

**Erarbeitung einer standardisierten Methode zur
Beurteilung der Auswirkungen von Bauprodukten
zur Bodeninjektion und Kanalsanierung auf Boden
und Grundwasser unter Verwendung des
Säulenversuchs mit umgekehrter Fließrichtung**

T 3056

T 3056

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2003, ISBN 3-8167-6619-6

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.IRBbuch.de

**Erarbeitung einer standardisierten Methode zur Beurteilung
der Auswirkungen von Bauprodukten zur Bodeninjektion
und Kanalsanierung auf Boden und Grundwasser unter
Verwendung des Säulenversuchs mit umgekehrter
Fließrichtung**

Institutsleitung: Prof. Dr. rer. nat. Lothar Dunemann

Projektleitung: Dr. rer. nat. Horst Schössner
Telefon: (02 09) 92 42-211
Telefax: (02 09) 92 42-212
email: d.stein@hyg.de

Bearbeiter: Dr. agr. Hannelore Kunz

Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik
10792 Berlin

Gelsenkirchen, 28.11.2003

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	Seite:	3
2	PRÜFMETHODE		6
2.1	Prinzip		6
2.2	Versuchsaufbau		7
2.3	Durchführung der Prüfung		7
2.3.1	Vorbereitung der Säule		7
2.3.2	Qualität des verwendeten Trinkwassers		8
2.3.3	Verwendete Sandqualitäten und Korngrößenverteilung		8
2.3.4	Verpressvorgang und Umströmung		8
2.3.5	Probenahme		9
3	UNTERSUCHUNGSPROGRAMM		11
3.1	Produkte zur Prüfung		11
3.2	Analytik		12
3.3	Prüfergebnisse		13
3.3.1	Weichgel zur Bausohlabdichtung		13
3.3.2	Hartgele zur Kanalsanierung durch Flutung		16
3.3.3	Wasserglasprodukte - Toxizitätstests		17
3.3.4	Polyacrylate		18
3.3.5	Isocyanat-basierte Systeme		23
3.3.6	System zur Kalkvernetzung		27
3.3.7	Anwendung des Säulenversuchs auf Schlauchliner		29
4	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK		30
5	ZUSAMMENFASSUNG DER RAHMENBEDINGUNGEN		32
6	LITERATUR		34
7	GLOSSAR		35
8	OBJEKT BETREUUNG		36

Anlagen	-	ANLAGENÜBERSICHT
	-	ABBILDUNGEN, TABELLEN UND DIAGRAMME

1 EINLEITUNG

Der klassische Spezialbau verwendet seit langem Material zum Einpressen (Injektion) in den Untergrund und in Bauwerke. Art und Eigenschaften des Einpressgutes werden nach der Beschaffenheit und Aufnahmefähigkeit des Untergrundes bzw. des Bauwerkes und nach der gestellten Aufgabe gewählt. Dabei werden oft nicht unerhebliche Mengen anorganischer und organischer Produkte sowie anorganischer Produkte mit organischen Härtern oder Reaktanten eingesetzt.

In Abhängigkeit vom beabsichtigten Ergebnis - Abdichtung bzw. Verfestigung - und den Bodenverhältnissen nennt die DIN 4093 [1]:

- Zementpaste
- Mörtel
- Zementsuspension
- Tonzementsuspension
- Wasserglassysteme
- wässrige und nichtwässrige Kunststofflösungen.

Insbesondere bei den Kunststoffsystemen gibt es eine Vielzahl von speziellen Entwicklungen unterschiedlicher Viskosität und Reaktionsgeschwindigkeiten, z. B. bei Polyurethanen, Epoxidharzen und Polyacrylaten. Ein Spezialfall des Einsatzes von Injektionssystemen/Infiltrationssystemen und Reliningsystemen ist die Kanalrohrsanierung.

Da diese Produkte meist so eingesetzt werden, dass sie bestimmungsgemäß mit Grundwasser in Kontakt kommen (insbesondere wenn es sich um Maßnahmen zur Bausohlabdichtung oder zur Verpressung wasserführender Risse - z. B. beim Tunnelbau - handelt) und im Tiefbau ein Kontakt mit dem Boden die Regel ist, sind derartige Produkte auf ihre Konformität mit den Anforderungen des Wasserrechtes und der Bodenschutzverordnung zu überprüfen.

Dies berücksichtigend wurde unter Einschluss aller relevanten Fachbehörden das DIBT-Merkblatt "Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser" erarbeitet [2].

Nach einer Rezepturüberprüfung ist das Verhalten der Bauprodukte gegenüber Grundwasser zu untersuchen und die ermittelten Ergebnisse zu bewerten (s. Fließschema, Abb. 1).

Da eine mögliche Umweltbeeinträchtigung eher vom noch nicht ausreagierten/ausgehärteten Verpressmittel ausgeht als vom bereits ausgehärteten, wurde im Hygiene-Institut des Ruhrgebiets 1985 ein halbdynamisches Prüfverfahren entwickelt, nach dem vor allem Injektionsmaterial auf Polyurethanbasis in einen mit nassem Sand gefüllten Trog eingebracht wurde und das zuzitzende Wasser in Abständen zur Analyse abgezogen und durch frisches Wasser ersetzt wurde [3].

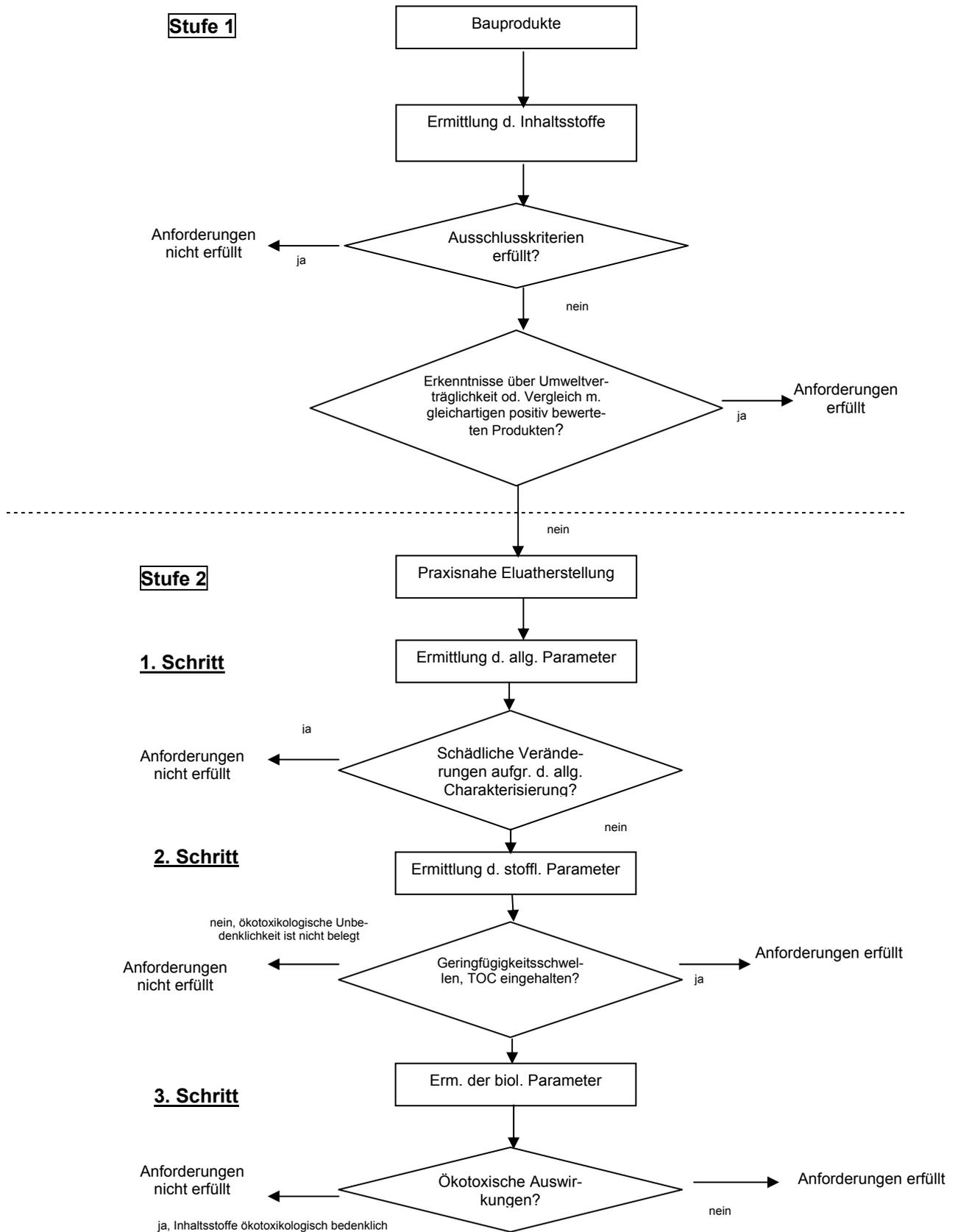
Dieses Prinzip wurde von *Stein und Gersum* dahingehend verbessert, als bei der Einbringung des Verpressmittels die auch auf der Baustelle angewandten Verpress- und Mischtechniken und Geräte eingesetzt werden können [4].

Mit dem hier eingesetzten Prüfsystem sollte untersucht werden, ob damit einerseits eine Prüfung von Injektionsmitteln, injiziert mit üblichen Injektionspumpen, und andererseits eine Prüfung von Flutungssystemen zur Kanalsanierung möglich ist. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gelegt.

Die Abmessungen der Prüfanordnung erlauben die Aufstellung in einem üblichen Laboratorium. Das System ist einfach zu handhaben, erlaubt eine lückenlose Entnahme der Prüfwässer (was aus praktischen Gründen auf die ersten 6 bis 8 Stunden nach dem Versuchsbeginn beschränkt wird; anschließend erfolgen die Probenahmen in größeren Intervallen), erfordert keine übermäßig hohen Anschaffungskosten und kann aus den einzelnen Modulen leicht aufgebaut werden [5] (s. Anlagen ABBILDUNG 1 und 2).

Die Fließrichtung wurde deshalb von unten nach oben gewählt, um einem Absinken des Injektionsgutes infolge der Schwerkraft und damit einem Verstopfen der Auslauföffnung entgegenzuwirken.

Abb. 1 Ablaufschema zur Bewertung von Bauprodukten hinsichtlich Boden- und Grundwasserschutz



2 PRÜFMETHODE

2.1 Prinzip

Eine Acrylglassäule wird mit Sand gefüllt. Er wird hohlraumfrei und möglichst ohne Lufteinschlüsse eingeschlämmt. Anschließend wird die Säule 24 (\pm 2) Stunden lang mit Trinkwasser gespült. Danach wird das zu untersuchende Material in die Sandsäule eingebracht. Dies erfolgt üblicherweise bei Injektionsflüssigkeiten durch Injektion mittels Pumpen, ggf. mit Mischerkopf, über einen Mauerpacker (s. Kapitel 3.3.4, 3.3.5 und 3.3.6)

Bei Materialien zur Kanalsanierung durch Flutung wird die sukzessive Infiltration über ein Rohr bei geöffnetem Säulendeckel durchgeführt. Nach beendeter Infiltration wird das Infiltrationsrohr mit einem Stopfen abgedichtet, die Säule wieder mit dem Deckel verschlossen und die Durchströmung begonnen (s. Kapitel 3.3.1 und 3.3.2)

Bei langsam reagierenden Systemen muss vor Beginn der Durchströmung der Säule die Kippzeit abgewartet werden, da sonst große Teile der Komponenten, die noch nicht miteinander reagiert haben, ausgetragen werden.

Das Prüfwasser wird dann wieder fraktionsweise aufgefangen und auf die relevanten Parameter analysiert.

Es ist auch möglich, z.B. Epoxidharz-getränkte Nadelfilzschläuche zur Kanalsanierung zu untersuchen, indem diese, beidseitig verschlossen, in die Sandsäule eingebaut werden und anschließend umströmt werden.

Eine weitere Variante ist dadurch gegeben, dass in den vorgespülten feuchten Feinsand eine definierte Höhlung ausgehoben wird, diese mit gröberem Material (Körnung 4 mm) gefüllt wird und hierin z. B. die Acrylatmischung gegossen wird. Anschließend wird die Säule mit dem entnommenen feuchten Sand aufgefüllt und die Umströmung gestartet. Auch in diesem Fall kommt das Injektionsgut direkt mit dem feuchten Sand in Kontakt (s. Kapitel 3.3.4.1)

2.2 Versuchsaufbau (s. Anlagen ABB-1 und 2)

Das Herzstück des Prüfsystems ist eine oben und unten mit je einem abnehmbaren (PVC-) Deckel verschlossenes Acrylglasrohr von 30 (± 1) cm äußerem Durchmesser und 50 (± 1) cm Höhe. 20 (± 1) cm von unten ist eine Bohrung von 20 mm Durchmesser für einen Mauerpacker eingebracht. Hier ist die Acrylglaswand verstärkt. Die Bohrung kann auch unter Berücksichtigung des Durchmessers der Packer von diesem Maß abweichen.

In der Mitte der Deckel sind Schlauchtüllen für die Schlauchanschlüsse. Es hat sich bewährt, die Deckel so auszuformen, dass sie ca. 20 mm in die Acrylglasäule hineingreifen. Hier ist auch eine Rille für einen Dichtring angebracht. Die beiden Deckel werden mittels Gewindestangen (M 8) auf das Acrylglasrohr gepresst. Diese Anordnung ist auf ein Stativ montiert.

Für die Zu- und Ableitung des Prüfwassers dienen geeignete Schläuche. Um einen gleichmäßigen Durchfluß der Säule zu gewährleisten, fördert eine Schlauchpumpe das Ausgangswasser (z. B. Trinkwasser) aus einem Vorratsgefäß, in das kontinuierlich Trinkwasser nachläuft.

2.3 Durchführung der Prüfung

2.3.1 Vorbereitung der Säule

Die Säule wird bei geöffnetem Deckel mit Sand gefüllt. Dabei wird so vorgegangen, dass die Säule teilweise mit Wasser gefüllt wird und der Sand eingeschlämmt wird. Durch abwechselndes Abziehen und Zupumpen des Wassers während des Füllvorganges sollen Lufträume in der Sandfüllung möglichst vermieden und der Sand verdichtet werden.

Die Säule ist soweit zu füllen, dass die Filzplatte, die Lochplatte aus Stahl und der Deckel dicht auf der Sandfüllung aufliegen. Der Deckel wird mit Hilfe der Gewindestangen wasserdicht auf die Apparatur geschraubt.

Anschließend wird die Sandfüllung 24 (± 2) Stunden gespült, indem über die

Schlauchpumpe Trinkwasser über die Schlauchverbindung von unten nach oben durch die Sandfüllung gepumpt wird (Fließgeschwindigkeit: $4 \pm 0,2$ Liter pro Stunde). Dieses Wasser wird verworfen. Vor der Injektion wird der Wasserdurchfluss gestoppt und dann in die Sandsäule mit stehendem Wasser ("Grundwasser") injiziert.

2.3.2 Qualität des verwendeten Trinkwassers

Die Zusammensetzung des verwendeten Trinkwassers ist in der Tabelle „Zusammensetzung des Ausgangswassers (Trinkwasser Gelsenkirchen)“ in den Anlagen WG, Seite 3, aufgeführt.

