vermischten Komponenten in die Sandsäule. Es ist darauf zu achten, dass keine Luft in die Sandsäule gepresst wird. Über ein Ventil kann der restliche Druck wieder abgelassen werden. Dabei ist der Überlaufschlauch mit einer Klemme zu schließen, so dass das Bauprodukt nicht wieder zurückfließen kann. Der Überlaufschlauch wird hinter der Klemme gekappt, die Verbindung zur Druckluft und die Verschlussplatte mit dem Überlaufschlauch und dem Ansaugrohr gelöst und gespült.

Die einsetzende Gelzeit ist anhand des in der WKA verbliebenen Bauprodukts zu ermitteln und zu notieren. Nach 10 min Aushärtezeit wird die Elution gestartet.

5. Probenahme

Nach 10 min (Aushärtezeit) wird die Durchströmung der Säule ($4 \pm 0,2$ Liter) gestartet und das austretende Prüfwasser sofort in Fraktionen von je 2 ($\pm 0,1$) Liter (Gefäße: 2-Liter-Messbecher) aufgefangen. Die 2-Liter-Mischfraktionen werden dann jeweils in eine 1-Liter Flasche umgefüllt. Zur Bestimmung der Parameter ist eine Teilmenge abzunehmen.

In Tabelle 1 ist zur Orientierung ein zeitlicher Ablauf des Einbaus des Bauprodukts Zementleim vermerkt.

Tabelle 1: zeitlicher Orientierungsrahmen für die Injektion von Polyacrylat

Tätigkeit	Zeit (h:min:s)	Anmerkung
Abnahme BW	0:00 – 0:30	
Abpumpen 1 l	0:30 - 0:35	
Vorbereitung WKA	0:40 – 0:50	Verbindung mit Säule und Druckluftanlage
Anmischen der Einzelkomponenten A und B	0:50 – 1:10	Kaltes Wasser (8°C) verwenden
Vereinigung der Komponenten und Rühren/Mischen	1:10:00 – 1:10:30	Aushärtezeit: ab Vereinigung der Komponenten ca. 4 min
Verschließen der WKA	1:10:30 – 1:11	
Injektion	1:11	Achtung: Lufteintritt und Rücklauf
Kappen der Säulenverbindung und Reinigung	1:13	
Start Elution	1:21	
Abnahme Fraktion 1	ca. 1:25 – 1:55	

V **Arbeitsanweisung** Bestimmung der Neigung zur Schaumbildung

Parameter: Neigung zur Schaumbildung - qualitativ

Grundlage: keine

Geräte: Flasche zum Schütteln – Volumen 500 oder 1000ml

Alle Geräte gründlich reinigen!

Vorgehen:

1. Probe in Flasche überführen, verschließen und 10s kräftig schütteln
2. Gefäß abstellen und Schaumbildung beurteilen. (Schaumbildung die nach 5 s wieder verschwindet ist als „keine“ Schaumbildung anzusprechen.)
3. Stabilität der Schaumbildung beurteilen. (Wenn nach 20 s die Schaumbildung nur langsam oder gar nicht zurückgeht ist diese als stabil anzusprechen.)

Intensität: keine, schwach, stark

Stabilität: nicht stabil, stabil

Ergebnisangabe: Neigung zur Schaumbildung, vereinfachtes Verfahren: schwache, nicht stabile Schaumbildung

VI Arbeitsanweisung Bestimmung der Farbe

Parameter: Farbe – visuelle Untersuchung

Grundlage: ISO 7887 Hauptabschnitt II

Bestimmung der Farbe von **trüben Eluaten** nach Filtration über 0,45µm Filter (Membranfilter)!

Geräte: Becherglas - Volumen 200ml, Alle Geräte gründlich reinigen!

Vorgehen:

1. Zu bestimmende Flüssigkeit wird in ein Becherglas überführt und gegen einen weißen Unter/Hintergrund gehalten/gestellt
2. Farbintensität und Farbton sind anzugeben

Farbintensität: farblos, schwach, stark

Farbton: z.B. gelblich braun, gelb

Ergebnisangabe: scheinbare Färbung (ISO 7887 Hauptabschnitt II), visuelles Verfahren: schwach gelblich braun

VII Arbeitsanweisung Bestimmung des Geruchs

Parameter: Geruch - qualitativ

Grundlage: DIN EN 1622 Anhang C – Qualitatives, vereinfachtes Verfahren

Von Gerüchen unbeeinflusste Umgebung zur Bestimmung aufsuchen!

Alle Geräte gründlich reinigen!

Vorgehen:

1. Probe in Gefäß überführen, verschließen und 10 s kräftig schütteln
2. Gefäß öffnen und Geruch bestimmen, durch Abgleich mit Trinkwasser Geruch bewerten

Geruchsintensität: geruchslos, schwach, stark

Geruchsart: z.B. organisch, mineralisch, erdig

Ergebnisangabe: Qualitativer Geruch (**DIN EN 1622 Anhang C**), vereinfachtes Verfahren: schwach organisch

Anhang 9 Ergebnisse Vergleichsuntersuchung Rohdaten

Labor Code 8 - Zementleim

Parallele - Säule A Fraktionen	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
BW	19,4	7,74	629	0,03	3,9	geruchlos	farblos	keine	09:48	1000
EW	20,5	7,58	616	0,13	3,3	geruchlos	farblos	keine	morgens	1000
Fr. 1	19,7	8,10	595	0,96	3,6	geruchlos	farblos	keine	13:42	2000
Fr. 2	19,8	8,01	646	0,02	6,1	geruchlos	farblos	keine	14:12	1850
Fr. 3	19,9	8,15	749	0,1	22,5	geruchlos	farblos	keine	14:42	1900
Fr. 4	20,2	8,4	725	0,08	20	geruchlos	farblos	keine	15:12	1930
Fr. 5	20,1	8,53	694	0,06	15	geruchlos	farblos	keine	15:42	2000
Fr. 6	20,2	8,59	674	0,02	12,5	geruchlos	farblos	keine	16:12	1900
Fr. 7	20,2	8,62	662	0,02	9,9	geruchlos	farblos	keine	16:42	1940
Fr. 8	20,3	8,65	654	0,02	8,9	geruchlos	farblos	keine	17:12	1940
Fr. 9	20,4	8,67	648	0,02	8,4	geruchlos	farblos	keine	17:42	2000
Fr. 10	20,5	8,68	645	0,02	7,8	geruchlos	farblos	keine	18:12	1900
Fr. 11	20,6	8,68	642	0,13	7,7	geruchlos	farblos	keine	18:42	1900
Fr. 12	20,7	8,68	641	0,02	6,6	geruchlos	farblos	keine	19:12	1920
Fr. 13	19,3	8,22	634	0,04	3,8	deutlich org.	farblos	keine	09:37	1870
Fr. 14	20,3	8,01	626	0,02	3,5	deutlich org.	farblos	keine	17:37	1900
Fr. 15	19,7	7,87	625	0,02	3,6	stark org.	farblos	keine	09:30	1900
Fr. 16	21,4	7,91	623	0,02	3,6	stark org.	farblos	keine	17:30	1900

Labor Code 8 - Zementleim

Parallele - Säule B	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
Fraktionen										
BW	19,2	7,68	614	0,53	4	geruchlos	farblos	keine	09:48	1000
EW	20,5	7,58	616	0,13	3,3	geruchlos	farblos	keine	morgens	1000
Fr. 1	19,4	8,11	595	1,33	3,6	geruchlos	farblos	keine	13:49	1950
Fr. 2	19,6	8,04	625	0,02	5,1	geruchlos	farblos	keine	14:19	1950
Fr. 3	19,7	7,91	727	0,08	19	geruchlos	farblos	keine	14:49	1850
Fr. 4	19,8	8,1	737	0,06	20,5	geruchlos	farblos	keine	15:19	1900
Fr. 5	19,9	8,35	706	0,02	16,5	geruchlos	farblos	keine	15:49	1890
Fr. 6	19,9	8,42	678	0,23	17,5	geruchlos	farblos	keine	16:19	1920
Fr. 7	19,9	8,49	663	0,04	10,4	geruchlos	farblos	keine	16:49	1900
Fr. 8	20,1	8,49	651	0,02	8,9	geruchlos	farblos	keine	17:19	1850
Fr. 9	20,2	8,47	643	0,02	7,7	geruchlos	farblos	keine	17:49	1900
Fr. 10	20,3	8,46	639	0,02	7	geruchlos	farblos	keine	18:19	1900
Fr. 11	20,4	8,47	637	0,02	8,1	geruchlos	farblos	keine	18:49	
Fr. 12	20,4	8,47	635	0,02	6,4	geruchlos	farblos	keine	19:19	1900
Fr. 13	19,0	8,05	632	0,02	3,6	deutlich org.	farblos	keine	09:37	1950
Fr. 14	20,0	7,91	625	0,02	3,3	deutlich org.	farblos	keine	17:37	1860
Fr. 15	19,4	7,8	625	0,02	3,4	stark org.	farblos	keine	09:30	1870
Fr. 16	21,0	7,86	624	0,02	3,2	stark org.	farblos	keine	17:30	1900

Labor Code 8 - Zementleim

Parallele - Säule C	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
Fraktionen										
BW	19,3	7,69	614	0,02	3,5	geruchlos	farblos	keine	09:48	1000
EW	20,5	7,58	616	0,13	3,3	geruchlos	farblos	keine	morgens	1000
Fr. 1	19,5	8,17	589	1,17	4,2	geruchlos	farblos	keine	13:42	2000
Fr. 2	19,6	8,09	769	0,21	23	geruchlos	farblos	keine	14:12	2000
Fr. 3	19,7	8,24	783	0,14	27,5	geruchlos	farblos	keine	14:42	1950
Fr. 4	19,9	8,5	716	0,07	18,5	geruchlos	farblos	keine	15:12	1950
Fr. 5	19,9	8,56	688	0,04	14	geruchlos	farblos	keine	15:42	2000
Fr. 6	20,0	8,59	669	0,02	11	geruchlos	farblos	keine	16:12	1900
Fr. 7	20,0	8,61	656	0,02	8,8	geruchlos	farblos	keine	16:42	1925
Fr. 8	20,1	8,62	648	0,02	8	geruchlos	farblos	keine	17:12	1970
Fr. 9	20,2	8,63	642	0,02	7,5	geruchlos	farblos	keine	17:42	2000
Fr. 10	20,2	8,64	639	0,02	6,8	geruchlos	farblos	keine	18:12	1950
Fr. 11	20,4	8,66	638	0,02	6,4	geruchlos	farblos	keine	18:42	1950
Fr. 12	20,4	8,63	637	0,05	6,1	geruchlos	farblos	keine	19:12	1990
Fr. 13	18,7	8,2	633	0,02	4	deutlich org.	farblos	keine	09:37	1900
Fr. 14	19,9	7,98	625	0,02	3,6	deutlich org.	farblos	keine	17:37	1900
Fr. 15	19,2	7,85	624	0,02	3,3	stark org.	farblos	keine	09:30	1970
Fr. 16	20,9	7,91	623	0,02	3,8	deutlich org.	farblos	keine	17:30	2050

Labor Code 8 Polyacrylat

Parallele - Säule A	Temp.	pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung	TOC	Geruch	Farbe	N. z. Schaumb.	Entnahmezeitpunkt [h:min]	Entnahmevolumen [l]
	[°C]		[µS/cm]	[FNU]	[mg/l]					
BW	20,5	7,74	633	0,35	2,9	geruchlos	farblos	keine	10:30	1000
EW	20,3	7,66	638	0,11	3,4	geruchlos	farblos	keine	10:40	1000
Fr. 1	20,5	7,75	633	0,48	2,9	geruchlos	farblos	keine	12:11	
Fr. 2	20,0	7,66	635	0,02	3,1	geruchlos	farblos	keine	12:41	2050
Fr. 3	20,9	7,69	639	0,02	5,3	geruchlos	farblos	keine	13:11	1850
Fr. 4	21,4	7,61	713	0,09	46	geruchlos	farblos	schwach, nicht stabil	13:41	1950
Fr. 5	21,6	7,58	1054	0,02	260	geruchlos	farblos	stark, nicht stabil	14:11	1975
Fr. 6	21,7	7,59	1341	0,02	465	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	14:41	1990
Fr. 7	21,8	7,68	997	0,02	245	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	15:11	1950
Fr. 8	21,8	7,72	796	0,25	115	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	15:41	1960
Fr. 9	21,7	7,73	729	0,75	50	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	16:11	2000
Fr. 10	21,5	7,78	699	0,76	30,5	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	16:41	2000
Fr. 11	21,4	7,75	686	0,58	20,5	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	17:11	2000
Fr. 12	21,3	7,75	682	0,37	16	schw. org.	farblos	schwach, nicht stabil	17:41	1950
Fr. 13	19,7	7,77	657	0,06	5,2	geruchlos	farblos	keine	09:40	2000
Fr. 14	20,1	7,69	658	0,04	4,7	geruchlos	farblos	keine	17:40	1900
Fr. 15	19,3	7,7	657	0,12	4,8	geruchlos	farblos	keine	09:40	2000
Fr. 16	19,4	7,75	641	0,02	5	geruchlos	farblos	keine	17:40	1900

Labor Code 8 Polyacrylat

Parallele - Säule B	Temp.	pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung	TOC	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
	[°C]		[µS/cm]	[FNU]	[mg/l]					
BW	20,4	7,71	635	0,16	2,9	geruchlos	farblos	keine	10:30	1000
EW	20,3	7,66	638	0,11	3,4	geruchlos	farblos	keine	10:40	1000
Fr. 1	20,3	7,79	632	2,63	3,1	geruchlos	farblos	keine	12:32	1750
Fr. 2	20,4	7,73	634	0,02	2,8	geruchlos	farblos	keine	13:02	1750
Fr. 3	20,8	7,65	634	0,02	3,3	geruchlos	farblos	keine	13:32	1970
Fr. 4	21,1	7,64	644	0,02	7	geruchlos	farblos	keine	14:02	1950
Fr. 5	21,4	7,6	867	0,02	160	geruchlos	farblos	stark, nicht stabil	14:32	1950
Fr. 6	21,6	7,61	1116	0,02	340	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	15:02	1940
Fr. 7	21,7	7,68	1072	0,02	305	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	15:32	1950
Fr. 8	21,6	7,7	875	0,02	170	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	16:02	2000
Fr. 9	21,4	7,74	761	0,15	68	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	16:32	1850
Fr. 10	21,3	7,71	791	0,61	42	schw. org.	farblos	stark, stabil	17:02	1950
Fr. 11	21,2	7,73	699	0,63	28	schw. org.	farblos	stark, stabil	17:32	1950
Fr. 12	21,1	7,74	689	0,66	21,5	schw. org.	farblos	stark, stabil	18:02	1950
Fr. 13	19,6	7,77	655	0,23	4,5	kein - schw.org.	farblos	schwach	09:40	1950
Fr. 14	20	7,71	656	0,02	4,4	geruchlos -	farblos	schwach, nicht stabil	17:40	1900
Fr. 15	19,1	7,71	655	0,03	4,1	kein - schw.org.	farblos	keine	09:40	2000
Fr. 16	19,2	7,74	642	0,02	4,1	geruchlos -	farblos	keine	17:40	1900

Labor Code 8 Polyacrylat

Parallele - Säule C	Temp.	pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung	TOC	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
	[°C]		[µS/cm]	[FNU]	[mg/l]					
BW	20,2	7,69	635	0,17	3,1	geruchlos	farblos	keine	10:30	1000
EW	20,3	7,66	638	0,11	3,4	geruchlos	farblos	keine	10:40	1000
Fr. 1	20,1	7,76	632	4,17	3,1	geruchlos	farblos	keine	12:56	1700
Fr. 2	20,3	7,66	634	0,02	3,3	geruchlos	farblos	keine	13:26	2020
Fr. 3	20,6	7,65	634	0,02	3,2	geruchlos	farblos	keine	13:56	2100
Fr. 4	20,8	7,63	680	0,07	29,5	geruchlos	farblos	schwach, nicht stabil	14:26	2050
Fr. 5	21,2	7,58	947	0,02	210	geruchlos	farblos	stark, nicht stabil	14:56	1970
Fr. 6	21,4	7,6	1168	0,03	365	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	15:26	2040
Fr. 7	21,4	7,66	961	0,06	220	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	15:56	2000
Fr. 8	21,3	7,68	800	0,49	125	schw. org.	farblos	stark, stabil	16:26	2000
Fr. 9	21,3	7,72	741	1,08	56,5	schw. org.	farblos	stark, nicht stabil	16:56	2000
Fr. 10	21,1	7,73	713	1,2	40	schw. org.	farblos	stark, stabil	17:26	2050
Fr. 11	20,0	7,74	695	1,03	26	schw. org.	farblos	stark, stabil	17:56	1950
Fr. 12	21,0	7,76	685	0,82	18	schw. org.	farblos	stark, stabil	18:26	2000
Fr. 13	19,4	7,78	655	0,21	6	geruchlos	farblos	keine - schwach	09:40	2000
Fr. 14	19,8	7,69	656	0,02	4,3	geruchlos	farblos	schwach, nicht stabil	17:40	2000
Fr. 15	19,0	7,76	655	0,02	4,1	geruchlos	farblos	keine	09:40	2150
Fr. 16	19,1	7,74	642	0,02	4,2	geruchlos	farblos	keine	17:40	2020

Labor Code 10 - Zementleim

Parallele - Säule A Fraktionen	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
BW	19,2	7,78	637	0,39	2,7	geruchlos	farblos	keine	07:00	2
EW	18,2	7,83	636	0,29	2,2	geruchlos	farblos	keine	07:30	2
Fr. 1	20	7,86	772	0,27	19	geruchlos	farblos	keine	10:00	1,72
Fr. 2	20	8,16	883	0,51	38	geruchlos	farblos	keine	10:30	1,72
Fr. 3	20	9,28	786	0,25	28	geruchlos	farblos	keine	11:00	1,66
Fr. 4	20	9,2	717	0,13	20	geruchlos	farblos	keine	11:30	1,84
Fr. 5	20	9,01	679	0,18	13	geruchlos	farblos	keine	12:00	2,00
Fr. 6	20	9,02	660	0,1	9,7	geruchlos	farblos	keine	12:30	2,00
Fr. 7	20	9,12	659	0,11	7,8	geruchlos	farblos	keine	13:00	1,95
Fr. 8	20	9,15	652	<0,1	6,7	geruchlos	farblos	keine	13:30	1,98
Fr. 9	20,2	9,13	647	0,13	6	geruchlos	farblos	keine	14:00	1,94
Fr. 10	20,2	9,1	640	0,1	5,5	geruchlos	farblos	keine	14:30	1,96
Fr. 11	20,2	8,95	625	0,23	2,5	geruchlos	farblos	keine	15:00	1,94
Fr. 12	20,2	8,76	621	0,27	2,2	geruchlos	farblos	keine	15:30	19,6
Fr. 13	20,2	8,33	617	0,28	1,9	faulig, H ₂ S stark	farblos	keine	07:00	1,92
Fr. 14	20,4	8,22	614	0,32	2	faulig, H ₂ S stark	farblos	keine	15:00	1,90
Fr. 15	20,2	7,94	629	0,17	1,8	faulig, H ₂ S etwas geringer	farblos	keine	07:00	1,82
Fr. 16	20,2	8,15	606	0,58	1,7	faulig, H ₂ S etwas geringer	farblos	keine	15:00	2,00

Labor Code 10 - Zementleim

Parallele - Säule B	Temp.	pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung	TOC	Geruch	Farbe	N. z. Schaumbildung	Entnahmezeitpunkt [h:min]	Entnahmevolumen [l]
Fraktionen										
BW	20,1	7,72	630	0,32	2,8	geruchlos	farblos	keine	07:00	2
EW	19,3	8,15	662	0,14	6,4	geruchlos	farblos	keine	07:30	2
Fr. 1	20,4	8,39	874	0,13	36	geruchlos	farblos	keine	10:00	2,033
Fr. 2	20,4	9,4	771	<0,1	24	geruchlos	farblos	keine	10:30	2,02
Fr. 3	20,4	9,29	703	<0,1	16	geruchlos	farblos	keine	11:00	2
Fr. 4	20,4	9,33	678	<0,1	13	geruchlos	farblos	keine	11:30	2,017
Fr. 5	20,4	9,35	666	<0,1	9,7	geruchlos	farblos	keine	12:00	2
Fr. 6	20,5	9,31	654	<0,1	8	geruchlos	farblos	keine	12:30	2
Fr. 7	20,6	9,25	639	<0,1	6,9	geruchlos	farblos	keine	13:00	2
Fr. 8	20,6	9,26	640	<0,1	6,4	geruchlos	farblos	keine	13:30	2
Fr. 9	20,8	9,25	631	<0,1	5,8	geruchlos	farblos	keine	14:00	2
Fr. 10	20,7	9,11	621	<0,1	5,8	geruchlos	farblos	keine	14:30	2,019
Fr. 11	21	8,94	620	<0,1	2,3	geruchlos	farblos	keine	15:00	2
Fr. 12	20,6	8,76	615	0,1	2	geruchlos	farblos	keine	15:30	2
Fr. 13	20,8	8,45	613	0,15	1,9	geringer H ₂ S Geruch	farblos	keine	07:00	1,96
Fr. 14	21	8,34	609	<0,1	1,8	starker H ₂ S Geruch	farblos	keine	15:00	1,94
Fr. 15	20,4	7,83	614	0,12	1,8	starker H ₂ S Geruch	farblos	keine	07:00	1,9
Fr. 16	20,1	8,11	613	<0,1	1,7	starker H ₂ S Geruch	farblos	keine	15:00	2,04