2.3.3 Verwendete Sandqualitäten und Korngrößenverteilung

Für die Versuche wurden drei verschiedene Quarzsandqualitäten verwendet:

- Quarzsand Frechen F 36
(Analysendaten und Korngrößenverteilung s. Anlage (SAND 1))
- Quarzsand Haltern H 32
(Analysendaten und Korngrößenverteilung s. Anlage (SAND 2))
- CEN-Normsand DIN EN 196-1
(Analysendaten und Korngrößenverteilung s. Anlage (SAND 3))

2.3.4 Verpressvorgang und Umströmung

Die Einbringung des Verpressmaterials (Weichgel, Polyacrylat, Polyurethan, etc.) erfolgt mit den auch in der Praxis verwendeten Pumpen mit Mischkopf bei Zweikomponenten-Systemen. Bei langsam reagierenden Systemen (z. B. Weichgelen) ist eine Mischung der Komponenten in einem Gefäß und anschließende Injektion mit einer einfachen Pumpe möglich.

Bei nicht aufschäumenden Produkten wurde jeweils ein Gesamtvolumen von 1000 ± 40 ml Verpressgut pro Säule injiziert.

Anmerkung: Bei aufschäumenden Systemen (Polyurethan-Schaum) muss die Volumenvergrößerung berücksichtigt werden und eine geringere Menge Produkt verpresst werden (500 ± 20 ml), da der Injektionskörper ansonsten zu groß wird, unkontrolliert an den Säulenwänden anhaftet und einen Durchfluß der Säule stark

behindert oder im Extremfall blockiert (s. Anlagen PUR I-6).

Nach der Reaktionszeit (Kippzeit bei Gelen) wird die Durchströmung der Säule gestartet und auf 4 ($\pm 0,2$) Liter pro Stunde eingestellt.

Anmerkung: Das Porenvolumen der Sandfüllung ist mit ca. 30 bis 35 % anzunehmen. Dies ist ein in sandigem Kies bis Mittelsand zutreffender Wert (s. Tabelle 1, Seite 10).

Aufgrund der Säulendimensionierung resultiert eine Fließgeschwindigkeit zwischen 4,5 und 5,2 m/d im ungestörten Sand; bei einem Durchmesser eines Injektionskörpers von 18 cm erhöht sich die Fließgeschwindigkeit im Ringraum zwischen Säulenwand und Injektionskörper auf 8 bis 8,8 m/d. Die Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten (Grundwasserabstandsgeschwindigkeiten v_a) liegen im allgemeinen zwischen 1 und 10 m/d. Die Fließgeschwindigkeit in der Säule liegt in diesem Bereich (vgl. Tabelle 2; nach [7], Seite 10).

2.3.5 Probenahme

Das Prüfwasser wird in Fraktionen von je 2 ($\pm 0,1$) Liter entweder direkt in geeigneten Flaschen aufgefangen oder aus Auffanggefäßen (z. B. Messbecher) in Flaschen umgefüllt. Vorher kann zur kontinuierlichen Messung ein pH- und/oder Leitfähigkeitsmeßgerät angebracht werden.

Tabelle 1 Anhaltswerte für die Porosität, effektive Porosität und den Durchlässigkeitswert verschiedener Lockergesteine [6]

Gestein	Gesamtporosität n	effektive Porosität n _e	Durchlässigkeitswert K _f [m/s]
Sandiger Kies	0,25 – 0,35	0,20 – 0,25	3*10 ⁻³ – 5*10 ⁻⁴
Kiesiger Sand	0,28 – 0,35	0,15 – 0,20	1*10 ⁻³ – 2*10 ⁻⁴
Mittlerer Sand	0,30 – 0,38	0,10 – 0,15	4*10 ⁻⁴ – 1*10 ⁻⁴
Schluffiger Sand	0,33 – 0,40	0,08 – 0,12	2*10 ⁻⁴ – 1*10 ⁻⁵
Sandiger Schluff	0,35 – 0,45	0,05 – 0,10	5*10 ⁻⁵ – 1*10 ⁻⁶
Toniger Schluff	0,40 – 0,55	0,03 – 0,08	5*10 ⁻⁶ – 1*10 ⁻⁸
Schluffiger Ton	0,45 – 0,65	0,02 – 0,05	ca. 10 ⁻⁸

Tabelle 2 Beobachtete Abstandsgeschwindigkeiten v_a und Grundwassergefälle i

Aquifer/Ort	v _a [m/d]	i [‰]
Keupersand bei Nürnberg	1,5	3
Neckartal bei Mannheim	1,2 – 1,6	1,7
Diluvium bei Leipzig	2,5	4,5
Alluvium am Oberrhein	3 – 7,8	0,6
Illerquartär bei Neu-Ulm	11	2,5
Münchener Schotterebene	10	3,3

3 UNTERSUCHUNGSPROGRAMM

3.1 Produkte zur Prüfung

Für die Untersuchung der Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse, die mit dem Säulenversuch mit umgekehrter Fließrichtung erhalten wurden, kamen folgende Injektionsmaterialien bzw. Produkte zur Kanalsanierung mittels Flutung zum Einsatz:

Produkte		Einsatzbereich
1) Wasserglas-systeme	1.1) Weichgel mit anorg. Härter (WG)	Bausohlabdichtung
	1.2) Hartgele mit org. Härter (HG I und HG II)	Flutungssysteme zur Kanalsanierung
2) Polyacrylat-systeme	PAC I und PAC II	Rissverpressung an Bauwerken, Schleierinjektion
3) Isocyanat-basierte Systeme	PUR I und PUR II	Rissverpressung, Felsverfestigung, Verpressanker
4) System z. Kalk- vernetzung	KALK	Bodenverfestigung, Abdichtung, Verpressanker, Stabilisierung von Lockerböden

3.2 Analytik

Die Prüfwasserfraktionen wurden auf folgende Parameter untersucht:

alle Proben:	pH-Wert	(DIN 38404-5)
	elektrische Leitfähigkeit	(DIN EN 27888)
	Färbung	(DIN EN ISO 7887 bzw. DEV C1)
	Trübung	(DIN EN ISO 27027 bzw. DEV C2)
	organisch gebundener Kohlenstoff (TOC)	(DIN EN 1484)

Darüberhinaus wurden produktabhängig folgende materialspezifische Parameter analysiert:

primäre aromatische Amine	Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG (Beuth Verlag GmbH, Berlin u. Köln)
Phenole	(ISO/FDIS 8165-2)
Säurekapazität bis pH 8,2	(DIN 38409-H7)
Natrium	(DIN 38406 E 14)
Kieselsäure (über Silicium)	(Hy)
Calcium	(DIN 38406 E 3-1)
Ammonium	(DIN 38405 E 5-2)
Chlorid	(DIN EN ISO 15682)

Die Fraktionen der Elutionsmaxima und der Abklingphasen wurden folgenden biologischen Toxizitätstests unterzogen:

Daphnien-Test	(DIN 38412-30)
Algen-Wachstumshemmtest	(DIN 38412-33)
Leuchtbakterien-Lumineszens-Hemmtest	(DIN EN ISO 11348-1-3)

3.3 Prüfergebnisse

3.3.1 Weichgel zur Bausohlabdichtung (WG)

Das hier geprüfte Weichgelsystem wird nach Firmenangaben im Feinsand und Mittelsand verwendet. Es wurde daher für unsere Untersuchungen im dreifachen Parallelversuch in Säulen eingebracht, die mit Feinsand (Frechen F 36) gefüllt waren.

Zusammensetzung der Injektionslösung:

16 Vol.-% Wasserglas

1,8 Vol.-% Härter (wässrige Natriumaluminat-Lösung)

82,2 Vol.-% Wasser (Trinkwasser)

Herstellung der Injektionslösung:

1. Der benötigte Härter wird mit 50 % der Wassermenge gemischt.
2. Das benötigte Wasserglas wird ebenfalls mit 50 % der Wassermenge gemischt.
3. Anschließend werden die beiden verdünnten Lösungen zusammen gemischt und sofort in die Sandsäule injiziert bzw. infiltriert (wie unten beschrieben).

In Versuch 1 wurde 1 Liter der fertigen Lösung über einen Schlauch in die Säule infiltriert, wobei der Schlauch 20 cm über dem Säulenboden endete. Das Wasser wurde vorher aus der Säule abgelassen, so dass das Injektionsgut in den feuchten Sand sickerte.

In Versuch 2 und 3 wurde der Wasserfluss durch die Säule unterbrochen und die Injektionslösung (jeweils 1 Liter) über einen Mauerpacker mittels Pumpe injiziert.

Da die Injektionslösung erst nach 1 bis 2 Stunden in den Gelzustand übergeht, wurde mit der Umströmung erst am nächsten Morgen (nach 16 Stunden) begonnen. Der Durchfluss wurde auf 4 ($\pm 0,2$) Liter pro Stunde eingestellt. Während der ersten 6 Stunden wurden kontinuierlich alle 15 Minuten Fraktionen zu je 1 Liter entnommen.

Der mit Weichgel verfestigte Sandkörper wurde nach Versuchsende freigelegt. Die annähernd Kugel-symmetrischen Prüfkörper haben einen Durchmesser von ca. 18 cm (s. Anlagen WG-7).

Die pH-Werte, Säurekapazitäts-Werte (bis pH=8,2), Natrium- und Kieselsäurekonzentrationen der einzelnen Fraktionen sind in den Tabellen und Diagrammen der Anlagen (WG 1 bis WG 5a) zusammengestellt.

Die hieraus ersichtlichen Maximalkonzentrationen für die Säurekapazität bis pH 8,2, sowie für Natrium (Na^+) und Kieselsäure (SiO_2), die Gesamtabgabe für diese Parameter während des ersten Versuchstages sowie die sich für die drei Versuche ergebenden Mittelwerte und Variationskoeffizienten sind in der folgenden Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Säulenversuch mit Weichgel

Maxima, Gesamtelution, Mittelwerte aus den 3 Parallelversuchen sowie Variationskoeffizienten

Parameter	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Mittelwert	Variationskoeffizient [%]
<i>Maximalwerte</i>					
Säurekapazität SK 8,2 [mmol/l]	14,76	12,86	16,40	14,67	12,1
Natrium (Na^+) [mg/l]	422	402	413	412	2,4
Kieselsäure (SiO_2) [mg/l]	776	662	750	729	8,2
<i>Gesamtelution (Summen)</i>					
Säurekapazität SK 8,2 [mmol]	129	130	132	130,3	1,17
Natrium (Na^+) [mg]	4.623	4.995	3.677	4.431	15,3
Kieselsäure (SiO_2) [mg]	6.900	6.400	5.100	6.130	15,2

Aus Anlage (WG-5 u. 5a) ist erkennbar, dass Natriumionen und Kieselsäure gemeinsam eluieren und das Maximum des Säureverbrauchs bis pH 8,2 (WG 2 und WG 2a) mit dem Maximum der Natrium- und Kieselsäureelution übereinstimmt. Der Titrationspunkt wurde bewusst bei pH = 8,2 gewählt, da das Ausgangswasser (Trinkwasser Gelsenkirchen) einen pH-Wert von $8,0 \pm 0,1$ aufweist und der Säureverbrauch bis dahin der Alkalität des Eluates aus dem Weichgel zuzurechnen ist. Der lange nahezu gleichbleibende pH-Wert der Prüfwasserfraktionen ist auf die Pufferkapazität des Wasserglases zurückzuführen. Auch bei stark verdünnten Silikat-Lösungen bleibt der pH-Wert noch konstant (s. Fraktion 16 in der Anlage WG-5 u. 5a).

Erst, wenn alles Alkali neutralisiert ist bzw. kein freies Alkali mehr eluiert wird, ist ein deutlicher Rückgang des hohen pH-Wertes festzustellen [8]. Hier wirkt allerdings auch die Kalk-Kohlensäure-Pufferkapazität des Ausgangswassers zusätzlich mit, d. h. auch die Pufferkapazität des Ausgangswassers beeinflusst den resultierenden pH-Wert der Prüfwässer.

Dies erklärt den unterschiedlichen pH-Wert-Verlauf bei Verwendung Gelsenkirchener Trinkwassers (s. Anlage WG-1b) und Schrobenhausener Trinkwassers (Anlage WG-6a und 6b).

Toxikologische Untersuchungen

Untersuchungen auf Toxizität im Algen-, Daphnien- und Leuchtbakterien-Test wurden bei diesem Produkt nicht durchgeführt.

3.3.2 Hartgele zur Kanalsanierung durch Flutung (HG I und II)

Zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse bei Flutungssystemen wurden je drei verschiedene Durchgänge pro wasserglas-basiertem Produkt mit jeweils drei Säulen pro Durchgang durchgeführt.

Trotz identischer Voraussetzungen (gleiche Einsatzmengen und gleiche Verfahrensweisen) im dreifachen Parallelversuch resultierten bei Säulenfüllungen mit Normsand (DIN EN 196-1) unterschiedlich große Verfestigungskörper und erhebliche Unterschiede bei den Analysenergebnissen (s. Anlagen HG I und HG II).

Dagegen entstanden bei Infiltrationen in Feinsand (Frechen F 36) fast identische Verfestigungskörper (s. Anlagen (HG I-7) und (HG II-7)). Trotzdem konnte auch hier keine Übereinstimmung des Elutionsverlaufes und der Analysenwerte gefunden werden (s. Anlagen (HG I und HG II)).

Als Deutung dieses Verhaltens bietet sich u. E. folgende Erklärung an: Während bei der Weichgel-Injektion und den Injektionen mit PAC und PUR eine definierte homogene Mischung in die Sandsäule eingebracht wird, handelt es sich bei den Flutungssystemen um zwei unterschiedliche Flüssigkeiten - Wasserglas und Härter - die nacheinander infiltriert werden. Eine homogene Mischung kann hier nicht gesteuert werden, da die Lösungen beim Einsickern in den Sand offensichtlich unterschiedlichen Wegsamkeiten folgen.

Eine vorherige Mischung der beiden Komponenten und anschließendes Einbringen in den Sand ist nicht möglich, da die Gelbildung augenblicklich beim Mischen von Wasserglas mit dem Härter einsetzt.

Toxikologische Untersuchungen

Untersuchungen auf Toxizität im Algen-, Daphnien- und Leuchtbakterien-Test wurde bei einzelnen Fraktionen (mit maximalem TOC-Gehalt) bei dem Produkt HG II. durchgeführt (s. Anlagen HG II). Daneben wurden Verdünnungen der Wasserglaskomponenten (3 g / Liter Trinkwasser) beider Hartgel-Produkte auf o. g. Toxizität getestet (s. Kapitel 3.3.3).

3.3.3 Wasserglasprodukte - Toxizitätstests

Verdünnte Lösungen der Wasserglaskomponenten von HG I und II (3 g Wasserglas / Liter Trinkwasser) wurden auf Toxizität im Algen-, Daphnien- und Leuchtakterien-Test untersucht. Die Ergebnisse sind in den Tabellen (WAGL 1 bis 3) sowie der Graphik (WAGL 4) dargestellt.

Zunächst zeigen die G-Werte keinen nennenswerten Unterschied zwischen den beiden verschiedenen Produkten. Demgegenüber gibt es einen deutlichen Unterschied in der Empfindlichkeit zwischen Algen und Daphnien einerseits und den Leuchtbakterien andererseits. Während die Wirkungen beider Produkte auf Algen und Daphnien etwa im gleichen Verdünnungsbereich lagen, war die Empfindlichkeit der Leuchtbakterien hier deutlich höher (ganz im Gegensatz zu den Toxizitätstests mit den Prüfwässern von allen anderen Produkten!).