Labor Code 10 - Zementleim

Parallele - Säule C	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübung [FNU]		TOC [mg/l]	Geruch	Farbe	N. z. Schaumbildung	Entnahmezeitpunkt [h:min]	Entnahmevolumen [l]
Fraktionen											
BW	22	7,86	619	0,15	1,9	geruchlos	farblos	keine	07:00	1,93	
EW	18,2	8,19	615	0,21	1,7	geruchlos	farblos	keine	07:30	2	
Fr. 1	20,6	7,75	628	0,35	2,3	geruchlos	farblos	keine	10:00	2	
Fr. 2	20,6	7,75	696	0,33	9,6	geruchlos	farblos	keine	10:30	2	
Fr. 3	20,8	8,23	851	0,12	33	geruchlos	farblos	keine	11:00	2,02	
Fr. 4	20,8	9,48	769	0,14	23	geruchlos	farblos	keine	11:30	2	
Fr. 5	21	9,54	709	0,1	15	geruchlos	farblos	keine	12:00	2,01	
Fr. 6	21	9,5	682	0,11	11	geruchlos	farblos	keine	12:30	2	
Fr. 7	21	9,25	653	<0,1	8,3	geruchlos	farblos	keine	13:00	2,02	
Fr. 8	21	9,46	661	<0,1	7	geruchlos	farblos	keine	13:30	2	
Fr. 9	21,2	9,48	655	<0,1	6,1	geruchlos	farblos	keine	14:00	2,02	
Fr. 10	21,2	9,15	629	<0,1	5,5	geruchlos	farblos	keine	14:30	2	
Fr. 11	21,2	9,37	641	<0,1	5,2	geruchlos	farblos	keine	15:00	2,018	
Fr. 12	21,6	9,4	631	0,11	4,9	geruchlos	farblos	keine	15:30	2	
Fr. 13	22	9,02	626	0,12	2,2	Geruch nach H ₂ S	farblos	keine	07:15	1,96	
Fr. 14	22,4	8,78	622	0,12	2	stark nach H ₂ S	farblos	keine	15:15	1,94	
Fr. 15	21,8	8,33	622	0,21	1,9	stark nach H ₂ S	farblos	keine	07:15	1,9	
Fr. 16	22,1	8,17	619	0,16	1,8	stark nach H ₂ S	farblos	keine	15:15	1,98	

Labor Code 10 Polyacrylat

Fraktionen	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Farbe	N. z. Schaumb.	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Ent- nahme- volumen [l]
BW	24,7	7,71	637	0,30	1,8	geruchlos	farblos	keine	07:00	2,010
EW	24,6	8,19	599	1,22	1,8	geruchlos	farblos	keine	08:00	2
Fr. 1	24,8	7,75	614	0,37	1,7	geruchlos	farblos	keine	08:30	1,800
Fr. 2	25,0	7,74	650	0,22	24	geruchlos	farblos	leichte Schaumb.	09:00	1,840
Fr. 3	25,6	7,52	1010	0,19	250	geruchlos	farblos	schwach, instabil	09:30	1,940
Fr. 4	25,5	7,60	1090	0,31	300	geruchlos	farblos	schwach, instabil	10:00	1,915
Fr. 5	25,6	7,74	811	0,24	120	schwach organisch	farblos	schwach, instabil	10:30	1,920
Fr. 6	25,4	7,77	704	0,35	58	schwach organisch	farblos	schwach, instabil	11:00	1,890
Fr. 7	25,2	7,78	663	0,30	32	schwach organisch	farblos	schwach, nach 30s zurückgeg.	11:30	1,910
Fr. 8	25,0	7,79	651	0,23	20	schwach organisch	farblos	stabil (60s)	12:00	1,890
Fr. 9	24,8	7,75	640	0,23	13	schwach organisch	farblos	stabil (60s)	12:30	1,900
Fr. 10	24,8	7,74	632	0,20	9,3	schwach organisch	farblos	schwach, instabil	13:00	1,900
Fr. 11	24,6	7,71	626	0,19	7,6	schwach organisch	farblos	schwach, instabil	13:30	1,910
Fr. 12	24,6	7,75	630	0,20	6,3	schwach organisch	farblos	schwach, instabil	14:00	1,900
Fr. 13	24,0	7,71	617	0,21	3,3	schwach organisch	farblos	schwach, instabil	07:00	1,940
Fr. 14	24,6	7,74	612	0,19	2,8	geruchlos	farblos	schwach, instabil	15:00	1,960
Fr. 15	24,4	7,74	610	0,18	2,5	geruchlos	farblos	schwach, instabil	07:00	1,920
Fr. 16	25,1	7,76	607	0,17	2,5	geruchlos	farblos	schwach, instabil	15:30	1,960

Labor Code 10 Polyacrylat

Parallele - Säule B	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
Fraktionen										
BW	23,4	7,84	599	0,25	2	geruchlos	farblos	keine	07:00	1,970
EW	23,5	8,19	585	1,17	1,7	geruchlos	farblos	keine	07:30	2
Fr. 1	23,5	7,87	582	0,3	1,9	geruchlos	farblos	keine	08:45	1,960
Fr. 2	23,5	7,84	582	0,47	1,8	geruchlos	farblos	keine	09:15	2,044
Fr. 3	23,9	7,84	618	0,26	23	geruchlos	farblos	schwach, instabil	09:45	2,054
Fr. 4	24,4	7,60	1040	0,37	270	schwach organisch	farblos	stark, instabil	10:15	2,032
Fr. 5	24,6	7,64	1110	0,18	320	schwach organisch	farblos	stark, instabil	10:45	2,073
Fr. 6	24,8	7,64	875	0,17	170	schwach organisch	farblos	stark, instabil	11:15	2,010
Fr. 7	24,6	7,91	724	0,26	78	schwach organisch	farblos	stark, instabil	11:45	2,030
Fr. 8	24,6	7,94	647	0,37	36	schwach organisch	farblos	stark, instabil	12:15	2,009
Fr. 9	24,5	7,95	629	0,38	25	schwach organisch	farblos	stark, instabil	12:45	2,018
Fr. 10	24,4	7,92	617	0,39	18	schwach organisch	farblos	stark, instabil	13:15	2,000
Fr. 11	24,4	7,98	607	0,32	14	schwach organisch	farblos	stark, stabil (2 Min.)	13:45	2,000
Fr. 12	24,4	7,95	604	0,31	12	schwach organisch	farblos	schwach, noch stabil	14:15	1,960
Fr. 13	24,0	7,80	603	0,28	4,3	geruchlos	farblos	schwach, instabil	07:00	1,925
Fr. 14	24,0	7,80	596	0,3	3,7	geruchlos	farblos	schwach, instabil	15:00	1,940
Fr. 15	23,8	7,79	607	0,27	3,3	geruchlos	farblos	schwach, instabil	07:00	1,900
Fr. 16	24,4	7,78	601	0,19	3,2	geruchlos	farblos	schwach, instabil	15:00	1,980

Labor Code 10 Polyacrylat

Parallele - Säule C Fraktionen	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübung		TOC [mg/l]	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
				[FNU]	[mg/l]						
BW	20,7	7,67	605	0,19	2	geruchlos	farblos	keine	07:00	1,980	
EW	20,7	8,15	602	0,78	1,8	geruchlos	farblos	keine	07:40	2	
Fr. 1	20,8	7,69	616	0,23	1,9	geruchlos	farblos	keine	08:35	2,074	
Fr. 2	20,8	7,75	628	0,12	13	geruchlos	farblos	keine	09:05	2,078	
Fr. 3	21,6	7,60	655	0,14	150	geruchlos	farblos	gering, instabil	09:35	2,088	
Fr. 4	22,0	7,61	1100	0,09	300	geruchlos	farblos	instabil	10:05	2,086	
Fr. 5	22,0	7,79	847	0,44	140	schwach organisch	farblos	stabil (50s)	10:35	2,088	
Fr. 6	22,0	7,82	716	0,84	67	schwach organisch	farblos	stabil (50s)	11:05	2,084	
Fr. 7	21,8	7,82	664	0,76	37	schwach organisch	farblos	stabil	11:35	2,075	
Fr. 8	21,6	7,82	646	0,72	24	schwach organisch	farblos	stabil	12:05	2,076	
Fr. 9	21,2	7,83	636	0,54	17	schwach organisch	farblos	stabil	12:35	2,088	
Fr. 10	21,2	7,83	629	0,5	13	schwach organisch	farblos	stabil	13:05	2,084	
Fr. 11	21,2	7,86	626	0,36	12	schwach organisch	farblos	stabil	13:35	2,084	
Fr. 12	21,2	7,85	625	0,29	9,9	schwach organisch	farblos	stabil	14:05	2,054	
Fr. 13	21,1	7,82	643	0,22	3,3	geruchlos	farblos	keine	07:15	1,890	
Fr. 14	21,4	7,83	652	0,13	2,9	geruchlos	farblos	keine	15:15	2,054	
Fr. 15	21,4	7,84	658	0,1	2,6	geruchlos	farblos	keine	07:15	2,035	
Fr. 16	21,8	7,84	660	0,27	2,5	geruchlos	farblos	keine	15:15	2,028	

Labor Code 12 - Zementleim

Parallele - Säule D Fraktionen	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
BW	23,9	7,81	511	0,30	2,7	sandig	farblos	keine	09:00	2
EW	20,1	7,48	512	0,13	2,8	ohne	farblos	keine	09:05	2
Fr. 1	23,4	8,01	591	3,87	21,3	stark kalkig sandig	schwach gelblig	keine	09:05	1,6
Fr. 2	23,6	8,69	759	0,49	43,0	stark kalkig sandig	farblos	keine	09:35	2
Fr. 3	23,7	8,88	608	0,24	16,2	stark sandig	farblos	keine	10:05	2
Fr. 4	23,8	8,93	590	0,23	12,5	stark sandig	farblos	keine	10:35	2
Fr. 5	23,9	9,0	572	0,21	9,8	stark sandig	farblos	keine	11:05	2
Fr. 6	23,8	9,01	555	0,21	7,5	stark sandig	farblos	keine	11:35	2
Fr. 7	23,7	8,93	542	0,20	6,5	stark sandig	farblos	keine	12:05	2
Fr. 8	23,7	8,73	536	0,19	5,9	schwach sandig	farblos	keine	12:35	2
Fr. 9	23,6	8,91	529	0,18	5,4	schwach sandig	farblos	keine	13:05	2
Fr. 10	23,7	8,87	526	0,18	5,2	schwach sandig	farblos	keine	13:35	2
Fr. 11	23,4	8,61	523	0,17	4,9	schwach sandig	farblos	keine	14:05	2
Fr. 12	23,6	8,68	521	0,17	4,8	schwach sandig	farblos	keine	14:35	2
Fr. 13	23,7	8,15	502	0,19	2,8	stark faulig	farblos	keine	08:30	2
Fr. 14	22,9	8,04	503	0,16	2,7	stark faulig	farblos	keine	16:30	2
Fr. 15	23,0	7,87	499	0,16	2,7	stark faulig	farblos	keine	07:30	2
Fr. 16	23,0	7,93	503	0,13	2,7	stark faulig	farblos	keine	15:30	2

Labor Code 12 - Zementleim

Parallele - Säule E	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
Fraktionen										
BW	23,9	7,81	511	0,30	2,7	sandig	farblos	keine	09:00	2
EW	20,1	7,48	512	0,13	2,8	ohne	farblos	keine	09:05	2
Fr. 1	23,4	8,19	658	6,68	30,3	stark erdig	schwach gelblich	keine	09:05	1,6
Fr. 2	23,6	8,68	692	0,53	31,7	stark erdig	farblos	keine	09:35	2
Fr. 3	23,7	8,99	617	0,25	15,2	stark erdig	farblos	keine	10:05	2
Fr. 4	23,8	9,03	575	0,21	8,9	schwach sandig	farblos	keine	10:35	2
Fr. 5	23,8	9,03	560	0,22	6,5	schwach sandig	farblos	keine	11:05	2
Fr. 6	23,8	8,92	549	0,21	5,8	schwach sandig	farblos	keine	11:35	2
Fr. 7	23,8	8,83	542	0,20	5,3	schwach sandig	farblos	keine	12:05	2
Fr. 8	23,7	8,81	537	0,23	5,1	schwach sandig	farblos	keine	12:35	2
Fr. 9	23,7	8,85	534	0,20	5,0	schwach sandig	farblos	keine	13:05	2
Fr. 10	23,7	8,81	532	0,19	4,8	schwach sandig	farblos	keine	13:35	2
Fr. 11	23,6	8,75	530	0,20	4,7	schwach sandig	farblos	keine	14:05	2
Fr. 12	23,9	8,67	522	0,18	4,5	schwach sandig	farblos	keine	14:35	2
Fr. 13	23,7	8,03	504	0,20	2,7	stark faulig	farblos	keine	08:30	2
Fr. 14	23,1	7,95	505	0,18	2,7	stark faulig	farblos	keine	16:30	2
Fr. 15	23,2	7,80	502	0,17	2,7	stark faulig	farblos	keine	07:30	2
Fr. 16	23,3	7,84	503	0,17	2,7	stark faulig	farblos	keine	15:30	2

Labor Code 12 - Zementleim

Parallele - Säule F	Temp. [°C]	pH-Wert	elektr. Leitf. [µS/cm]	Trübung [FNU]	TOC [mg/l]	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
Fraktionen										
BW	23,9	7,81	511	0,30	2,7	sandig	farblos	keine	09:00	2
EW	20,1	7,48	512	0,13	2,8	ohne	farblos	keine	09:05	2
Fr. 1	23,5	8,27	493	1,63	3,5	stark sandig	schwach gelblich	keine	09:05	1,8
Fr. 2	23,5	8,28	519	0,26	4,4	stark sandig	farblos	keine	09:35	2
Fr. 3	23,6	8,43	592	0,25	10,7	mineralisch	farblos	keine	10:05	2
Fr. 4	23,8	8,44	674	0,25	24,9	mineralisch	farblos	keine	10:35	2
Fr. 5	23,7	8,67	603	0,20	15,6	mineralisch	farblos	keine	11:05	2
Fr. 6	24,0	8,51	564	0,21	10,4	schwach sandig	farblos	keine	11:35	2
Fr. 7	24,0	8,51	547	0,18	7,7	schwach sandig	farblos	keine	12:05	2
Fr. 8	24,1	8,50	536	0,17	6,4	schwach sandig	farblos	keine	12:35	2
Fr. 9	24,0	8,70	529	0,21	5,7	schwach sandig	farblos	keine	13:05	2
Fr. 10	24,0	8,67	527	0,16	5,3	schwach sandig	farblos	keine	13:35	2
Fr. 11	23,9	8,80	530	0,17	5,0	schwach sandig	farblos	keine	14:05	2
Fr. 12	23,7	8,70	518	0,17	4,7	schwach sandig	farblos	keine	14:35	2
Fr. 13	23,7	8,01	496	0,17	2,8	stark faulig	farblos	keine	08:30	2
Fr. 14	23,4	7,95	498	0,16	2,7	stark faulig/sandig	farblos	keine	16:30	2
Fr. 15	23,1	7,75	498	0,15	2,7	stark faulig	farblos	keine	07:30	2
Fr. 16	23,1	7,88	500	0,17	2,7	stark faulig	farblos	keine	15:30	2

Labor Code 12 Polyacrylat

Parallele - Säule D	Temp.	pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung	Geruch	Farbe	N. z. Schaumb.	Entnahmezeitpunkt [h:min]	Entnahmevolumen [l]
	[°C]		[µS/cm]	[FNU]					
BW	22,5	7,92	495	0,12	sandig	farblos	keine	07:00	2,0
EW	22,6	7,96	506	0,12	ohne	farblos	keine	08:00	2,0
Fr. 1	21,4	7,94	497	0,55	stark sandig	farblos	keine	08:35	1,6
Fr. 2	21,6	7,82	500	0,13	stark sandig	farblos	stark nicht stabil	09:05	2,0
Fr. 3	22,3	7,66	636	0,16	schwach sandig	farblos	stark nicht stabil	09:35	2,0
Fr. 4	22,6	7,53	1023	0,14	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	10:05	2,0
Fr. 5	22,9	7,53	1126	0,13	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	10:35	2,0
Fr. 6	23,1	7,65	848	0,14	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	11:05	2,0
Fr. 7	23,0	7,60	653	0,16	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	11:35	2,0
Fr. 8	23,0	7,64	584	0,26	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	12:05	2,0
Fr. 9	22,7	7,64	560	0,28	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	12:35	2,0
Fr. 10	22,5	7,69	545	0,3	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	13:05	2,0
Fr. 11	22,5	7,66	533	0,32	schwach organisch	farblos	schwach nicht stabil	13:35	2,0
Fr. 12	22,3	7,76	530	0,37	schwach organisch	farblos	schwach nicht stabil	14:05	2,0
Fr. 13	21,4	7,72	504	0,14	schwach organisch	farblos	keine	07:35	2,0
Fr. 14	21,5	7,47	495	0,32	schwach sandig	farblos	keine	15:35	2,0
Fr. 15	21,5	7,80	497	0,19	schwach sandig	farblos	keine	07:35	2,0
Fr. 16	22,1	7,60	497	0,53	schwach sandig	farblos	keine	15:35	2,0

Labor Code 12 Polyacrylat

Parallele - Säule E	Temp.	pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
	[°C]		[µS/cm]	[FNU]					
BW	22,5	7,92	495	0,12	sandig	farblos	keine	07:00	2,0
EW	22,6	7,96	506	0,12	ohne	farblos	keine	08:00	2,0
Fr. 1	21,6	7,81	495	0,51	stark sandig	farblos	keine	08:50	1,4
Fr. 2	21,8	7,78	499	0,31	stark sandig	farblos	keine	09:20	2,0
Fr. 3	22,1	7,89	570	0,56	schwach sandig	farblos	schwach nicht stabil	09:50	2,0
Fr. 4	22,6	7,46	1025	0,16	stark organisch	farblos	schwach nicht stabil	10:20	2,0
Fr. 5	22,3	7,42	1058	0,27	stark organisch	farblos	schwach nicht stabil	10:50	2,0
Fr. 6	22,9	7,37	825	0,17	stark organisch	farblos	schwach nicht stabil	11:20	2,0
Fr. 7	22,8	7,67	663	0,26	stark organisch	farblos	schwach nicht stabil	11:50	2,0
Fr. 8	22,7	7,57	600	0,5	schwach organisch	farblos	schwach nicht stabil	12:20	2,0
Fr. 9	22,6	7,62	578	0,31	schwach organisch	farblos	schwach nicht stabil	12:50	2,0
Fr. 10	22,5	7,59	560	0,29	schwach sandig	farblos	schwach nicht stabil	13:20	2,0
Fr. 11	22,5	7,58	551	0,24	schwach sandig	farblos	schwach nicht stabil	13:50	2,0
Fr. 12	22,3	7,62	546	0,21	schwach sandig	farblos	schwach nicht stabil	14:20	2,0
Fr. 13	21,5	7,77	506	0,16	schwach sandig	farblos	keine	07:35	2,0
Fr. 14	21,7	7,68	499	0,5	schwach sandig	farblos	keine	15:35	2,0
Fr. 15	21,7	7,73	500	0,25	schwach sandig	farblos	keine	07:35	2,0
Fr. 16	22,4	7,75	497	0,43	schwach sandig	farblos	keine	15:35	2,0

Labor Code 12 Polyacrylat

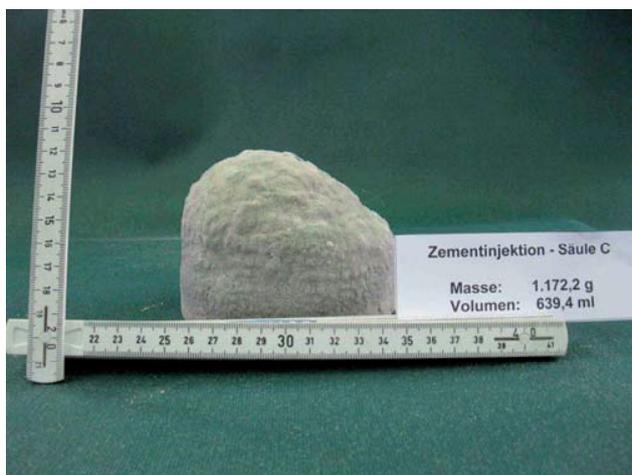
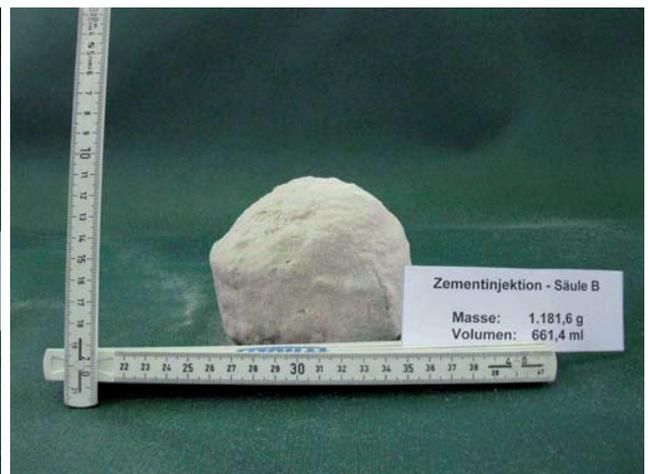
Parallele - Säule F	Temp.	pH-Wert	elektr. Leitf.	Trübung	Geruch	Farbe	N. z. Schaum- bildung	Entnahme- zeitpunkt [h:min]	Entnahme- volumen [l]
	[°C]		[µS/cm]	[FNU]					
BW	22,5	7,92	495	0,12	sandig	farblos	keine	07:00	2,0
EW	22,6	7,96	506	0,12	ohne	farblos	keine	08:00	2,0
Fr. 1	21,4	7,85	498	0,63	stark sandig	farblos	keine	09:10	1,6
Fr. 2	21,7	7,67	496	0,16	stark sandig	farblos	keine	09:40	2,0
Fr. 3	22,2	7,74	497	0,15	stark sandig	farblos	keine	10:10	2,0
Fr. 4	22,4	7,47	651	0,35	schwach organisch	farblos	stark nicht stabil	10:40	2,0
Fr. 5	22,8	7,47	954	0,18	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	11:10	2,0
Fr. 6	23	7,48	1069	0,14	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	11:40	2,0
Fr. 7	23	7,56	934	0,15	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	12:10	2,0
Fr. 8	22,9	7,6	781	0,15	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	12:40	2,0
Fr. 9	23,1	7,63	680	0,22	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	13:10	2,0
Fr. 10	22,9	7,59	605	0,28	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	13:40	2,0
Fr. 11	22,6	7,63	569	0,3	stark organisch	farblos	stark nicht stabil	14:10	2,0
Fr. 12	22,6	7,79	539	0,29	schwach organisch	farblos	schwach nicht stabil	14:40	2,0
Fr. 13	21,5	7,57	507	0,17	schwach sandig	farblos	keine	07:35	2,0
Fr. 14	22	7,57	500	0,46	ohne	farblos	keine	15:35	2,0
Fr. 15	21,6	7,73	500	0,21	ohne	farblos	keine	07:35	2,0
Fr. 16	22,3	7,71	497	0,41	ohne	farblos	keine	15:35	2,0