3.3.4 Polyacrylate

3.3.4.1 PAC I

3.3.4.1.1 *Gießversuch*

Drei der in 2.2 beschriebenen Säulen wurden mit Quarzsand Frechen F 36 gefüllt und der Sand einen Tag lang gespült. Anschliessend wurde der feuchte Sand zu $\frac{2}{5}$ entfernt und in der Mitte zylinderförmig ausgehöhlt. Die Aushöhlungen mit $13 (\pm 0,5)$ cm Durchmesser und ca. $15 (\pm 1)$ cm Tiefe wurden mit Kies (Körnung 4 mm) gefüllt. In dieses Kiesnest wurde jeweils $1 (\pm 0,01)$ Liter des vorbereiteten Polyacrylats gegossen und die Säule anschliessend mit dem vorher entnommenen Sand (Frechen F 36) wieder aufgefüllt und geschlossen. Nach 20 Minuten (Reaktionszeit) wurde wieder mit der Durchströmung der Säulen begonnen ($4 \pm 0,2$ Liter pro Stunde) und die Prüfwässer fraktionsweise entnommen (Fraktionen zu je $2 \pm 0,1$ Liter). Die Analyseergebnisse für die drei Säulen A, B, und C sind in den Anlagen (PAC I-1) bis (PAC I-6) zusammengestellt.

Aus den ermittelten Maximalwerten der Prüfwasserfraktionen für die elektrische Leitfähigkeit und die TOC-Konzentrationen sowie für die TOC-Gesamtabgabe während der ersten $7\frac{1}{2}$ Stunden ergeben sich für die drei Parallelversuche die in Tabelle PAC I-1 zusammengestellten Mittelwerte und Variationskoeffizienten.

Tabelle (PAC I-1)^{*)}

Giessversuch mit PAC I

Parameter	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Mittelwert	Variationskoeffizient [%]
Maximum elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1330	1486	1459	1425	5,85
Maximum TOC-Konzentration [mg/l]	633	689	647	656	4,44
TOC, Gesamtelution [mg]	7756	8358	7984	8032	3,78

^{*)} Zum Elutionsverlauf siehe auch die Graphiken der Anlagen (PAC I-2a), (PAC I-3a), (PAC I-3c)

3.3.4.1.2 Injektionsversuch

Die Injektion wurde nach 2.3.4 durchgeführt. Die Säulenfüllung bestand aus Normsand, feine Gesteinskörnung 0/2 nach DIN EN 196-1 [9]. Das Injektionsgut wurde vorgemischt und anschließend mit einer Kolbenpumpe $1 (\pm 0,05)$ Liter pro Säule injiziert. Nach 20 Minuten Reaktionszeit wurde mit der Durchströmung der Säulen begonnen ($4 \pm 0,2$ Liter pro Stunde).

Aus technischen Gründen konnten nur zwei Parallelversuche durchgeführt werden. Die Analysen der fraktionsweise entnommenen Prüfwässer zu je $2 (\pm 0,1)$ Liter sind ebenfalls in den Anlagen und Graphiken (PAC I-1) bis (PAC I-6) zusammengestellt.

Hieraus ergeben sich die in Tabelle (PAC I-2) zusammengestellten Maxima der elektrischen Leitfähigkeit und der TOC-Konzentrationen sowie die während des ersten Tages insgesamt eluierten organischen Inhaltsstoffe (bestimmt als TOC) sowie Mittelwerte und Variationskoeffizienten.

Tabelle (PAC I-2) *)

Injektionsversuche mit PAC I

Parameter	Versuch 1	Versuch 2	Mittelwert	Variationskoeffizient [%]
Maximum elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1543	1285	1414	12,9
Maximum TOC-Konzentration [mg/l]	710	712	711	0,2
TOC, Gesamtelution [mg]	5726	6537	6131	9,35

*) Siehe hierzu auch die Graphiken Anlage (PAC I-2a), (PAC I-3a), (PAC I-3c)

3.3.4.1.3 Vergleich der Ergebnisse aus Giess- und Injektionsversuchen mit PAC I

Berechnet man für das Maximum der elektrischen Leitfähigkeit und der TOC-Konzentrationen der Fraktionen aus den Gießversuchen den oberen und den unteren Signifikanzpunkt für das Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ nach

$$x_u \leq m_o - k * \sigma$$

$$x_o \leq m_o + k * \sigma$$

wobei: x_u = unterer Signifikanzpunkt

x_o = oberer Signifikanzpunkt

m_o = Mittelwert

k = Sicherheitsfaktor (1,96 für $\alpha = 0,05$)

σ = Standardabweichung,

dann liegen sowohl die Mittelwerte der Maxima für die TOC-Konzentrationen als auch die der elektrischen Leitfähigkeiten aus den Injektionsversuchen im Intervall zwischen den jeweiligen oberen und unteren Signifikanzpunkten (s. Tab. PAC I-3). Dies gilt jedoch nicht für die Gesamt-TOC-Abgabe: Die TOC-Summenwerte für die Gießversuche und für die Injektionsversuche sind signifikant verschieden.

Tabelle (PAC I-3)

Signifikanzniveaus für die Gießversuche und Maxima aus Injektionsversuchen

Parameter	Ob. Signifikanzniveau	Unt. Signifikanzniveau	Maxima aus Injektionsversuchen
el. Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1588	1262	1543, 1285
TOC-Konzentration [mg/l]	712	599	710, 712

Bei Betrachtung der Maxima erhalten wir für die Gießversuche und für die Injektionsversuche vergleichbare Werte; d. h. für die Beurteilung der Auswirkung auf das umströmende Wasser können beide Methoden wechselweise herangezogen werden.

Fasst man alle 5 Versuche zusammen, so ergeben sich folgende Mittelwerte und Variationskoeffizienten (s. Tab. PAC I-4):

Tabelle (PAC I-4) *)

Gemeinsame Mittelwerte und Variationskoeffizienten für Gieß- und Injektionsversuche mit PAC I (Maxima der el. Leitfähigkeit und der TOC-Konzentrationen)

Parameter	Mittelwert	Standard-abweichung	Variations-koeffizient (%)
el. Leitfähigkeit Maxima [µS/cm]	1420	108,8	7,6
TOC-Konzentration Maxima [mg/l]	678	36,36	5,36

*) s. hierzu auch Graphiken der Anlagen (PAC I-2a) und (PAC I-3c)

3.3.4.1.4 Toxizitätsuntersuchungen

Es ist eine deutliche Abnahme der toxischen Wirkung der Prüfwasser-Inhaltsstoffe vom Elutions-Maximum zur Abklingphase festzustellen. Dabei ist eine gute Übereinstimmung der Wirkung auf Daphnien und der Hemmwirkung auf Algen festzustellen. Die Ansprechempfindlichkeit der beiden Testverfahren ist ähnlich.

Auf die Prüfwässer der Fraktionen der Elutionsmaxima reagiert die Süßwasseralge *Scenedesmus Subspicatus* (CHODAT) auf Verdünnungen zwischen 1:4 und 1:7 mit Hemmung > 20 %; die *Daphnia magna* Strauß reagiert auf Verdünnungen zwischen 1:3 und 1:9 ebenfalls mit Hemmung > 20 % (s. Tabellen u. Graphiken der Anlagen (PAC I-4) bis (PAC I-4c). Die Daphnien reagieren in der Regel empfindlicher auf die Prüfwässer, die direkt vor dem TOC-Elutionsmaximum liegen (s. Anlagen PAC I-4a bis 4c).

Die Wirkung der Prüfwässer der Abklingphase auf Daphnien liegt zwischen $G_D = 1$ und $G_D = 2$; die Prüfwässer der Abklingphase aus dem Gießversuch zeigen keine Hemmwirkung auf das Algenwachstum, die aus dem Injektionsversuch nur bis zu einer Verdünnung von 1:3.

Die Untersuchung der Wirkung der o. g. Prüfwässer auf Leuchtbakterien ergab in jedem Fall G_L -Werte < 2; d. h. die Ansprechempfindlichkeit der Leuchtbakterien ist deutlich geringer als die der Algen und Daphnien (s. Anlagen PAC I-5).

3.3.4.2 PAC II

Die Injektion wurde analog 3.3.4.1.2 im dreifachen Parallelversuch in Mittelsand (Haltern H 32) durchgeführt. Aufgrund eines Missgeschicks gingen die Prüfwässer aus dem Versuch „Säule C“ verloren, so dass für den Vergleich aller drei Versuche nur die Werte der elektrischen Leitfähigkeit und der pH-Werte als für Polyacrylate nicht so aussagekräftige Parameter vorliegen (s. Anlagen: (PAC II-1 bis 2a).

Der Verlauf der TOC-Abgabe in den Säulenversuchen A und B ist fast deckungsgleich (s. Anlagen: PAC II-3 und 3a). Der Variationskoeffizient für die Maxima der TOC-Konzentrationen liegt bei 3,54 %.

Die Summen der in den ersten 7½ Stunden in Säule A und B abgegebenen organischen Substanzen, bestimmt als Summe TOC (s. Anlagen: PAC II-3b u. 3c) ergeben einen Variationskoeffizienten von 2,94 %.

Tabelle (PAC II-1) *)

Injektionsversuche mit PAC I

Parameter	Versuch 1	Versuch 2	Mittelwert	Variationskoeffizient [%]
Maximum TOC-Konzentration [mg/l]	472	449	460,5	3,54
TOC, Gesamtelution [mg]	1787	1863	1825	2,94

*) Siehe hierzu auch die Graphiken Anlagen: PAC II-3a und 3c

Die Injektionskörper sind kugelsymmetrisch und von annähernd gleichem Durchmesser (s. Anlagen : PAC II-6)

3.3.5 Isocyanat-basierte Systeme

3.3.5.1 Polyurethan, langsam reagierend (PUR I)

Für einen dreifachen Parallelversuch wurden drei Säulen nach 2.3.1 mit Normensand nach DIN EN 196-1 gefüllt und die Apparaturen 24 (± 2) Stunden mit Trinkwasser gespült.

Anschließend wurde je 1 ($\pm 0,02$) Liter des Gemisches aus den beiden Ausgangskomponenten mittels Injektionspumpe über Mauerpacker in die Sandsäulen bei ausgeschaltetem Durchfluss injiziert.

Nach einer Reaktionszeit von 4 Stunden, während der eine heftige Gasentwicklung (CO_2) stattfand, wurden die Säulen mit 4 ($\pm 0,2$) Liter Trinkwasser pro Stunde durchströmt und zunächst kontinuierlich Fraktionen von 2 ($\pm 0,1$) Liter zur Analyse entnommen.

Die Analysenergebnisse sind in den Anlagen (PUR I-1 bis 6) zusammengestellt. Der Vergleich der Analysenergebnisse im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit wird in Tabelle (PUR I-1) vorgenommen:

Tabelle (PUR I-1) *)

Vergleich der Maxima der EL und des TOC-Gehaltes sowie der TOC-Summen aus 3 Parallelversuchen mit PUR I sowie der Variationskoeffizienten

Parameter	Säule A	Säule B	Säule C	Variationskoeffizient (%)
el. Leitfähigkeit Maxima [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	729	673	841	11,4
TOC-Konzentration Maxima [mg/l]	57,5	63,4	44,1	18
prim. arom. Amine Maxima [mg/l]	0,023	0,021		6,4
TOC, Gesamtelution [mg]	581	547	563	3,03

*) s. hierzu auch die Graphiken Anlagen (PUR I-2a), (PUR I-3a), (PUR I-3c) und Tabelle (PUR I-4)

Insgesamt ist der Elutionsverlauf weitestgehend deckungsgleich zwischen den drei Versuchen. Die anfängliche pH-Wert-Absenkung in den Prüfwässern ist auf die CO₂-Entwicklung aus der Reaktion von Isocyanat mit Wasser zu erklären (s. Anlagen PUR I-1 und 1a).

Anmerkung:

Durch das Aufschäumen des Injektionsgutes bildeten sich bei Anwendung von 1 l Material sehr unregelmäßige Injektionskörper, so dass die Ergebnisse nur bedingte Aussagekraft über die mit dem gewählten Verfahren erreichbare Reproduzierbarkeit haben (s. Anlagen PUR I-6).

Toxikologische Untersuchungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen auf Algen-, Daphnien- und Leuchtbakterien-Toxizität sind den Tabellen (PUR I-5a, 5b u. 5d) sowie der Graphik (PUR I-5c) zu entnehmen. Die Wirkungen auf Algen und Daphnien liegen im gleichen Verdünnungsbereich. Die Hemmwirkung der Prüfwässer der Abklingphase ist erwartungsgemäß geringer als die der Wässer mit dem Elutionsmaximum. Die Empfindlichkeit der Leuchtbakterien ist bei diesem Produkt sehr viel geringer als bei den Algen und Daphnien.

3.3.5.2 Silikatschaum (PUR II)

Die Injektion des Zweikomponenten-Systems erfolgte über einen Mischkopf und Mauerpacker entsprechend 2.3.4 in Mittelsand (Haltern H 32). Es wurden im dreifachen Parallelversuch jeweils insgesamt 0,4 ($\pm 0,005$) Liter Injektionsmaterial pro Säule (0,2 l Komponente 1 und 0,2 l Komponente 2) injiziert.

Bereits kurz nach der Injektion war erkennbar, dass das Injektionsgut in Säule B sich zur Säulenwand ausbreitete und dort anhaftete. Dies ist auch an den Injektionskörpern erkennbar (s. Anlagen: PUR II-6) und erklärt die im Versuch B erhaltenen, stärker abweichenden Konzentrationswerte (s. Tabellen der Anlagen PUR II-2 bis PUR II-4).

Lässt man Versuch B aus den genannten Gründen außer Betracht, sind die Abweichungen der Maxima der Versuche A und C vom Mittelwert (mit Ausnahme des Natriums) doch noch erheblich (s. Tabelle PUR II-1). Allerdings handelt es sich hier um Konzentrationen auf niedrigem Niveau. Die Konzentrationen im Trinkwasser wurden von den Konzentrationen der Prüfwässer abgezogen.

Tabelle (PUR II-1) ^{*)}

Vergleich der Maxima und der TOC-Summen aus 2 Parallelversuchen mit PUR II sowie der Variationskoeffizienten

Parameter	Säule A	Säule C	Mittelwert	Variationskoeffizient (%)
el. Leitfähigkeit Maxima [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	864	811	837,5	4,5
TOC-Konzentration Maxima [mg/l]	12,4	7,0	9,7	39,4
TOC, Gesamtelution [mg]	67,0	57,0	62,0	11,4
Silicium Maxima [mg/l]	58,3	22,8	40,6	61,9
Natrium Maxima [mg/l]	132	123	127,5	5,0

^{*)} s. auch Anlagen (PUR II - 2 bis 4)

Toxikologische Untersuchungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen auf Algen-, Daphnien- und Leuchtbakterien-Toxizität sind den Tabellen (PUR II-5a, 5b u. 5d) sowie der Graphik (PUR I-5c) zu entnehmen. Die Wirkungen auf Algen und Daphnien liegen im gleichen Verdünnungsbereich. Die Hemmwirkung der Prüfwässer der Abklingphase ist deutlich geringer als die der Wässer mit dem Elutionsmaximum. Auch bei diesem Produkt zeigten die Leuchtbakterien die geringste Empfindlichkeit.

3.3.6 System zur Kalkvernetzung

3.3.6.1 Diskussion der Analysenergebnisse

Die Säulen wurden nach 2.3.1 mit Sand (Haltern H 32) für den dreifachen Parallelversuch vorbereitet. Nach Beendigung des Spülvorgangs wurde in jede Säule je 500 (± 20) ml der vorbereiteten beiden Reaktionskomponenten über einen Mischkopf injiziert. Nach einer Stunde Reaktionszeit wurde der Durchfluss durch die Säulen über Schlauchpumpen gestartet und während der ersten 7½ Stunden kontinuierlich Fraktionen von 2 ($\pm 0,1$) Liter entnommen. Die Analysenergebnisse sind in den Anlagen (KALK 1 bis 6) zusammengestellt.

Nach Beendigung des Versuches wurden die Injektionskörper ausgegraben. Dabei fiel auf, dass von den kugelsymmetrischen Injektionskörpern die Kugel aus Säule E einen deutlich kleineren Durchmesser erreichte. Erwartungsgemäss sind auch die Konzentrationen in den Prüfwässern dieses Versuches (TOC, Calcium, Chlorid, Ammonium und die elektrische Leitfähigkeit als Mass für die gelösten Salze) deutlich niedriger als in den Prüfwässern der beiden anderen Parallelversuche.

Lässt man die Ergebnisse aus dem Versuch "Säule E" außer Betracht, so beträgt der Variationskoeffizient für die Konzentrationsmaxima der Säulen C und D für TOC 4,5 % und für die elektrische Leitfähigkeit 11,4 % (Tabelle (KALK 1)).

Bezieht man die Gesamtabgabe organischer Substanzen (TOC gesamt) auf die Oberfläche der Injektionskörper, so beträgt der Variationskoeffizient über alle 3 Versuche 5,9 %. Die TOC-Abgabe ist offenbar eher Oberflächen-bezogen als Volumen-bezogen. In letzterem Fall ergibt sich ein Variationskoeffizient von 10 % (Tabelle (KALK 1)).

Tabelle (KALK 1)

Vergleich der Versuchsergebnisse aus den 3 Säulen (C, D, E)

Parameter	Säule C	Säule D	Säule E	Variationskoeffizient C, D, E [%]	Variationskoeffizient C, D [%]
TOC-Maximum [mg/l]	748	702	421	28	4,5
TOC Gesamtabgabe [mg]	6180	6540	4792	15,8	4,0
El. Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	38.800	33.000	6910	39	11,4
Radius d. Injektionskörpers [cm]	10,0	9,7	8,6		
Oberfläche d. Injektionskörpers	12,57	11,83	9,3	15,3	
TOC-Gesamtabgabe pro dm^2 [mg/dm^2]	492	553	515	5,9	
TOC-Gesamtabgabe pro dm^3 [mg/dm^3]	1475	1712	1795	10,0	

3.3.6.2 Toxizitätstests

Daphnientest und Algenhemmtest zeigen eine gute Übereinstimmung in Bezug auf ihre Ansprechempfindlichkeit. Dabei wirken die Prüfwässer aus dem Versuch E entsprechend der insgesamt geringeren Konzentration der Inhaltsstoffe deutlich weniger toxisch auf Daphnien. Dies gilt tendenziell auch für den Algenhemmtest. Die Leuchtbakterien reagierten in diesem Fall empfindlicher auf die Prüfwässer mit Elutionsmaximum als vergleichsweise bei den meisten anderen Produkten.

Für die Prüfwässer der Abklingphase liegt die Grenze der 20 %-igen Hemmung im Algentest zwischen 1 : 4 (Säule E) und 1 : 9 (Säule C und D); der Daphnientest zeigt Werte zwischen $G_D = 3$ (Säule E) und $G_D = 7$ (Säulen C und D) (s. Anlagen KALK 5a bis 5c).

3.3.7 Anwendung des Säulenversuchs auf Schlauchliner

Die Untersuchung von Schlauchliner-Systemen, z. B. Epoxidharz-getränkten Filzschläuchen, kann ebenfalls mittels Säulenversuch durchgeführt werden, wenn man einige Modifizierungen durchführt.

In diesem Fall wurde folgendermaßen verfahren:

- 1) Die Säule wird nach 2.3.1 vorbereitet. Anschließend wird der Deckel geöffnet und soviel Sand entfernt, dass ein frisch mit Epoxidharz getränktes Stück Schlauchliner (DIN 100, Länge 20 ± 1 cm, beidseitig verschlossen) vertikal in die Säule eingebaut werden kann, wobei der entfernte Sand so weit verwendet wird, bis die Säule wieder komplett gefüllt ist. Das untere Ende des Schlauchliners befindet sich 10 ± 2 cm über dem Boden der Säule. Anschließend wird die Säule mit Wasser beaufschlagt (Durchfluss $4 \pm 0,2$ Liter pro Stunde). Die Probenahme erfolgt kontinuierlich (Menge der Fraktionen: $2 \pm 0,1$ Liter).
- 2) Bei thermisch aushärtenden Schlauchliner-Systemen wird die Schlauchprobe über ein passendes, beidseitig verschlossenes Edelstahl- oder Kupferrohr gezogen, das durch den Säulendeckel über Schläuche mit einem Thermostaten verbunden ist. Diese Anordnung wird in die mit Sand gefüllte und nach 2.3.1 vorbereitete Säule eingebaut. Die Thermostatflüssigkeit mit der vorgegebenen Temperatur durchströmt während der vorgegebenen Zeit das Edelstahl- bzw. Kupferrohr. Die Prüfwässer werden wie oben beschrieben entnommen. Versuche zur Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wurden bisher noch nicht durchgeführt.

4 SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

- 1) Die Injektionsmaterialien wie *Weichgele*, *Polyacrylate*, aber auch *Polyurethane* und *Kalkvernetzer* ergaben u. E. hinreichend gute Reproduzierbarkeiten im Parallelversuch. Voraussetzungen dafür sind allerdings, dass das Packersystem fehlerfrei funktioniert und identische Mengen bei den Parallelversuchen injiziert werden.

Außerdem sollte die eingesetzte Produktmenge für die Injektion auf insgesamt 500 ml begrenzt werden, da einige Produkte (insbesondere die auf Isocyanat-Basis) stark aufschäumen. Die Folge davon sind eine starke Volumenvergrößerung des Reaktionsproduktes (Injektionskörpers) und die Gefahr des Verklebens mit der Säulenwand.

Eine weitere Bedingung für reproduzierbare Ergebnisse ist eine konstante Durchflussgeschwindigkeit ($4 \pm 0,2$ Liter pro Stunde), die z. B. mittels Schlauchpumpen eingestellt werden kann.

Als Prüfwasser für den Säulenversuch schlagen wir die Verwendung mittelharten Wassers (Härtebereich II gem. Waschmittelgesetz) vor. Extrem hartes Wasser sollte entweder teilweise enthärtet oder mit entmineralisiertem Wasser gemischt werden; weiches Wasser (z. B. Talsperrenwasser) ist aufzuhärten.

Der Einsatz von Normsand ist u. E. für die Erzielung reproduzierbarer Ergebnisse bei allen Produkten nicht geeignet, da nach dem Einschlämmen eine Entmischung stattfindet, sodass sich Schichten von Sandkörnern mit jeweils gleicher Körnung bilden und die Säulenfüllungen damit inhomogen sind. Gleichmäßigere Füllungen werden dagegen z. B. mit Feinsand (wie Frechen F 36) oder Mittelsand (z. B. Haltern H 32) erzielt.

Die Probenahme von jeweils 2-Liter-Fractionen während der ersten 6 bis 8 Stunden nach Start der Durchströmung mit Trinkwasser hat sich als ausreichend differenzierend bewährt. An den Folgetagen (2. bis 8. Tag) ist dann die Entnahme von jeweils 2 Proben im Abstand von ca. 8 Stunden ausreichend.

- 2) Gegenüber den oben genannten Materialien bereiten die *Flutungssysteme* im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit noch ungelöste Schwierigkeiten (die nicht nur beim Einsatz des sehr inhomogenen Normsand es auftreten). Eine Lösung könnte in einer Herstellung von Prüfkörpern außerhalb der Säule mit anschließendem Einbau sein. Hierzu müssten allerdings noch praktische Versuche durchgeführt werden.

Zur Beurteilung dieser Produkte könnten ersatzweise für den Säulenversuch folgende Maßnahmen herangezogen werden:

1. Beschränkung des Einsatzes nur auf Risse mit begrenzter Weite;
 2. Toxikologische Bewertung der Ausgangsprodukte (s. z. B. Toxizitätstests von reinen Wasserglaslösungen wie in Kapitel 3.3.3 beschrieben)
 3. Toxikologische Bewertung der Reaktionsprodukte (Injektionskörper) z. B. nach beendeter Verseifung.
- 3) Bauwerksabdichtungsprodukte wie *Bitumen-Dickbeschichtungen* sollten mittels Trogversuch des UBA ([2], Tab. C 3) getestet werden.
- 4) Der Transport und die Handhabung der auch in der Praxis verwendeten Pumpen für die Durchführung der Injektionen haben sich für einen Laborversuch als sehr aufwendig erwiesen. Als Alternative bietet sich die Verwendung von Doppelkartuschen an (Dr. Cornely, Carbotech-Fosroc, Essen, persönliche Mitteilung). Erfahrungen mit dieser Technik liegen dem Hygiene-Institut noch nicht vor.

5 ZUSAMMENFASSUNG DER RAHMENBEDINGUNGEN

- Säule:
- Material: Acrylglas
 - Abmessungen: Höhe 50 (\pm 1) cm, Durchmesser 30 (\pm 1) cm
- Versuchs-
anordnung::
- Deckel: Die Säule wird oben und unten mit jeweils einem abnehmbaren Deckel aus PVC verschlossen. Die Deckel haben kurze zylindrische Ausformungen, sodass sie jeweils ca. 20 mm in die Säule hineinragen. In diese in der Säule steckenden Teile der Deckel ist eine Rille eingelassen für einen Dichtungsring. In der Mitte der Deckel befinden sich Schlauchtüllen für das ein- bzw. ausströmende Wasser.
 - Montage: Die Deckel haben am Rand jeweils 4 Löcher für die 4 Gewindestangen (M 8), mittels derer die Deckel auf das Acrylglasrohr gepresst werden. Die gesamte Anordnung ist auf ein Stativ montiert.
- Sand:
- Qualität: Für die Säulenfüllung sind Quarzsande (z. B. Frechen F36 und Haltern H32) für gleichmäßige Injektionskörper und für eine gute Reproduzierbarkeit am besten geeignet. Normensand nach DIN EN 196-1 neigt beim Einbringen in die Säule aufgrund seiner breiten Sieblinie zum Entmischen.
 - Einbringen i. d. Säule: Einschlämmen des Sandes in die z. T. mit Wasser gefüllte Säule; durch abwechselndes Abziehen und Zupumpen des Wassers während des Füllvorganges werden Lufträume in der Sandfüllung beseitigt.
- Prüfwasser:
- Qualität: Als Prüfwasser für den Säulenversuch schlagen wir die Verwendung mittelharten Wassers vor (Härtebereich II gem. Waschmittelgesetz). Extrem hartes Wasser ist entweder teilzuenthärten oder mit entmineralisiertem Wasser zu mischen; weiches Wasser (z. B. Talsperrenwasser) ist aufzuhärten.
 - Anschluss: Das Ausgangswasser (z. B. Trinkwasser) läuft kontinuierlich in ein Vorratsgefäß und wird durch eine Schlauchpumpe zur Säule gefördert.

- Durchfluss:
- Durchflussrichtung: Das Ausgangswasser wird durch die Schlauchpumpe von unten nach oben durch die Sandsäule gepumpt.
 - Durchflussgeschwindigkeit: Die Förderung des Ausgangswassers durch die Säule wird mit Hilfe der Schlauchpumpe auf 4 ($\pm 0,2$) Liter pro Stunde eingestellt.
- Injektionsgut:
- Zweikomponenten-System, schnell reagierend: Einbringung in die Säule mit den auch in der Praxis verwendeten Pumpen mit Mischkopf.
 - Zweikomponenten-System, langsam reagierend: Vormischung der Komponenten und anschließende Injektion mit einer einfachen Pumpe.
 - Flutungssysteme zur Kanalsanierung: Sukzessive Infiltration über ein Rohr bei geöffnetem Säulendeckel.
- Probenahme:
- Fraktionierung: Nach der Reaktionszeit (Kippzeit bei Gelen) wird die Durchströmung der Säule gestartet, auf 4 ($\pm 0,2$) Liter eingestellt 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.
 - Zeitrahmen: 1) Kontinuierliche Probenahme der 2-Liter-Fraktionen während der ersten 6 bis 8 Stunden nach Starten der Durchströmung. 2) Am 2. bis 8. Tag: Entnahme von jeweils 2 Proben (je 1 Liter) im Abstand von ca. 8 Stunden.

6 LITERATUR

- [1] DIN 4093 Einpressen (Injektion) in Untergrund und Bauwerke - Planung, Ausführung, Prüfung
- [2] DIBT-Merkblatt "Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser", Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik, Reihe M, Heft 1, November 2000
- [3] H. Schössner, U. Gödtner und R. Schorr "Polyurethan-Verpressung im Tiefbau unter dem Gesichtspunkt des Grundwasserschutzes", Wasser und Boden, 37, S. 56 - 58, 1985
- [4] F. von Gersum "Prüfprogramm zur Abschätzung der ökologischen Verträglichkeit von Injektionsmitteln zur Schadensbehebung in Kanalisationen", in Widmann (Hersg.): "Grouting in Rock and Concrete", S. 31 - 41, Balkema, Rotterdam 1993 (ISBN 90-54-10-350-7)
- [5] H. Schössner "Injektionen in den Baugrund - Anforderungen und Prüfungen aus wasserhygienischer Sicht, Wasser und Boden, ?, S. 62, 1994
- [6] T. Lege, O. Kolditz und W. Zielke Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Band 2: Strömungs- und Transportmodellierung. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 1996
- [7] J. Mutschmann und F. Stimmelmayr Taschenbuch der Wasserversorgung, 10. vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage, Franck-Kosmos, 1994

7 GLOSSAR

Verwendete Abkürzungen:

EL	Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
HG	Hartgel-System
KALK	Produkt zur Kalkvernetzung
PAC	Polyacrylat-System
PUR	Polyurethan-System
TOC	Total organic Carbon [mg/l]
WG	Weichgel-System

8 OBJEKTBETREUUNG

Das Forschungsvorhaben „Entwicklung der inversen Säulenmethode zur standardisierten Prüfmethode für Bodeninjektionen“ entsprechend § 3 des Werkvertrages wurde von den Mitgliedern der PG „Bodeninjektionsmittel“ und der PG „Kanalrohrsanierungsmittel“ betreut:

Frau Apel	DIBT, Berlin
Herr Dipl.-Biol. Böhme	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin
Herr Dr.-Ing. Borchert	GUD-Consult GmbH, Berlin
Herr Dr. Eiswirth	AGK Angewandte Geologie, Karlsruhe
Herr Dr. Grunder	Ökologische Beurteilung von Bauprodukten, Berlin
Frau Dr. Hohberg	Deutsche Bauchemie e. V., Frankfurt/Main
Frau Hück	Umweltbundesamt, Berlin
Frau Dipl.-Ing. Ipawitz	DIBT, Berlin
Herr Dr. Karl	MC-Bauchemie MC Müller GmbH & Co., Bottrop
Herr Dipl.-Ing. Liersch	Bauer Spezialtiefbau GmbH, Schrobenshausen
Herr Dipl.-Chem. Misch	DIBT, Berlin
Frau Dr. Pawel	DIBT, Berlin
Frau Dr. Scholz	Umweltbundesamt, Berlin
Herr Dr.-Ing. Schwarz	Bauer Spezialtiefbau GmbH, Schrobenshausen
Herr Dr.-Ing. Teichert	Dyckerhoff AG, Wiesbaden
Herr Prof. Dr.-Ing. Wichter	Technische Universität Cottbus