Anhang 10 Dokumentation Probekörper Vergleichsuntersuchung



Labor 10: Polyacrylat



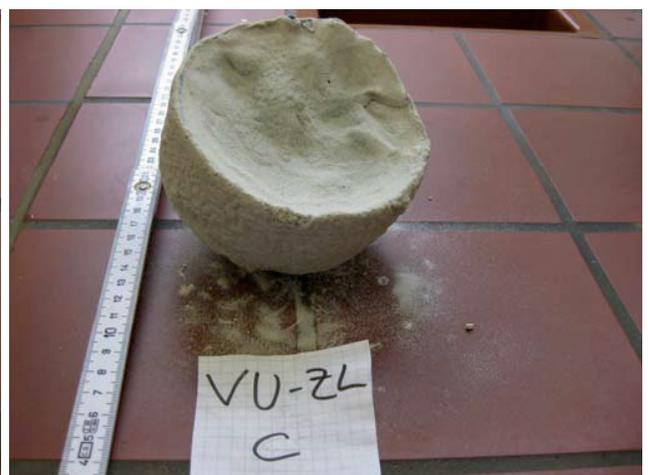


Labor 10: Zementleim mit Biozid

Labor 8: Polyacrylat



Labor 8: Zementleim mit Biozid



Anhang 11 Parametervergleich und graphische Auswertung (Boxplots)

Modifizierte Arbeitsanweisung (DIN Form)

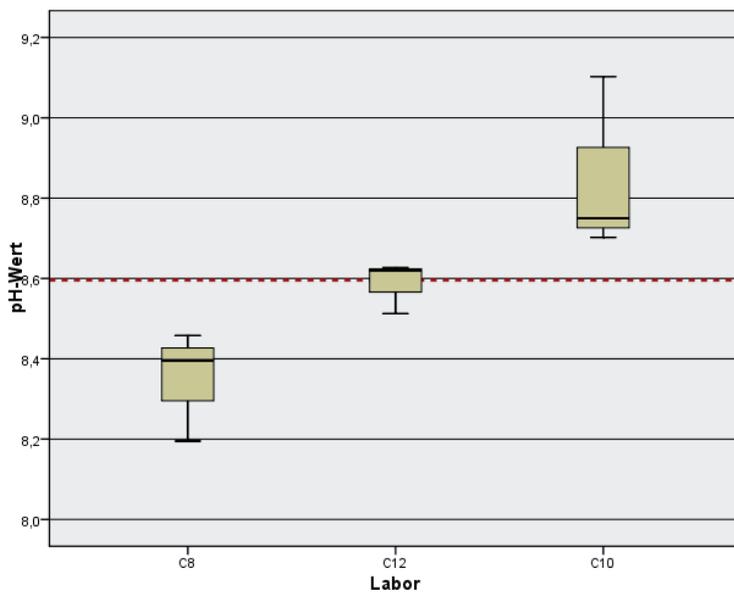
Elution von Bauprodukten – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln

Probe : VU-ZL Mischprobe 90%iger TOC

Merkmal : pH-Wert

Mittelwert : 8,6
 Vergleichs-STD (s_R): 0,28
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 3,27 %
 Wiederhol-STD (s_r): 0,15
 Rel. Wiederhol-STD (CV_r): 1,79 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



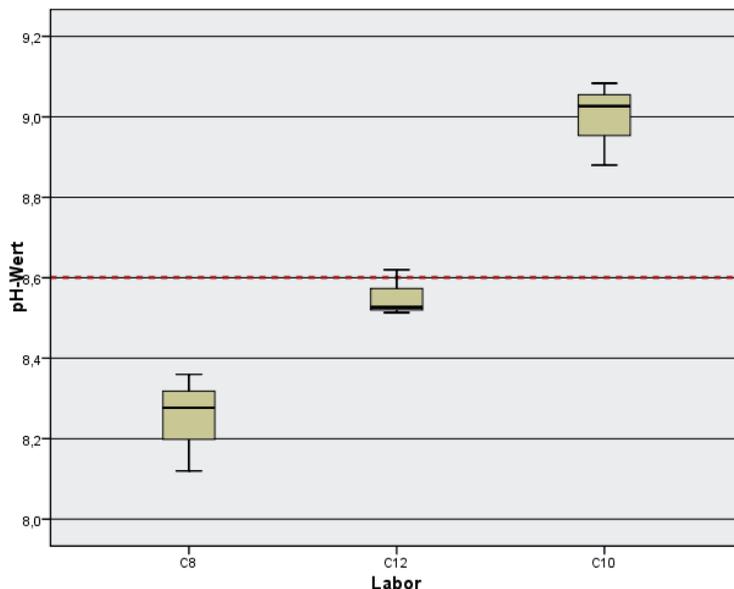
	C8	C12	C10
Säule A	8,46	8,63	8,70
Säule B	8,20	8,62	9,10
Säule C	8,40	8,51	8,75
MW	8,35	8,59	8,85

Probe : VU-ZL Mischprobe drei höchste TOC

Merkmal : pH-Wert

Mittelwert : 8,69
 Vergleichs-STD (s_R): 0,28
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 3,18 %
 Wiederhol-STD (s_r): 0,10
 Rel. Wiederhol-STD (CV_r): 1,14 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



	C8	C12	C10
Säule A	8,36	8,53	8,88
Säule B	8,12	8,62	9,03
Säule C	8,28	8,51	9,08
MW	8,25	8,55	9,00

Modifizierte Arbeitsanweisung (DIN Form)

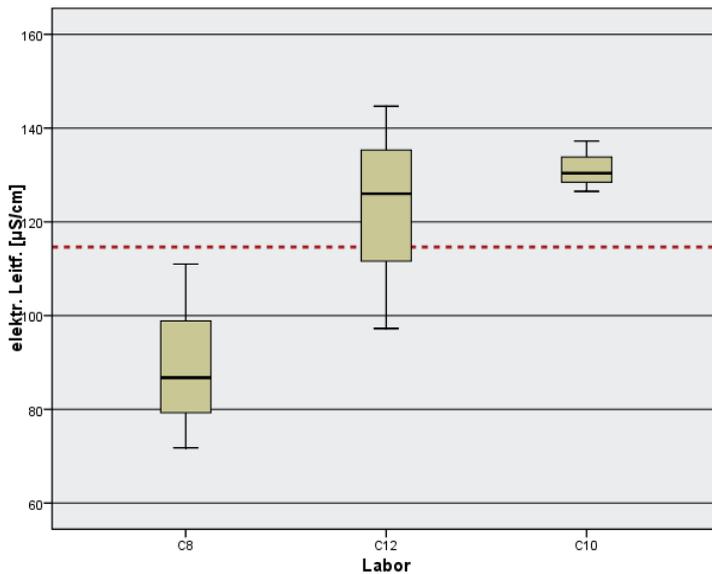
Elution von Bauprodukten – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln

Probe : VU-ZL Mischprobe 90%iger TOC

Merkmal : elektrische Leitfähigkeit

Mittelwert : 114,62 $\mu\text{S/cm}$
 Vergleichs-STD (s_R): 26,45 $\mu\text{S/cm}$
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 23,08 %
 Wiederhol-STD (s_r): 18,18 $\mu\text{S/cm}$
 Rel. Wiederhol-STD (CV_r): 15,86 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



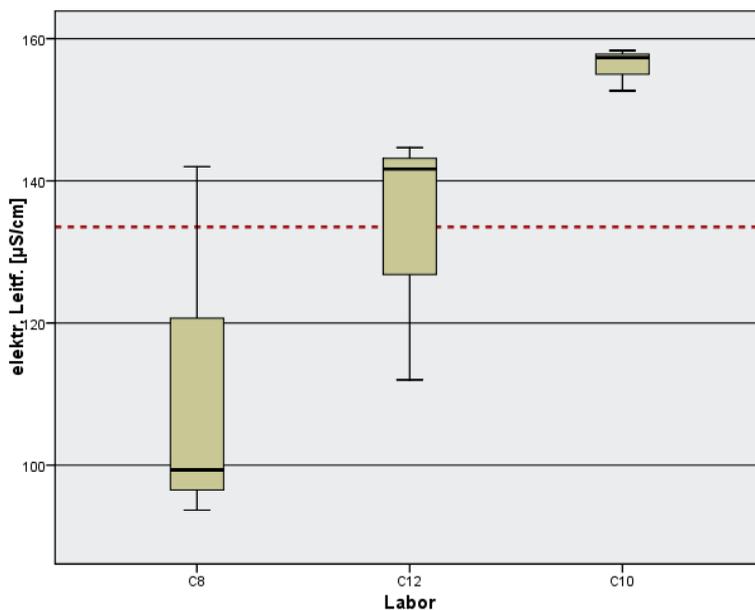
	C8	C12	C10
Säule A	72	126	130
Säule B	87	145	127
Säule C	111	97	137
MW	90	123	131

Probe : VU-ZL Mischprobe drei höchste TOC

Merkmal : elektrische Leitfähigkeit

Mittelwert : 134 $\mu\text{S/cm}$
 Vergleichs-STD (s_R): 26,77 $\mu\text{S/cm}$
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 19,98 %
 Wiederhol-STD (s_r): 18,56 $\mu\text{S/cm}$
 Rel. Wiederhol-STD (CV_r): 13,85 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



	C8	C12	C10
Säule A	94	142	158
Säule B	99	145	153
Säule C	142	112	157
MW	112	133	156

Modifizierte Arbeitsanweisung (DIN Form)

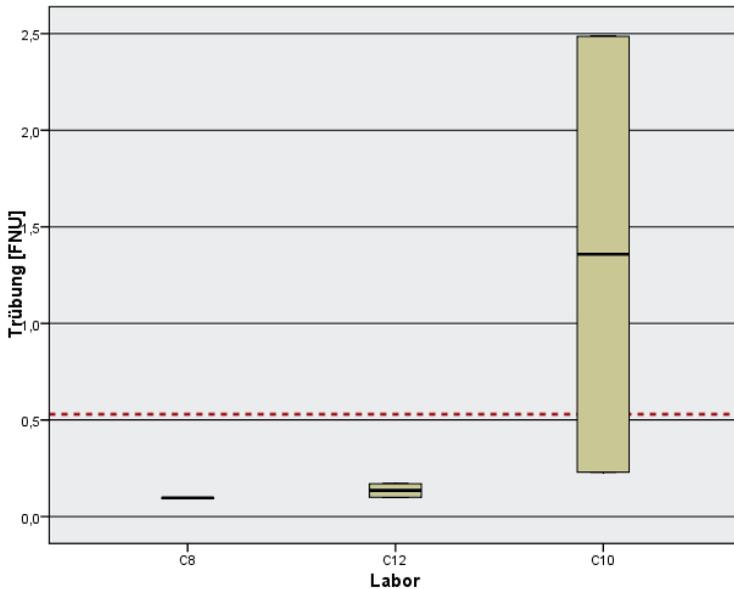
Elution von Bauprodukten – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln

Probe : VU-ZL Mischprobe 90%iger TOC

Merkmal : Trübung

Mittelwert : 0,53 FNU
 Vergleichs-STD (s_R): 0,86 FNU
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 162,26 %
 Wiederhol-STD (s_i): 0,65 FNU
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 122,64 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 8
 Anzahl Ausreißer: 1



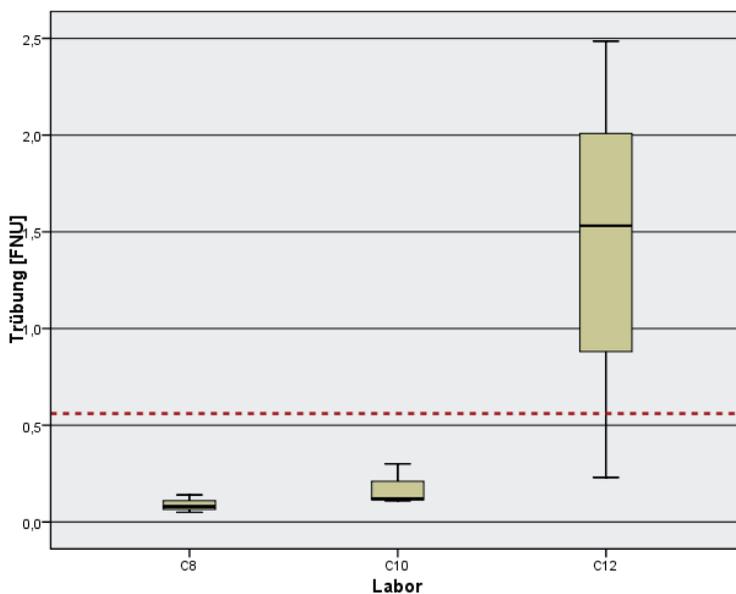
	C8	C10	C12
Säule A	0,06	1,21	0,27
Säule B	0,10	2,49	0,10
Säule C	0,10	0,23	0,17
MW	0,10	1,31	0,18

Probe : VU-ZL Mischprobe drei höchste TOC

Merkmal : Trübung

Mittelwert : 0,56 FNU
 Vergleichs-STD (s_R): 0,92 FNU
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 164,29 %
 Wiederhol-STD (s_i): 0,66 FNU
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 117,86 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



	C8	C12	C10
Säule A	0,08	1,53	0,30
Säule B	0,05	2,49	0,11
Säule C	0,14	0,23	0,12
MW	0,09	1,42	0,18

Modifizierte Arbeitsanweisung (DIN Form)

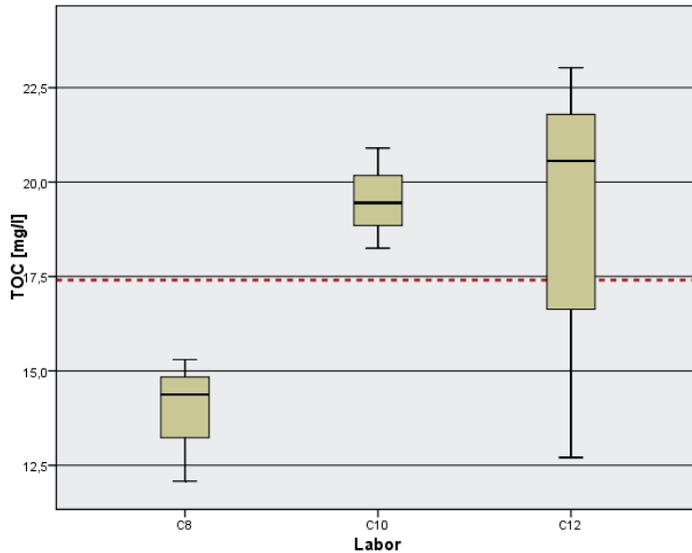
Elution von Bauprodukten – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln

Probe : VU-ZL Mischprobe 90%iger TOC

Merkmal : TOC

Mittelwert : 17 mg/l
 Vergleichs-STD (s_R): 4,09 mg/l
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 23,50 %
 Wiederhol-STD (s_i): 3,34 mg/l
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 19,22 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



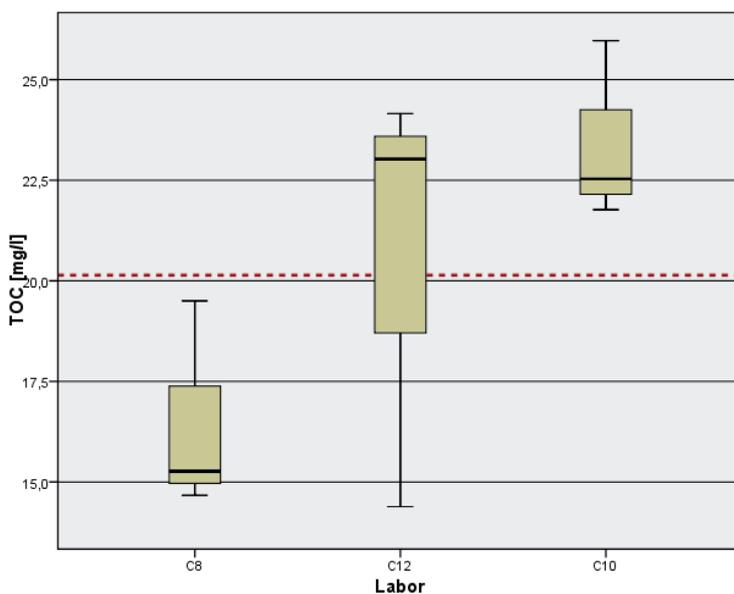
	C8	C10	C12
Säule A	12,1	20,9	20,6
Säule B	14,4	19,5	23,0
Säule C	15,3	18,3	12,7
MW	13,9	19,5	18,8

Probe : VU-ZL Mischprobe drei höchste TOC

Merkmal : TOC

Mittelwert : 20 mg/l
 Vergleichs-STD (s_R): 4,60 mg/l
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 22,84 %
 Wiederhol-STD (s_i): 3,67 mg/l
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 18,24 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



	C8	C12	C10
Säule A	15	24	26
Säule B	15	23	23
Säule C	20	14	22
MW	16	21	23

Modifizierte Arbeitsanweisung (DIN Form)

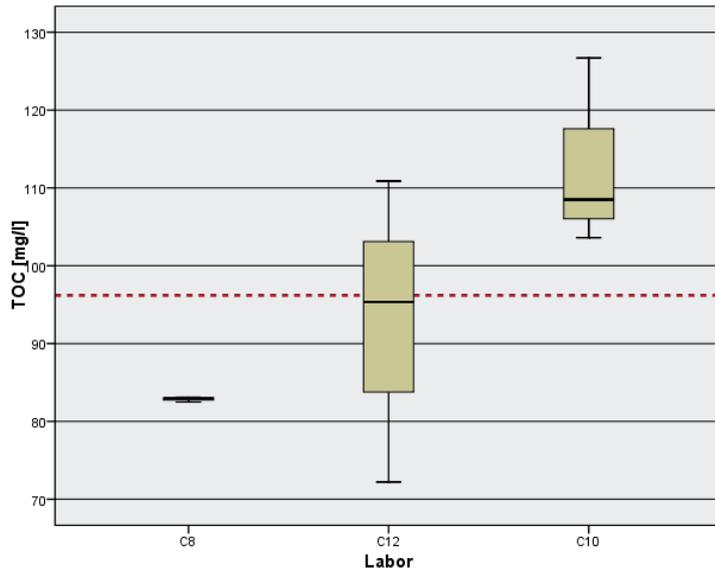
Elution von Bauprodukten – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln

Probe : VU-ZL TOC aller Fraktionen

Merkmal : TOC_{ges}

Mittelwert : 96 mg/l
 Vergleichs-STD (s_R): 19,44 mg/l
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 20,21 %
 Wiederhol-STD (s_i): 13,25 mg/l
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 13,77 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 8
 Anzahl Ausreißer: 1



	C8	C12	C10
Säule A	83	111	127
Säule B	83	95	104
Säule C	A 100,7	72	109
MW	83	93	113

Modifizierte Arbeitsanweisung (DIN Form)

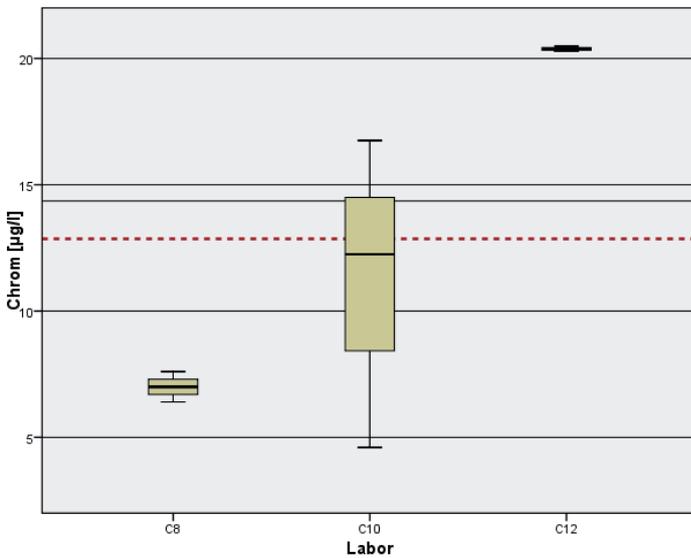
Elution von Bauprodukten – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln

Probe : VU-ZL Mischprobe 90%iger TOC

Merkmal : Chrom

Mittelwert : 12,86 µg/l
 Vergleichs-STD (s_R): 7,83 µg/l
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 60,91 %
 Wiederhol-STD (s_i): 3,56 µg/l
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 27,72 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 8
 Anzahl Ausreißer: 1