Anlagenübersicht

Anlage		Titel
ABB.	1	Versuchsaufbau der Apparatur für Injektionsversuche
ABB.	2	Versuchsaufbau der Säulen mit umgekehrter Fließrichtung

Anlage		Titel
SAND	1	Quarzsand Frechen
SAND	2	Quarzsand Haltern
SAND	3	Normensand Beckum

Anlage		Titel
WG	1	pH-Werte der Einzelfractionen (je 1 l)
WG	1a	Diagramm
WG	1b	Zusammensetzung des Ausgangswassers (Trinkwasser Gelsenkirchen)
WG	2	Säurekapazität bis pH = 8,2 der Einzelfractionen (je 1 l)
WG	2a	Diagramm
WG	3	Natriumkonzentrationen (als Na ⁺) der Einzelfractionen (je 1 l)
WG	3a	Diagramm
WG	4	Kieselsäurekonzentrationen (als SiO ₂) der Einzelfractionen (je 1 l)
WG	4a	Diagramm
WG	5	Elutionsverhalten von Natrium, Aluminium und Kieselsäure sowie Verlauf des pH-Wertes u. d. Elektrischen Leitfähigkeit
WG	5a	Diagramm
WG	6a	Ausgangswasser: Trinkwasser Schrobenhausen, pH-Werte
WG	6b	Zusammensetzung des Ausgangswassers (Trinkwasser Schrobenhausen)
WG	7	Injektionskörper

WAGL	1	Algen-Wachstumshemmtests, Wasserglaskomponenten v. HG I und HG II
WAGL	2	Daphnien-Toxizitätstests, Wasserglaskomponenten v. HG I und HG II
WAGL	3	Leuchtbakterien-Tox.-Tests, Wasserglaskomponenten v. HG I und HG II
WAGL	4	Diagramm

Anlage		Titel
HG I	1	pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)
HG I	1a	Diagramm
HG I	2	Elektrische Leitfähigkeits-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)
HG I	2a	Diagramm
HG I	3	Säurekapazität bis pH = 8,2 der Einzelfractionen (je 2 l)
HG I	3a	Diagramm
HG I	4	TOC-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)
HG I	4a	Diagramm
HG I	4b	TOC-Gesamtabgabe - während der ersten 7,5 Stunden
HG I	4c	Diagramm
HG I	5	Natrium-Konzentrationen (als Na ⁺) u. Kieselsäurekonzentrationen (als Si) der Einzelfractionen (je 2 l)
HG I	5a	Diagramm
HG I	6	Injektionskörper

Anlage		Titel
HG II	1	pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)
HG II	1a	Diagramm
HG II	2	Elektrische Leitfähigkeits-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)
HG II	2a	Diagramm
HG II	3	Säurekapazität bis pH = 8,2 der Einzelfractionen (je 2 l)
HG II	3a	Diagramm
HG II	4	TOC-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)
HG II	4a	Diagramm
HG II	4b	TOC-Gesamtabgabe - während der ersten 7,5 Stunden
HG II	4c	Diagramm
HG II	5	Natrium-Konzentrationen (als Na ⁺) u. Kieselsäurekonzentrationen (als Si) der Einzelfractionen (je 2 l)
HG II	5a	Diagramm
HG II	6a	Algen-Wachstumshemmtests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC _{max} u. TOC _{ende}
HG II	6b	Daphnien-Toxizitätstests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC _{max} u. TOC _{ende}
HG II	6c	Leuchtbakterien-Tox.-Tests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC _{max} u. TOC _{ende}
HG II	7	Injektionskörper

Anlage		Titel
PAC-I	1	pH-Werte der Einzelfractionen (je 1 l)
PAC-I	1a	Diagramm
PAC-I	2	Elektrische Leitfähigkeits-Werte der Einzelfractionen (je 1 l)
PAC-I	2a	Diagramm
PAC-I	3	TOC-Werte der Einzelfractionen (je 1 l)
PAC-I	3a	Diagramm
PAC-I	3b	TOC-Gesamtabgabe - während der ersten 7,5 Stunden
PAC-I	3c	Diagramm
PAC-I	4	Algen-Wachstumshemmtests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
PAC-I	4a	Daphnien-Toxizitätstests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
PAC-I	4b	Diagramm
PAC-I	4c	Leuchtbakterien-Tox.-Tests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
PAC-I	6	Injektionskörper

Anlage		Titel
PAC-II	1	pH-Werte der Einzelfractionen (je 1 l)
PAC-II	1a	Diagramm
PAC-II	2	Elektrische Leitfähigkeits-Werte der Einzelfractionen (je 1 l)
PAC-II	2a	Diagramm
PAC-II	3	TOC-Werte der Einzelfractionen (je 1 l)
PAC-II	3a	Diagramm
PAC-II	3b	TOC-Gesamtabgabe - während der ersten 7,5 Stunden
PAC-II	3c	Diagramm
PAC-II	4	Algen-Wachstumshemmtests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
PAC-II	4a	Daphnien-Toxizitätstests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
PAC-II	4b	Diagramm
PAC-II	4c	Leuchtbakterien-Tox.-Tests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
PAC-II	6	Injektionskörper

Anlage		Titel
PUR-I	1	pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)
PUR-I	1a	Diagramm
PUR-I	2	Elektrische Leitfähigkeits-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)
PUR-I	2a	Diagramm
PUR-I	3	TOC-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)
PUR-I	3a	Diagramm
PUR-I	3b	TOC-Gesamtabgabe - während der ersten 7,5 Stunden
PUR-I	3c	Diagramm
PUR-I	4	Primäre aromatische Amine, Phenole und Formaldehyd der Einzelfractionen (je 2 l)
PUR-I	5a	Algen-Wachstumshemmtests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
PUR-I	5b	Daphnien-Toxizitätstests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
PUR-I	5c	Diagramm
PUR-I	5d	Leuchtbakterien-Tox.-Tests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
PUR-I	6	Injektionskörper

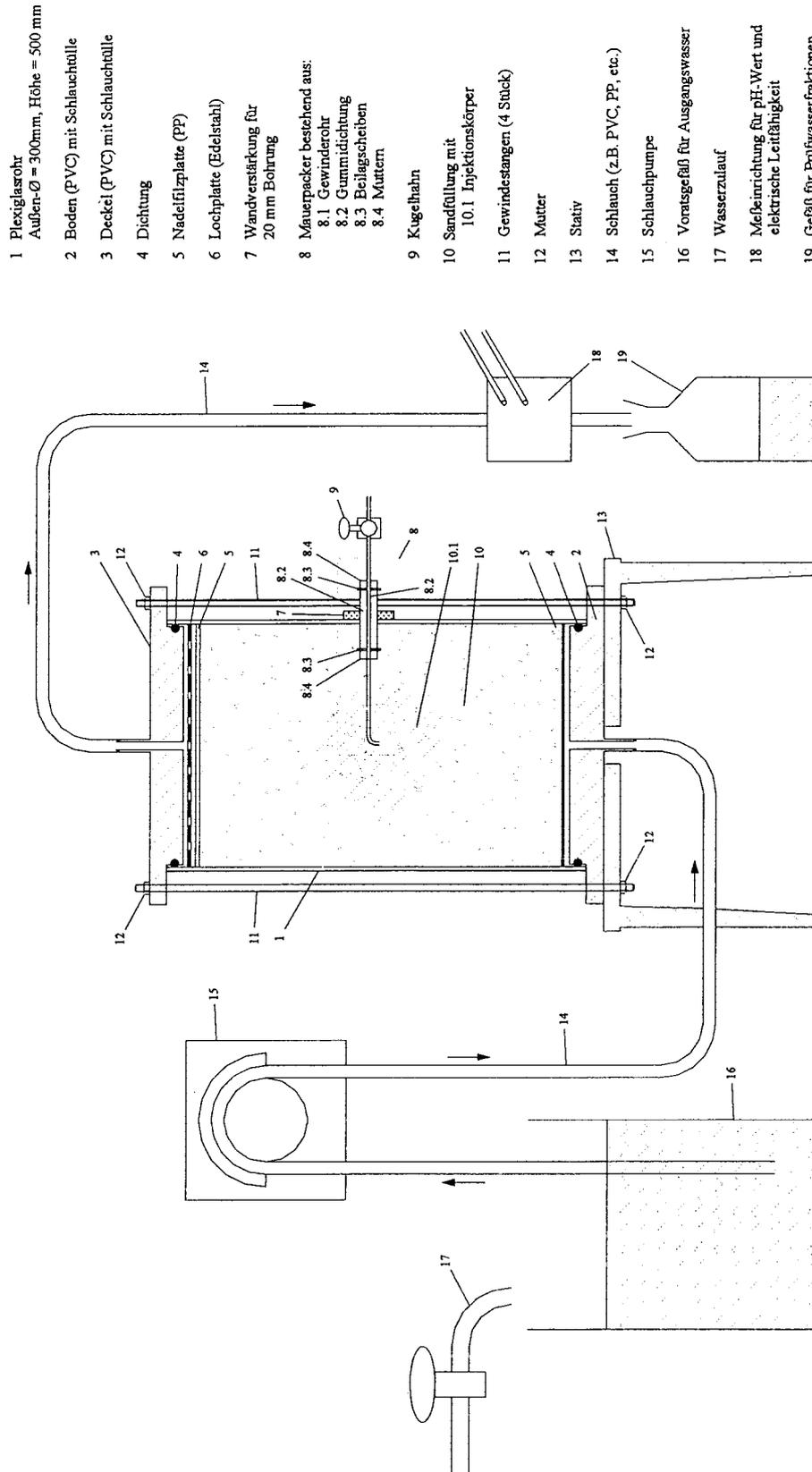
Anlage		Titel
PUR-II	1	pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)
PUR-II	1a	Diagramm
PUR-II	2	Elektrische Leitfähigkeits-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)
PUR-II	2a	Diagramm
PUR-II	3	TOC-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)
PUR-II	3a	Diagramm
PUR-II	3b	TOC-Gesamtabgabe - während der ersten 7,5 Stunden
PUR-II	3c	Diagramm
PUR-II	4	Silicium- und Natriumgehalt der Einzelfractionen (je 2l)
PUR-II	4a	Diagramm
PUR-II	5a	Algen-Wachstumshemmtests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
PUR-II	5b	Daphnien-Toxizitätstests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
PUR-II	5c	Diagramm
PUR-II	5d	Leuchtbakterien-Tox.-Tests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
PUR-II	6	Injektionskörper

Anlage		Titel
KALK	1	pH-Werte der Einzelfraktionen (je 2 l)
KALK	1a	Diagramm
KALK	2	Elektrische Leitfähigkeits-Werte der Einzelfraktionen (je 2 l)
KALK	2a	Diagramm
KALK	3	TOC-Werte der Einzelfraktionen (je 2 l)
KALK	3a	Diagramm
KALK	3b	TOC-Gesamtabgabe - während der ersten 7 ½ Stunden
KALK	3c	Diagramm
KALK	4	Calcium-, Chlorid- und Ammonium-Konzentration der Einzelfraktionen (je 2 l)
KALK	4a	Maximale Ca^{2+} -, Cl^- - und NH_4^+ - Werte der drei Versuche, umgerechnet auf 1 dm ² Oberfläche des jeweiligen Injektionskörpers
KALK	4b	Elutionsverhalten von Ca^{2+} -, Cl^- - und NH_4^+ -Werte (Säule C, Werte pro 1 dm ² Injektionskörper)
KALK	5a	Algen-Wachstumshemmtests d. Einzelfraktionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
KALK	5b	Daphnien-Toxizitätstests d. Einzelfraktionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
KALK	5c	Diagramm
KALK	5d	Leuchtbakterien-Tox.-Tests d. Einzelfraktionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}
KALK	6	Injektionskörper

Versuchsaufbau der Säule mit umgekehrter Fließrichtung

(ABB-1)

Injektionsprüfaufbau: Säule mit umgekehrter Fließrichtung



- 1 Plexiglasrohr
Außen-Ø = 300mm, Höhe = 500 mm
- 2 Boden (PVC) mit Schlauchfülle
- 3 Deckel (PVC) mit Schlauchfülle
- 4 Dichtung
- 5 Nadelnplatte (PF)
- 6 Lochplatte (Edelstahl)
- 7 Wandverstärkung für 20 mm Bohrung
- 8 Mauerpacker bestehend aus:
8.1 Gewinderohr
8.2 Gummidichtung
8.3 Beilagscheiben
8.4 Müttern
- 9 Kugelhahn
- 10 Sandfüllung mit
10.1 Injektionskörper
- 11 Gewindestangen (4 Stück)
- 12 Mutter
- 13 Stativ
- 14 Schlauch (z.B. PVC, PP, etc.)
- 15 Schlauchpumpe
- 16 Vorratsgefäß für Ausgangswasser
- 17 Wasserzulauf
- 18 Meßeinrichtung für pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit
- 19 Gefäß für Prüfwaterfraktionen

Säulen für die Injektionsversuche

(ABB-1)



Quarzsand Frechen
(s. auch Homepage: quarzwerke.com)

(SAND-1)

Quartz Sand Frechen

F31 to F36

Quarzwerke GmbH
Postfach 1780
D-50207 Frechen

Kaskadenweg 40
D-50226 Frechen

Telefon 02234/101-0
Telefax 02234/101-400
Telex 889 285 qvkw

The quartz sand grades from Frechen plant are processed products, which are standardised by their chemical and physical parameters. They are used as raw material by the glass- and chemical industry as well as by other consumers. Quartz sand from the Frechen deposit is mined by bucket wheel excavators in an open pit. The processing includes washing, hydroclassification and drying.

The grades F 31, F32, F34 and F36 are produced directly by classification. The qualities F33 and F35 are produced by blending.

The quartz sand grades from Frechen are distinguished by their high chemical purity. The SiO₂ content is greater than 99 wt-%. All quartz sand grades can be supplied moist, dried and cooled.

Typical grain size

Quartz Sand Frechen	F31	F32	F33	F34	F35	F36
AFS	46	58	62	65	71	77
Average grain size (mm)	0,31	0,24	0,23	0,21	0,19	0,17
Theoretical spec. Surface area (cm ² /g)	77	102	109	115	127	139
Grain size (mm)	Residue in weight-%					
> 0,710	1					
0,710 - 0,500	7	1	1			
0,500 - 0,355	24	5	3	1	1	
0,355 - 0,250	35	28	21	15	9	4
0,250 - 0,180	25	51	52	54	44	34
0,180 - 0,125	7	14	21	27	38	50
0,125 - 0,090	1	2	2	3	7	11
< 0,090					1	1

HS-No.: 2505 1000

The grain size distribution is analysed with "Test sieve shaker EML 200 digital plus" of Haver & Boecker (Sieving time: 5 min, Sieving amplitude: 0,3 mm).

The AFS-, O_h (theoretical surface-area)-, mK (medium grain size)-values are derived from the following principal set of sieves (International Standard ISO 565): 500, 355, 250, 180, 125 µm and the formulas given in the "VDG-Merkblatt P27".

Typical physical properties

Linear coefficient of thermal expansion α 20 - 300°C α 20° - 600° C	$14 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$ $24 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$
Start of sintering	1.575° C
Transformation point (β Quartz \leftrightarrow α Quartz)	573° C
Angle of repose of dried quartz sand	$\alpha = 33^\circ$
Bulk density (t/m^3)	1,4
Density (DIN ISO 787-10)	2,65 g/ml
Mohs hardness	7

Typical chemical analysis (weight%)

Quartz Sand Frechen	F31	F32	F33	F34	F35	F36
SiO ₂	99,7	99,7	99,5	99,5	99,3	99,3
Al ₂ O ₃	0,2	0,2	0,25	0,25	0,5	0,5
Fe ₂ O ₃	0,03	0,03	0,04	0,04	0,06	0,06
Loss on ignition 1000° C DIN EN ISO 3262-7	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2

Quartzsand Frechen is produced from prepared natural raw minerals. All data are approximate values with tolerances depending on occurrences and production. They only serve as description and do not represent any warranty concerning the existence of specific characteristics. Traces of coarser particles may be possible.