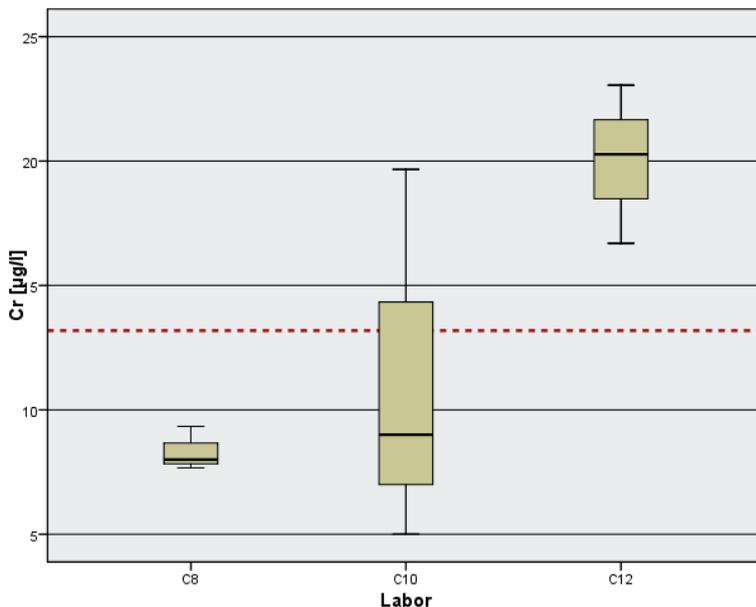
	C8	C12	C10
Säule A	6,4	20,5	4,6
Säule B	7,0	20,3	12,3
Säule C	7,6	14,9	16,8
MW	7,0	20,4	11,2

Probe : VU-ZL Mischprobe drei höchste TOC

Merkmal : Chrom

Mittelwert : 13,19 µg/l
 Vergleichs-STD (s_R): 5,55 µg/l
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 42,11 %
 Wiederhol-STD (s_i): 4,78 µg/l
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 36,21 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



	C8	C12	C10
Säule A	8,0	23,1	5,0
Säule B	7,7	20,3	9,0
Säule C	9,3	16,7	19,7
MW	8,3	20,0	11,2

Modifizierte Arbeitsanweisung (DIN Form)

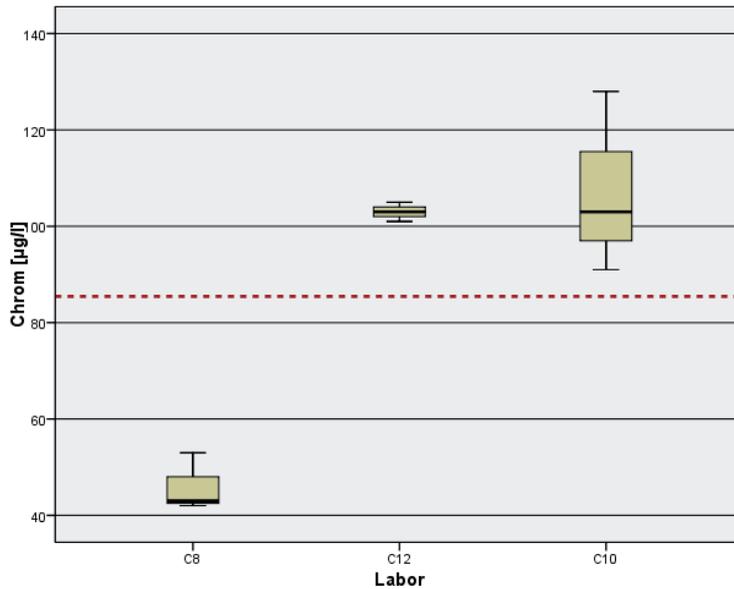
Elution von Bauprodukten – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln

Probe : VU-ZL TOC aller Fraktionen

Merkmal : Chrom_{ges}

Mittelwert : 85,44 µg/l
 Vergleichs-STD (s_R): 37,71 µg/l
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 44,13 %
 Wiederhol-STD (s_i): 11,57 µg/l
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 13,54 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 8
 Anzahl Ausreißer: 1



	C8	C10	C12
Säule A	43	128	A 45
Säule B	42	103	105
Säule C	53	91	101
MW	46	107,3	103

Modifizierte Arbeitsanweisung (DIN Form)

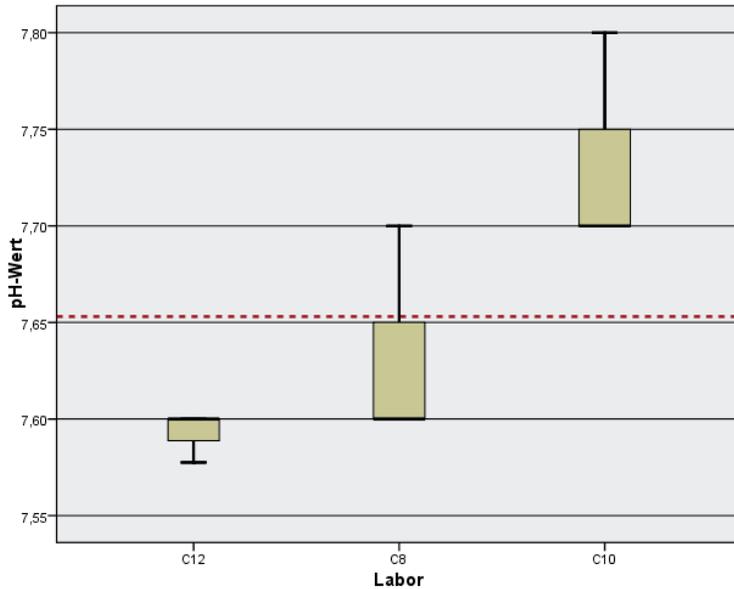
Elution von Bauprodukten – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln

Probe : VU-PAC Mischprobe 90%iger TOC

Merkmal : pH-Wert

Mittelwert : 7,65
 Vergleichs-STD (s_R): 0,08
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 1,07 %
 Wiederhol-STD (s_i): 0,05
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 0,62 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



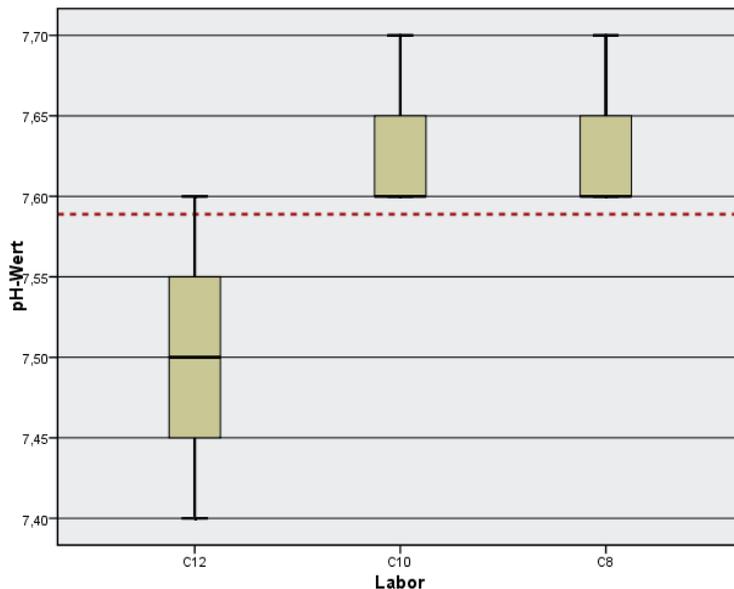
	C8	C12	C10
Säule A	7,6	7,58	7,7
Säule B	7,7	7,6	7,8
Säule C	7,6	7,6	7,7
MW	7,6	7,6	7,7

Probe : VU-PAC Mischprobe drei höchste TOC

Merkmal : pH-Wert

Mittelwert : 7,59
 Vergleichs-STD (s_R): 0,10
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 1,29 %
 Wiederhol-STD (s_i): 0,07
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 0,98 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



	C8	C12	C10
Säule A	7,6	7,6	7,6
Säule B	7,7	7,4	7,6
Säule C	7,6	7,5	7,7
MW	7,6	7,5	7,6

Modifizierte Arbeitsanweisung (DIN Form)

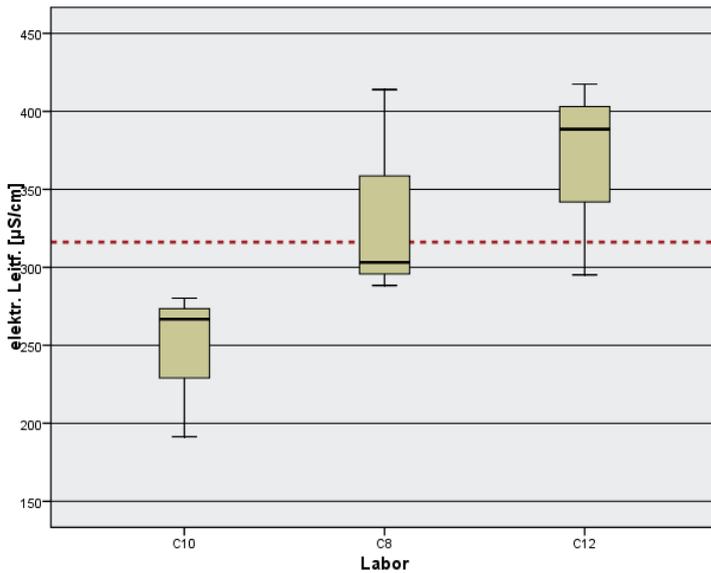
Elution von Bauprodukten – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln

Probe : VU-PAC Mischprobe 90%iger TOC

Merkmal : elektrische Leitfähigkeit

Mittelwert : 316 $\mu\text{S/cm}$
 Vergleichs-STD (s_R): 80,32 $\mu\text{S/cm}$
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 25,41 %
 Wiederhol-STD (s_i): 60,80 $\mu\text{S/cm}$
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 19,23 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



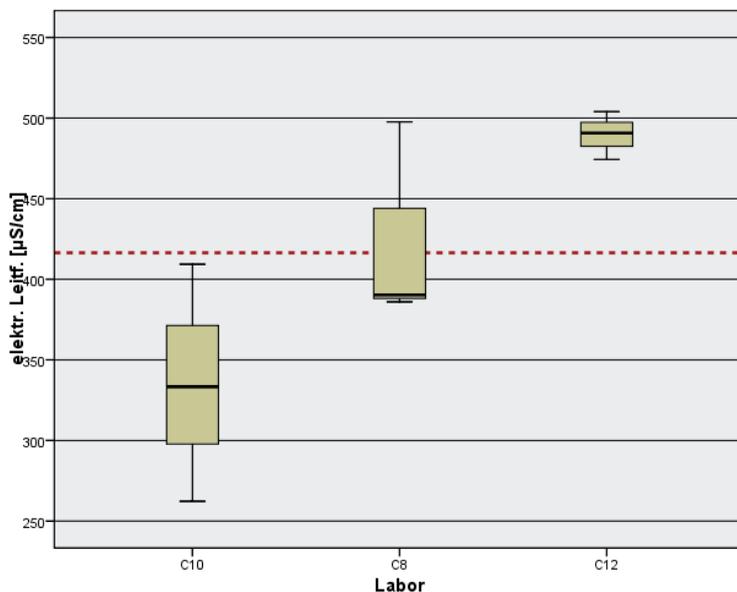
	C8	C12	C10
Säule A	414	418	267
Säule B	303	295	280
Säule C	288	389	191
MW	335	367	246

Probe : VU-PAC Mischprobe drei höchste TOC

Merkmal : elektrische Leitfähigkeit

Mittelwert : 416 $\mu\text{S/cm}$
 Vergleichs-STD (s_R): 90,41 $\mu\text{S/cm}$
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 21,71 %
 Wiederhol-STD (s_i): 56,66 $\mu\text{S/cm}$
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 13,61 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



	C8	C12	C10
Säule A	498	504	333
Säule B	386	474	409
Säule C	390	491	262
MW	425	490	335

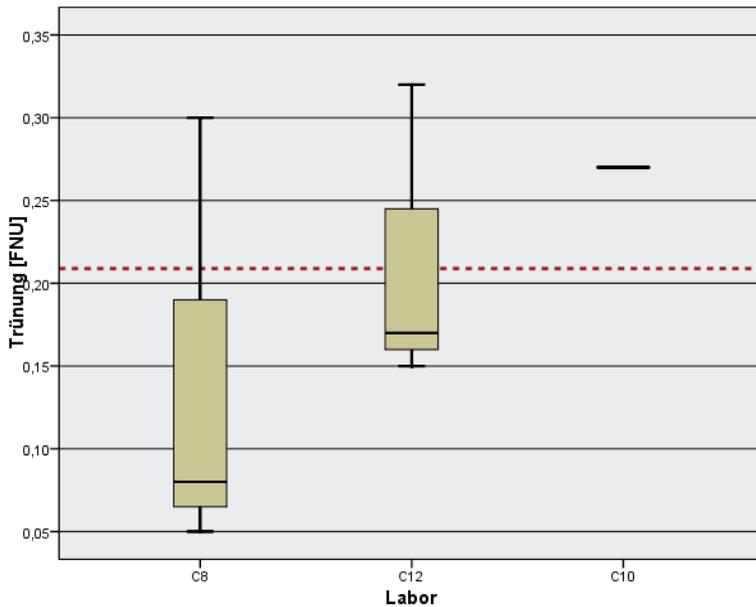
Elution von Bauprodukten – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln

Probe : VU-PAC Mischprobe 90%iger TOC

Merkmal : Trübung

Mittelwert : 0,21 FNU
 Vergleichs-STD (s_R): 0,10 FNU
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 47,62 %
 Wiederhol-STD (s_i): 0,10 FNU
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 47,62 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 8
 Anzahl Ausreißer: 1



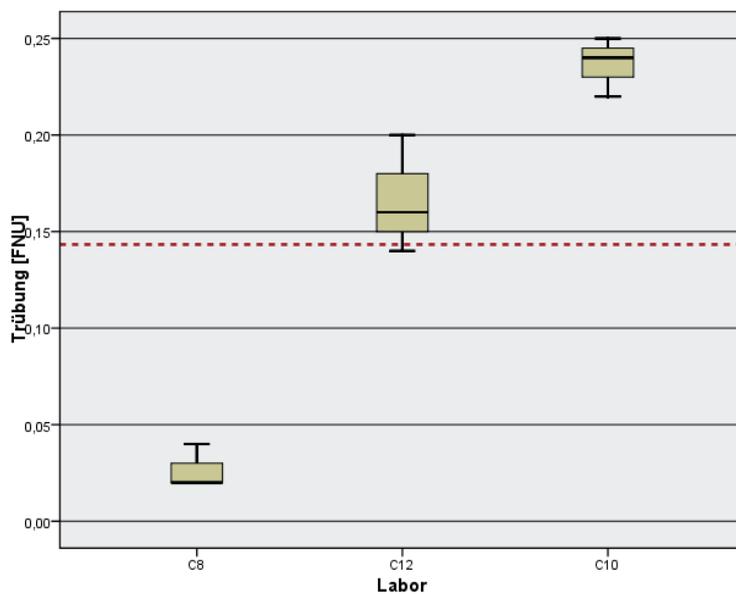
	C8	C12	C10
Säule A	0.08	0.15	0.27
Säule B	0.05	0.32	0.27
Säule C	0.3	0.17	A 0.45
MW	0.14	0.21	0.27

Probe : VU-PAC Mischprobe drei höchste TOC

Merkmal : Trübung

Mittelwert : 0,14 FNU
 Vergleichs-STD (s_R): 0,10 FNU
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 71,43 %
 Wiederhol-STD (s_i): 0,02 FNU
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 14,29 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 8
 Anzahl Ausreißer: 1



	C8	C12	C10
Säule A	0,02	0,14	0,25
Säule B	0,02	0,2	0,24
Säule C	A 0,04	0,16	0,22
MW	0,02	0,17	0,24

Modifizierte Arbeitsanweisung (DIN Form)

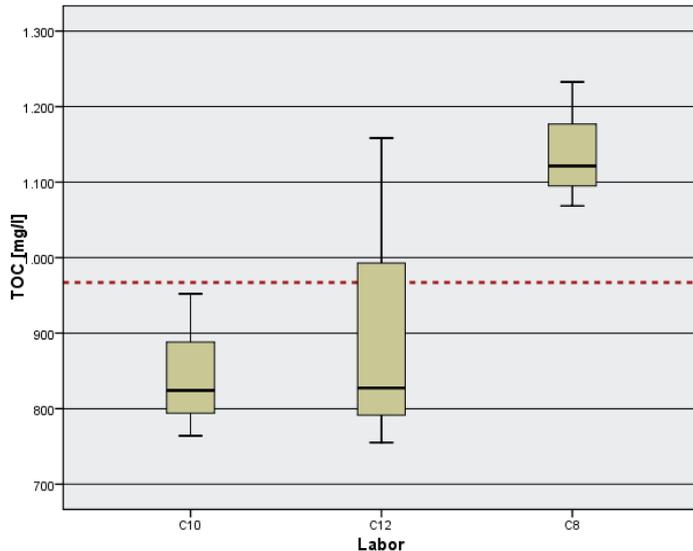
Elution von Bauprodukten – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln

Probe : VU-PAC Mischprobe 90%iger TOC

Merkmal : TOC

Mittelwert : 182,98 mg/l
 Vergleichs-STD (s_R): 44,69 mg/l
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 24,42 %
 Wiederhol-STD (s_i): 35,48 mg/l
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 19,39 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 9
 Anzahl Ausreißer: 0



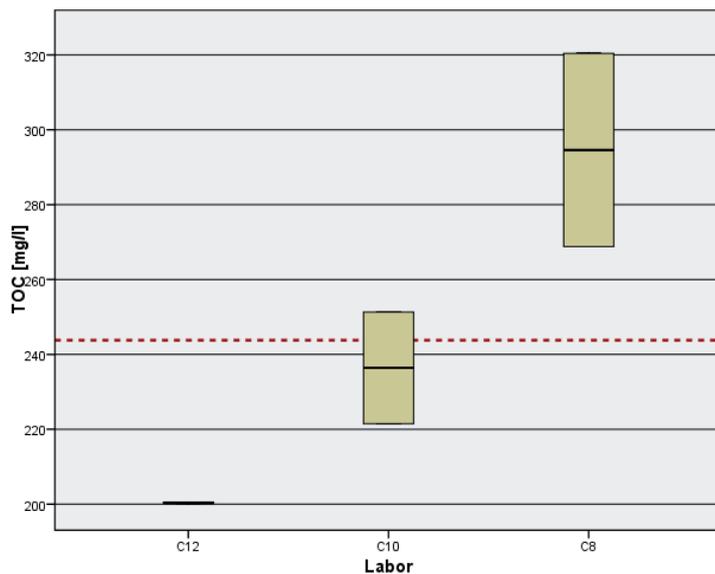
	C8	C12	C10
Säule A	268	163	180
Säule B	206	124	173
Säule C	192	204	137
MW	222	164	163

Probe : VU-PAC Mischprobe drei höchste TOC

Merkmal : TOC

Mittelwert : 235,52 mg/l
 Vergleichs-STD (s_R): 50,07 mg/l
 Rel. Vergleich-STD (CV_R): 21,26 %
 Wiederhol-STD (s_i): 24,66 mg/l
 Rel. Wiederhol-STD (CV_i): 10,47 %

Methode: DIN 38402-42
 Anzahl Labore: 3
 Anzahl Einzelwerte : 8
 Anzahl Ausreißer: 1



	C8	C12	C10
Säule A	320	201	222
Säule B	269	200	251
Säule C	262	A 267	195
MW	284	201	223

Modifizierte Arbeitsanweisung (DIN Form)

Elution von Bauprodukten – Perkolationsverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von Bodeninjektionsmitteln

Probe : VU-PAC TOC aller Fraktionen

Merkmal : TOC_{gesamt}

Mittelwert : 967,12 mg/l

Methode: DIN 38402-42

Vergleichs-STD (s_R): 193,98 mg/l

Anzahl Labore: 3

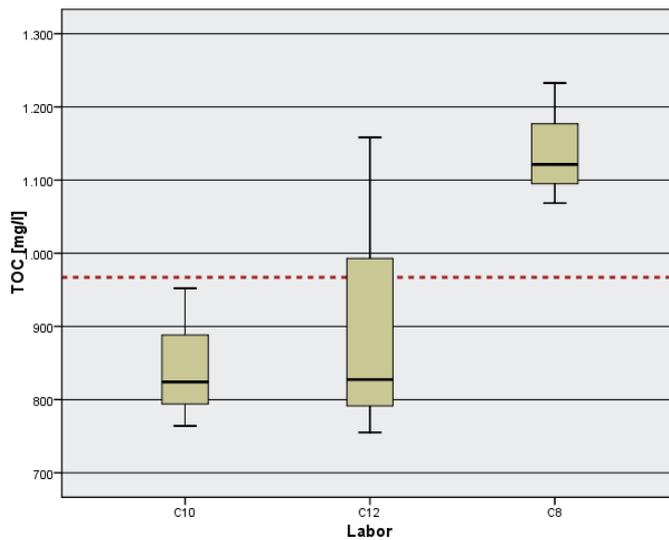
Rel. Vergleich-STD (CV_R): 20,06 %

Anzahl Einzelwerte : 9

Wiederhol-STD (s_r): 144,25 mg/l

Anzahl Ausreißer: 0

Rel. Wiederhol-STD (CV_r): 14,92 %



	C8	C12	C10
Säule A	1233	755	824
Säule B	1121	827	952
Säule C	1069	1158	764
MW	1141	913	847