It applies to the user to test the suitability for his purposes. If wanted, we are prepared to give further information on tolerances and on our experience in technical applications. Sales are subject to our sales and delivery conditions.

Quarzsand Haltern
(s. auch Homepage: quarzwerke.com)

(SAND-2)

Quarzsand Haltern

H31 bis H33

Quarzwerke GmbH
Postfach 1780
D-50207 Frechen

Kaskadenweg 40
D-50226 Frechen

Telefon 02234/101-0
Telefax 02234/101-400
Telex 889 285 qwvk

Die Halterner Quarzsandsorte H31 bis H33 sind aufbereitete, in ihren chemischen und physikalischen Kennwerten standardisierte Produkte. Sie werden in der Gießerei als Formgrundstoff, in der chemischen und Glasindustrie sowie von anderen Verbrauchern als Rohstoff eingesetzt.

Der Rohsand der Lagerstätte Haltern, der unter dem Grundwasserspiegel ansteht, wird mit Saugbaggern gewonnen.

Die Aufbereitung umfasst die Entschlammung, Hydroklassierung und Trocknung des Quarzsandes. Die Sorten H31, H32 und H33 werden direkt produziert und durch die Gruppe der Halterner Mischsorten ergänzt.

Der Halterner Quarzsand zeichnet sich durch hohe Feuerfestigkeit und chemische Reinheit aus. Sein SiO₂-Gehalt liegt über 99 Gew.-% Die Sorten H31, H32 und H33 sind bunkerfeucht, getrocknet und gekühlt lieferbar.

Typische Korngrößenverteilung und Körnungskennwerte

Quarzsand Haltern	H31	H32	H33
AFS	42	45	52
mittlere Korngröße (mm)	0,36	0,32	0,27
Theor. spez. Oberfläche (cm ² /g)	68	75	89
Kornklasse (mm)	Mengenanteil in Gew.-%		
> 0,710	1		
0,710 - 0,500	9	3	1
0,500 - 0,355	36	25	11
0,355 - 0,250	42	53	47
0,250 - 0,180	10	15	31
0,180 - 0,125	2	3	9
< 0,125		1	1

Fremdüberwacht nach DIN 4226

HS-Nr.: 2505 10 00

Siebanalysen erfolgen mit "Vibrationsiebmaschine EML 200 digital plus der Fa. Haver & Boecker" (Siebdauer 5 Min; Amplitude 0,3 mm). Berechnungsgrundlage der Kennwerte (AFS, Oth, mK) ist das VDG-Merkblatt P27.

Typische physikalische Eigenschaften

Linearer Ausdehnungskoeffizient α 20° - 300° C α 20° - 600° C	14*10 ⁻⁶ *K ⁻¹ 24*10 ⁻⁶ *K ⁻¹
Sinterbeginn	1.575° C
Umwandlungstemperatur (β Quarz \leftrightarrow α Quarz)	573° C
Schüttwinkel für trockenen Quarzsand	$\square\alpha = 33^\circ$
Schüttgewicht (t/m ³)	1,4
Dichte (DIN ISO 787-10)	2,65 g/ml
Härte nach Mohs	7

Typische chemische Analyse (Gew.-%)

Quarzsand Haltern	H31	H32	H33
SiO ₂	99,8	99,8	99,6
Al ₂ O ₃	0,1	0,1	0,2
Fe ₂ O ₃	0,04	0,04	0,04
Glühverlust 1000°C (DIN EN ISO 3262-7)	0,1	0,1	0,2

Die Halterner Quarzsande sind aufbereitete natürliche Rohstoffe. Alle Daten sind Richtwerte mit vorkommens- und produktionsbedingter Toleranz. Sie dienen nur zur Beschreibung und stellen keine zugesicherten Eigenschaften dar. Größere und feinere Anteile sind in Spuren möglich.

Dem Benutzer obliegt es, die Tauglichkeit für seinen Verwendungszweck zu prüfen. Wir geben auf Wunsch gerne Auskunft über Toleranzbreiten und anwendungstechnische Erfahrungen. Verkäufe erfolgen gemäß unseren Verkaufs- und Lieferbedingungen.

Normensand Beckum
(s. auch Homepage: normensand.de)

(SAND-3)

CEN-Normsand DIN EN 196 Teil 1

- Sack mit 36 Portionsbeutel zu je 1350 g
- Verpackung im Papiersack

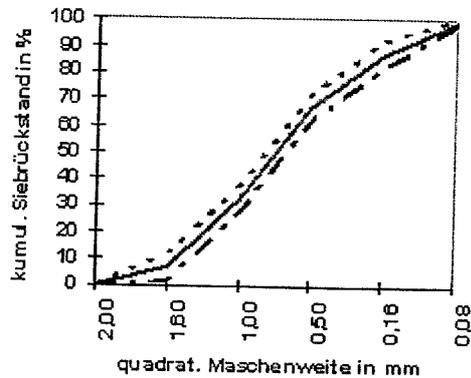


Erläuterungen:

Dieser Prüfsand dient der normgemäßen Festigkeitsbestimmung von Zement und wird seit Gültigkeit der Norm im Jahre 1990 angeboten. Die DIN Norm DIN EN 196 Teil 1 beschreibt den Prüfsand mit folgenden besonderen Kriterien:

- natürlich gerundeter, quarzreicher Sand
- Korngrößenverteilung (durch Siebanalyse ermittelt)

**Korngrößenverteilungs-
Spannbreite gem. DIN EN 196-1**



Sieb in mm	kum. Rückstand	Untergrenze	Intervall-Mittelwert	Obergrenze
2,00		0	0	0
1,60		2	7	12
1,00		28	33	38
0,50		62	67	72
0,16		82	87	92
0,08		98	99	100

-
- Gewichtstoleranzen: 1350 g ± 5 g, d.h. 1345 bis 1355 g je Beutel
- maximale Feuchte < 0,2 %
- Prüfprogramm zum CEN-Reference-Sand
- laufende Überwachungsmaßnahmen
- CEN-Zertifikat unter Bezug auf Normungsorganisation DIN
- interne strenge Eigenüberwachung
- Unternehmens-Qualitätssicherungssystem
- siehe auch Deutsche Zementnorm DIN 1164

Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG 1)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 1 l)

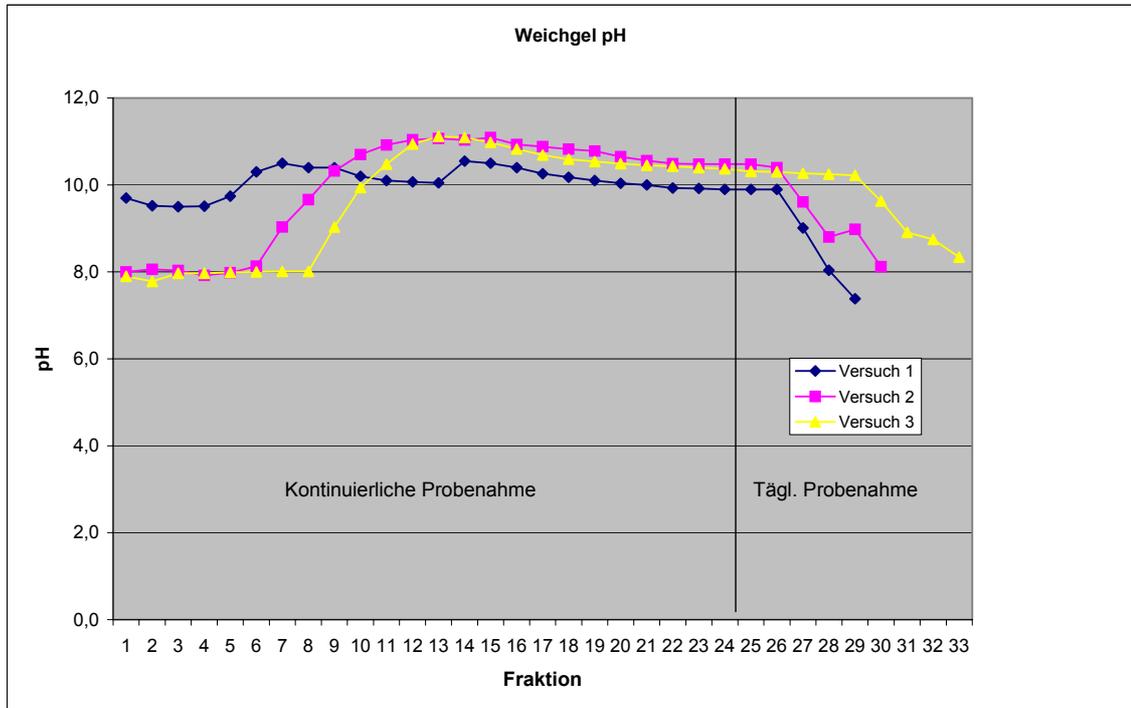
Tag	Fraktion	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
1	1	9,7	8,0	7,9
	2	9,52	8,06	7,78
	3	9,5	8,03	7,97
	4	9,51	7,92	7,97
	5	9,74	7,98	7,99
	6	10,3	8,13	8,0
	7	10,5	9,03	8,01
	8	10,4	9,66	8,01
	9	10,4	10,32	9,03
	10	10,2	10,7	9,94
	11	10,1	10,92	10,48
	12	10,07	11,04	10,94
	13	10,05	11,07	11,12
	14	10,55	11,03	11,09
	15	10,5	11,09	10,98
	16	10,4	10,93	10,83
	17	10,26	10,88	10,69
	18	10,18	10,82	10,59
	19	10,1	10,78	10,54
	20	10,04	10,65	10,49
	21	10,0	10,56	10,45
	22	9,93	10,49	10,43
	23	9,92	10,48	10,4
	24	9,9	10,48	10,37
2	25	9,9	10,48	10,31
	26	9,9	10,4	10,3
3	27	9,01	9,61	10,27
	28	8,04	8,8	10,25
4	29	7,38	8,98	10,22
	30		8,12	9,63
5	31			8,91
	32			8,75
6				8,34

Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG-1a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 1 l)



Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG-1b)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Zusammensetzung des Ausgangswassers (Trinkwasser Gelsenkirchen)

Parameter		Einheit	Messwert
pH-Wert			7,9
Kalium	K	mg/l	3,4
Natrium	Na	mg/l	31
Calcium	Ca	mg/l	44
Magnesium	Mg	mg/l	7,5
Ammonium	NH ₄ ⁺	mg/l	<0,01
Aluminium	Al	mg/l	<0,01
Eisen	Fe	mg/l	0,01
Mangan	Mn	mg/l	<0,005
Säurekapazität bis pH 4,3		mmol/l	1,80
Sulfat	SO ₄ ²⁻	mg/l	47
Chlorid	Cl	mg/l	39
Nitrat	NO ₃ ⁻	mg/l	17
Phosphat	PO ₄ ³⁻	mg/l	0,28
Karbonathärte		°dH	5,0
Gesamthärte		°dH	7,8

Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG-2)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Säurekapazität bis pH = 8,2 der Einzelfractionen (je 1 l) in mmol/l

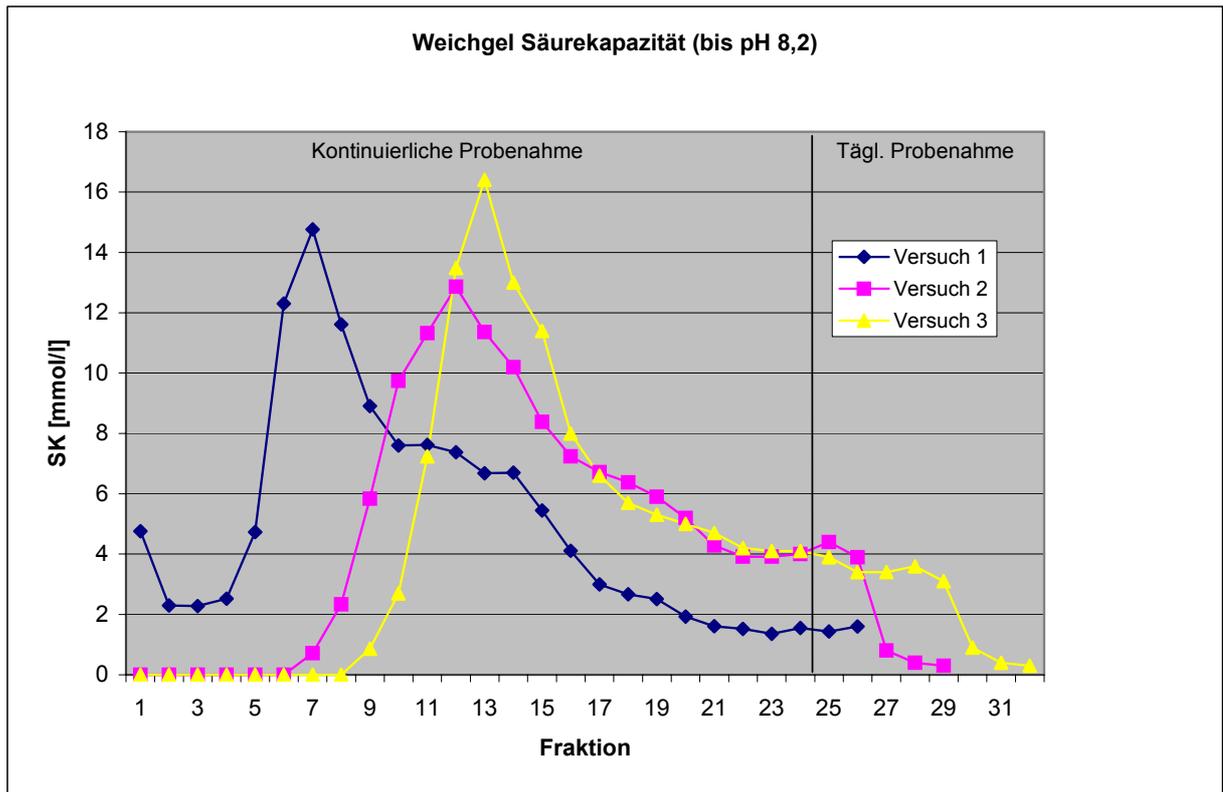
Tag	Fraktion	Versuch 1 [mmol/l]	Versuch 2 [mmol/l]	Versuch 3 [mmol/l]
1	1	4,8	0	0
	2	2,3	0	0
	3	2,3	0	0
	4	2,5	0	0
	5	4,7	0	0
	6	12,3	0	0
	7	14,8	0,7	0
	8	11,6	2,3	0
	9	8,91	5,8	0,9
	10	7,6	9,7	2,7
	11	7,6	11,32	7,2
	12	7,4	12,9	13,5
	13	6,7	11,4	16,4
	14	6,7	10,2	13,0
	15	5,4	8,4	11,4
	16	4,1	7,2	8,0
	17	3,0	6,7	6,6
	18	2,7	6,4	5,7
	19	2,5	5,9	5,3
	20	1,9	5,2	5,0
	21	1,6	4,3	4,7
	22	1,5	3,9	4,2
	23	1,4	3,9	4,1
	24	1,6	4,0	4,1
2	25	1,4	4,4	3,9
	26	1,6	3,9	3,4
3	27		0,8	3,4
	28		0,4	3,6
4	29		0,3	3,1
	30			0,9
5	31			0,4
	32			0,3

Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG-2a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Säurekapazität bis pH = 8,2 der Einzelfractionen (je 1 l) in mmol/l



Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG-3)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Natriumkonzentrationen (als Na⁺) der Einzelfractionen (je 1 l) in mg/l

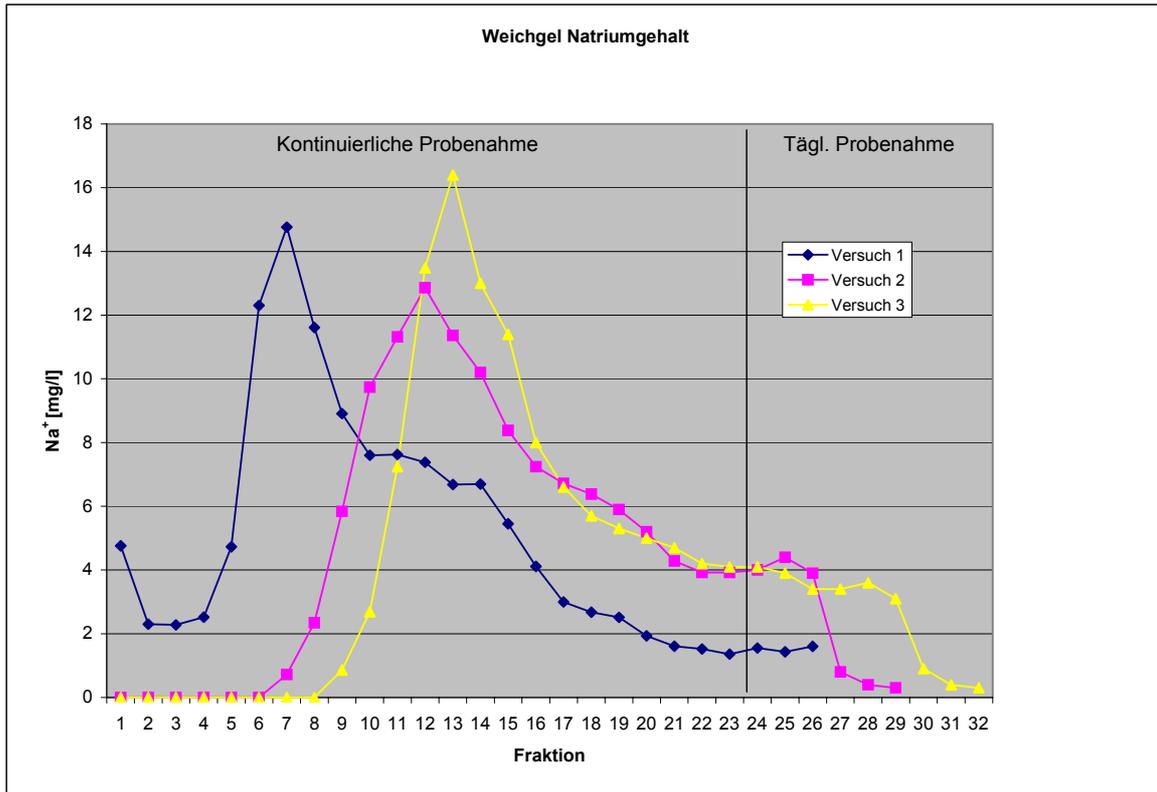
Tag	Fraktion	Versuch 1 [mg/l]	Versuch 2 [mg/l]	Versuch 3 [mg/l]
1	1	213	30	32
	2	108	30	32
	3	103	30	32
	4	108	30	32
	5	170	32	32
	6	370	50	32
	7	422	102	32
	8	351	185	36
	9	284	267	53
	10	257	347	102
	11	248	378	214
	12	249	402	344
	13	233	360	413
	14	216	310	350
	15	188	271	295
	16	159	242	240
	17	131	232	197
	18	115	243	178
	19	102	232	159
	20	94	201	145
	21	88	175	136
	22	85	168	129
	23	84	174	125
	24	83	174	119
2	25	81	175	113
	26	81	155	105

Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG-3a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Natriumkonzentrationen (als Na⁺) der Einzelfractionen (je 1 l) in mg/l



Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG-4)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Kieselsäurekonzentrationen (als SiO₂) der Einzelfractionen (je 1 l) in mg/l

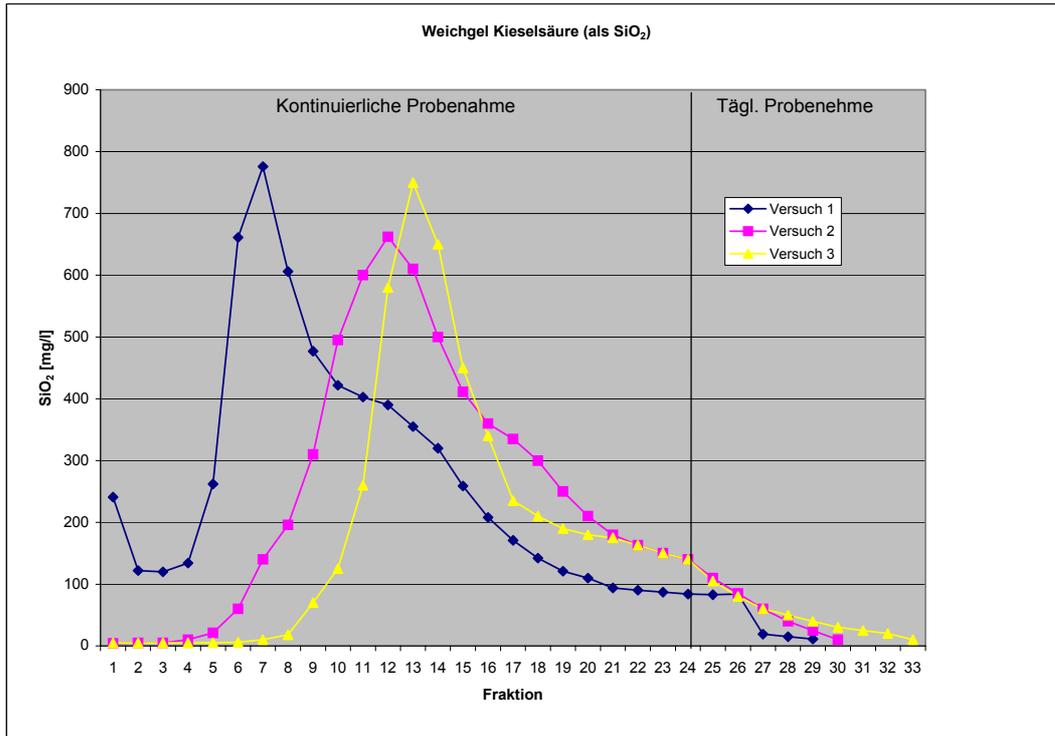
Tag	Fraktion	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
1	1	241	4	5
	2	122	5	5
	3	120	5	5
	4	134	10	5
	5	262	21	5
	6	661	60	6
	7	776	140	10
	8	606	196	18
	9	477	310	70
	10	422	495	125
	11	403	600	260
	12	390	662	580
	13	355	610	750
	14	320	500	650
	15	259	411	450
	16	208	360	340
	17	171	335	235
	18	142	300	210
	19	121	250	190
	20	110	210	180
	21	94	180	175
	22	90	163	163
	23	87	150	150
	24	84	140	140
2	25	83	110	105
	26	84	85	80
3	27	19	60	60
	28	15	40	50
4		11	25	40
			10	30
5				25
				20
6				10

Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG-4a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Kieselsäurekonzentrationen (als SiO₂) der Einzelfractionen (je 1 l) in mg/l



Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG-5)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Elutionsverhalten von Natrium, Aluminium und Kieselsäure
sowie Verlauf des pH-Wertes u. d. Elektrischen Leitfähigkeit

Tag	Fraktion	pH	Na ⁺ [mmol/l]	SiO ₂ [mmol/l]	SK 8,2 [mmol/l]	Al ³⁺ [mmol/l]
1	1	9,7	7,4	4,0	4,8	0,36
	2	9,5	2,8	2,0	2,3	0,17
	3	9,5	2,6	1,9	2,3	0,10
	4	9,5	2,8	2,2	2,5	0,08
	5	9,7	5,5	4,3	4,7	0,30
	6	10,3	14,2	10,9	12,3	0,67
	7	10,5	16,4	12,8	14,8	0,74
	8	10,4	13,4	10,0	11,6	0,64
	9	10,4	10,4	7,9	8,9	0,57
	10	10,2	9,3	6,9	7,6	0,58
	11	10,1	8,8	6,6	7,6	0,60
	12	10,1	8,5	6,4	7,4	0,62
	13	10,1	8,2	5,8	6,7	0,61
	14	10,6	7,5	5,2	6,7	0,61
	15	10,5	6,3	4,2	5,5	0,53
	16	10,4	5,0	3,4	4,1	0,43
	17	10,3	3,8	2,8	3,0	0,30
	18	10,2	3,1	2,3	2,7	0,21
	19	10,1	2,5	1,9	2,5	0,15
	20	10,0	2,2	1,8	1,9	0,12
	21	10,0	1,9	1,5	1,6	0,09
	22	9,9	1,8	1,4	1,5	0,07
	23	9,9	1,7	1,4	1,4	0,07
	24	9,9	1,7	1,3	1,6	0,07
2	25	9,9	1,6	1,3	1,4	0,07
	26	9,9	1,6	1,3	1,6	0,07
3	27	9,	0,3	0,2	0,4	0,07
	28	8,0	0,4	0,2	0	0,07
4	29	7,4	0,1	0,1	0	0,07

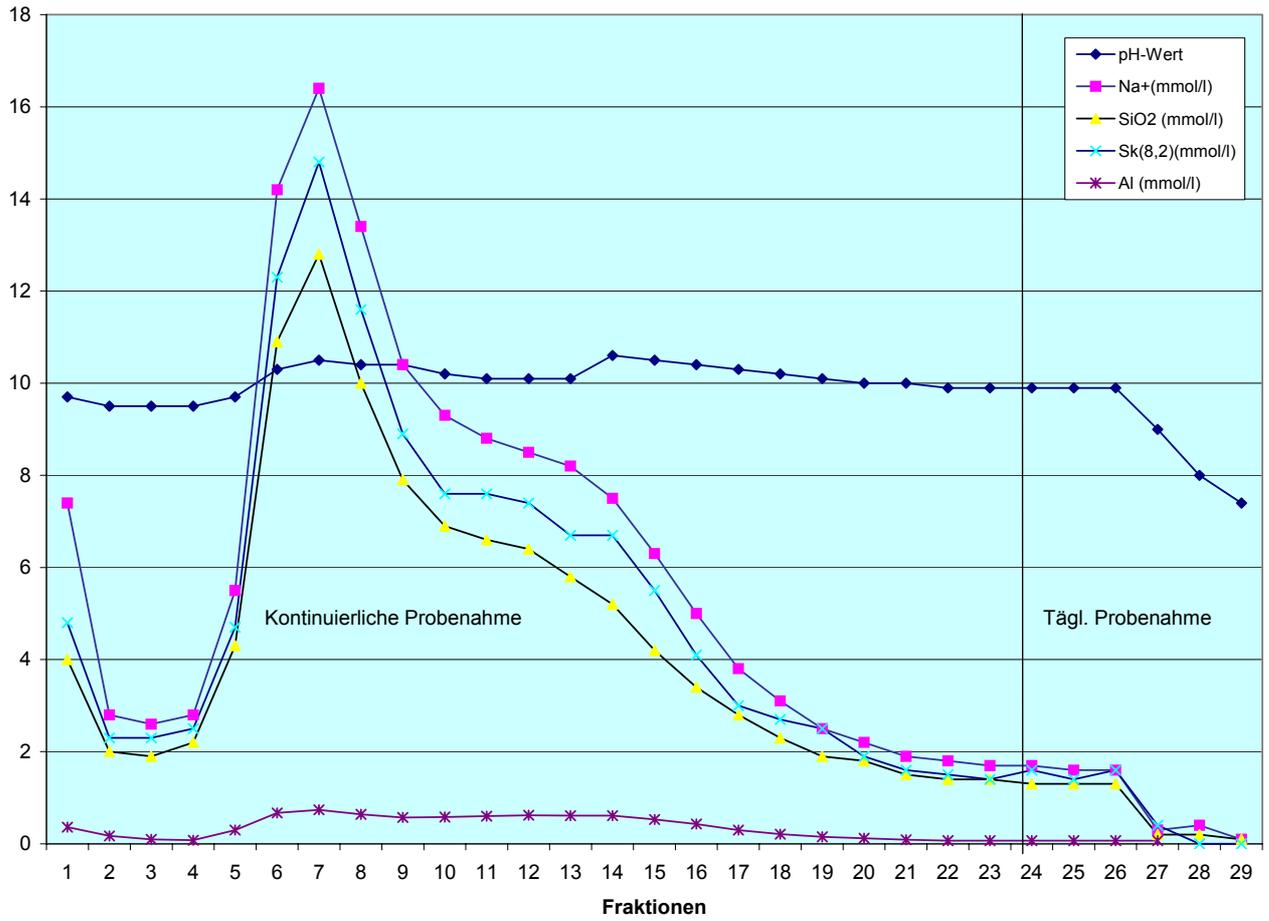
Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG-5a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Elutionsverhalten von Natrium, Aluminium und Kieselsäure sowie Verlauf des pH-Wertes u. d. Elektrischen Leitfähigkeit

Weichgel Versuch 1
Elutionsverhalten von Natrium, Aluminium und Kieselsäure
sowie Verlauf des pH-Wertes

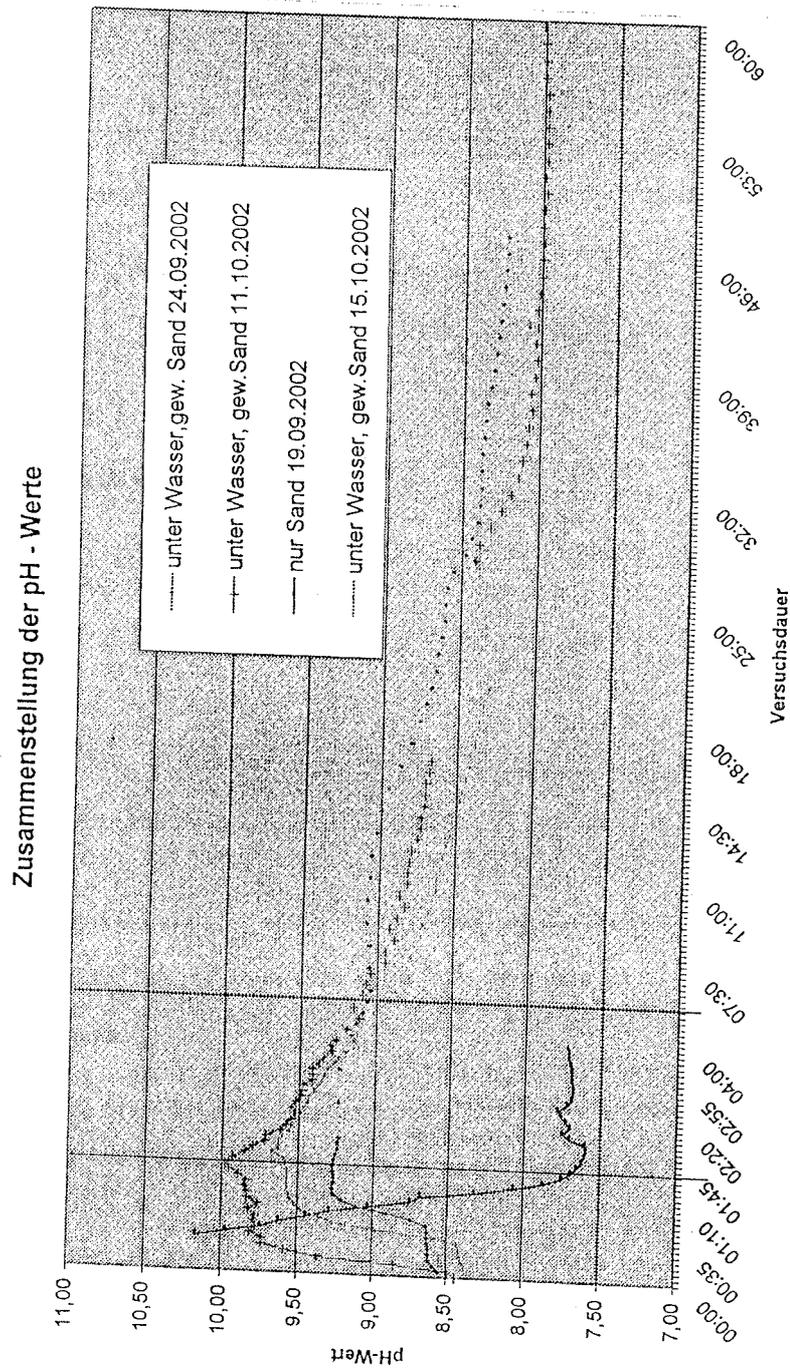


Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG 6a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

pH-Werte des Ausgangswassers (Trinkwasser Schrobenhausen)



Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG 6b)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Zusammensetzung des Ausgangswassers (Trinkwasser Schrobenhausen)

Parameter		Einheit	Messwert
pH-Wert			7,7
Kalium	K	mg/l	1,0
Natrium	Na	mg/l	21
Calcium	Ca	mg/l	58
Magnesium	Mg	mg/l	21
Ammonium	NH ₄ ⁺	mg/l	<0,1
Aluminium	Al	mg/l	<,1
Eisen	Fe	mg/l	0,01
Mangan	Mn	mg/l	<0,005
Säurekapazität bis pH 4,3		mmol/l	4,21
Sulfat	SO ₄ ²⁻	mg/l	53
Chlorid	Cl	mg/l	10
Nitrat	NO ₃ ⁻	mg/l	3
Phosphat	PO ₄ ³⁻	mg/l	0,21
Karbonathärte		°dH	11,8
Gesamthärte		°dH	13,0

Säulenversuch mit Weichgel

Anlage (WG 7)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Injektionskörper, Position in der teilweise ausgeleerten Säule

Wasserglaskomponenten von HG I und HG II

Anlage (WAGL 1)

Algen-Wachstumshemmtests in Wasserglaslösung (3g / Liter)

Wasserglas (3g/l)	Verdün- -nung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser (2cm)				% Hemmung (nach 72 Std.)	GA
				nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
HG I	BW	7,0	10,3	0,070	0,150	0,820	1,340	0,0	
	1	7,1	8,9	0,070	0,215	0,380	0,610	54,5	
	2	6,9	10,0	0,065	0,220	0,590	0,920	31,3	3,06
	5	7,2	10,5	0,060	0,240	0,790	1,350	-0,7	
HG II	BW	7,0	10,3	0,070	0,150	0,820	1,340	0,0	
	1	6,9	9,0	0,065	0,260	0,400	0,660	50,7	
	2	7,0	9,9	0,060	0,280	0,670	0,840	37,3	3,45
	5	7,2	10,4	0,060	0,280	0,800	1,320	1,5	

Wasserglaskomponenten von HG I und HG II

Anlage (WAGL 2)

Daphnien-Toxizitätstests in Wasserglaslösung (3g / Liter)

Wasserglas (3g/l)	Verdü- nung	pH Anfang	pH Ende	mg O2/l Anfang	mg O2/l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmunfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	%	GD
HG I	BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
	BW	7,1	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
	1	6,9	7,4	8,0	8,0	5	5	100	
	2	7,1	7,3	8,1	8,1	5	2	40	4,25
	5	7,1	7,5	8,4	8,4	5	0	0	
HG II	BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
	BW	7,1	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
	1	7,2	7,7	8,3	8,3	5	5	100	
	2	7,1	7,4	8,4	8,4	5	1	20	3,50
	5	7,1	7,2	8,6	8,6	5	0	0	

Wasserglaskomponenten von HG I und HG II

Anlage (WAGL 3)

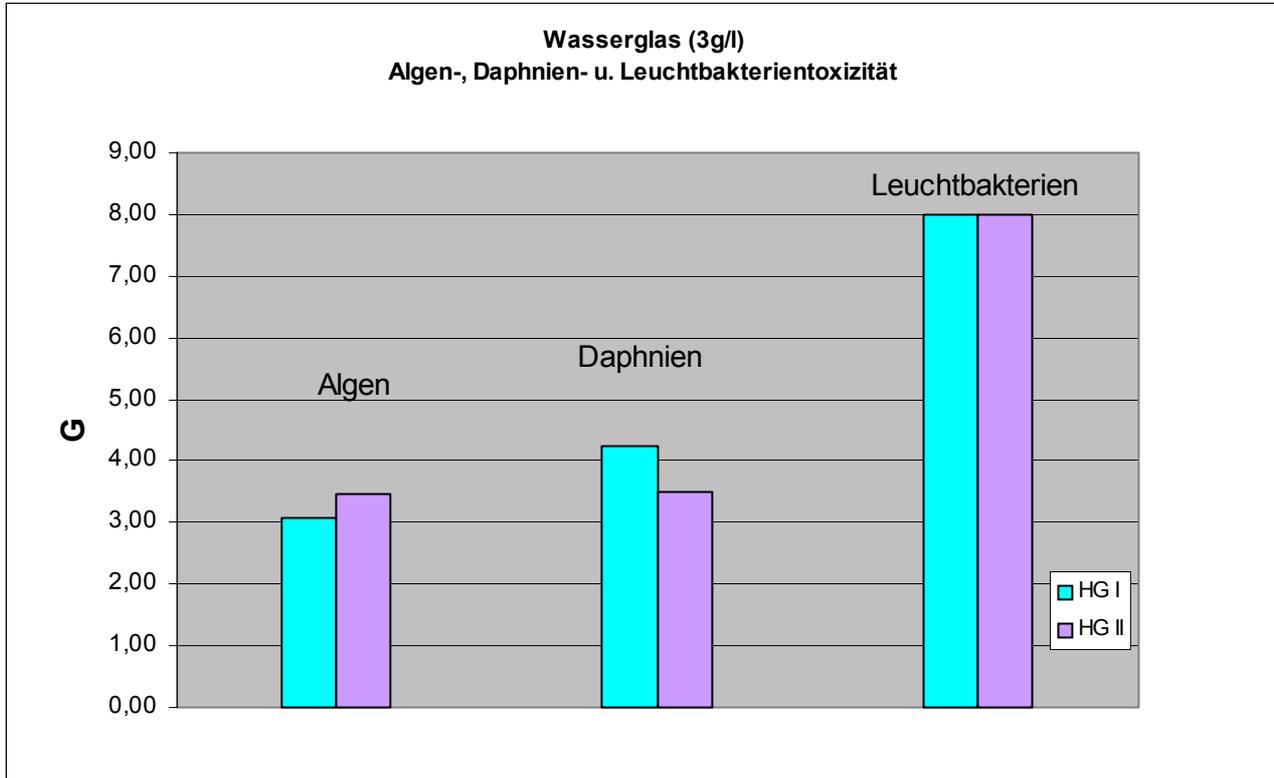
Leuchtbakterien-Toxizitätstests in Wasserglaslösung (3g / Liter)

wasserglas (3g/l)	GL-Wert
HG I	8
HG II	8

Wasserglaskomponenten von HG I und HG II

Anlage (WAGL 4)

Algen-, Daphnien- und Leuchtbakterien-Toxizitätstests in Wasserglaslösung (3g / Liter)



Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-I-1)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)

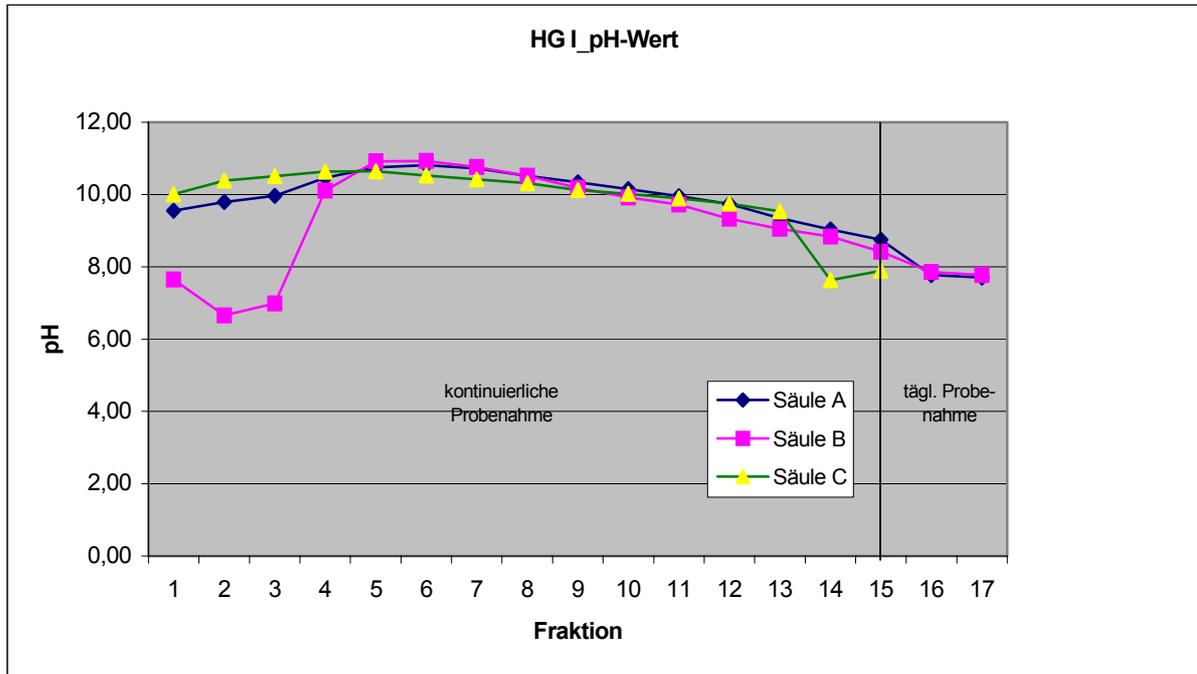
Temperatur [°C]	Stunden	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
21,9		1	9,55	7,65	10,01
		2	9,79	6,66	10,38
		3	9,96	6,99	10,51
	1	4	10,46	10,11	10,63
		5	10,75	10,92	10,64
		6	10,81	10,93	10,53
		7	10,72	10,76	10,42
	2	8	10,52	10,52	10,31
		9	10,34	10,19	10,12
		10	10,15	9,92	10,02
		11	9,95	9,72	9,89
	3	12	9,74	9,33	9,75
		13	9,35	9,05	9,53
		14	9,03	8,84	7,63
		15	8,75	8,42	7,89
	2. Tag	16	7,77	7,85	
		17	7,70	7,77	

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-I-1a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-I-2)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfractionen (je 2 l)

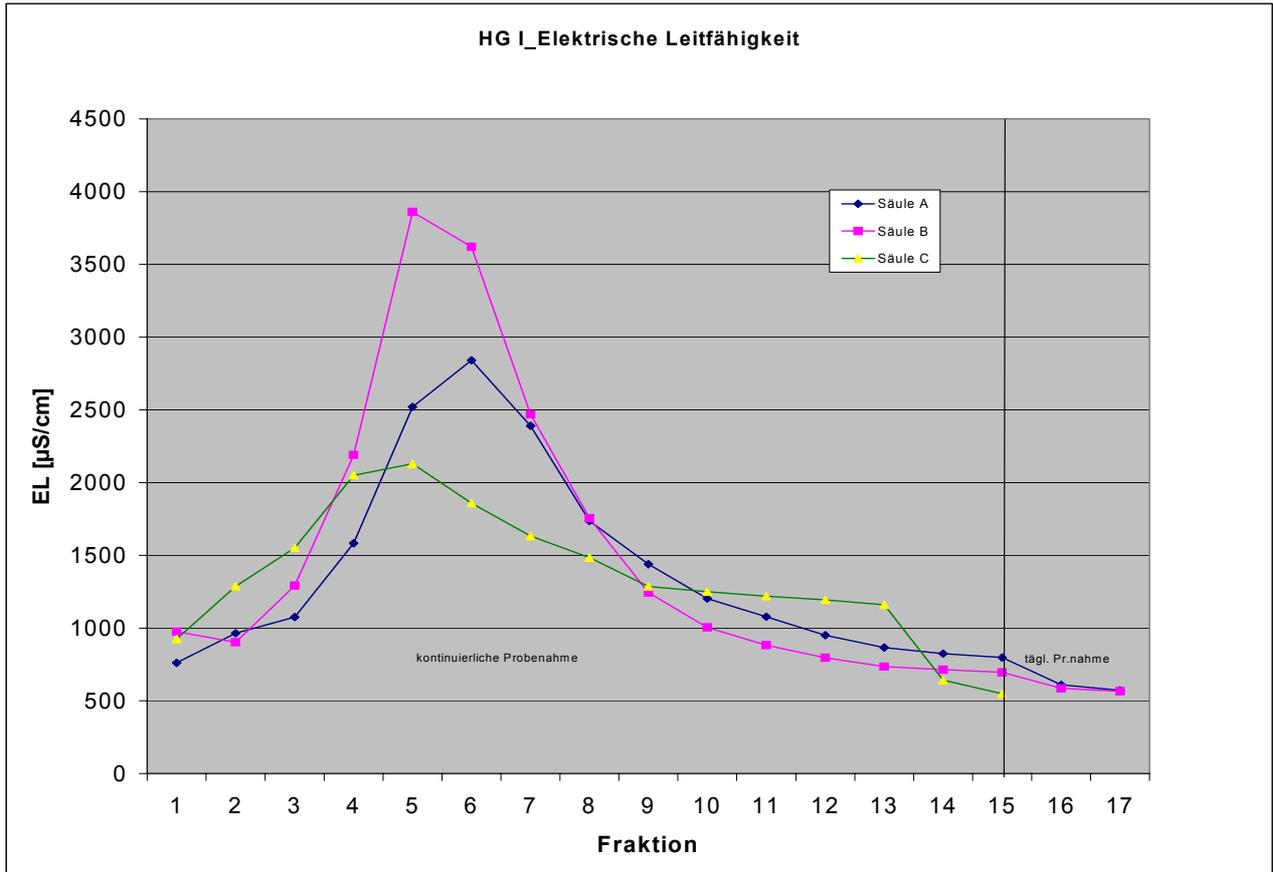
Temperatur [°C]	Stunden	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
21,9		1	761	975	925
		2	965	903	1288
		3	1076	1292	1552
	1	4	1584	2190	2050
		5	2520	3860	2130
		6	2840	3620	1859
		7	2390	2470	1633
	2	8	1737	1755	1485
		9	1440	1244	1286
		10	1203	1005	1250
		11	1078	883	1220
	3	12	951	796	1194
		13	867	735	1160
		14	825	714	642
		15	798	696	549
	2. Tag	16	611	586	
		17	572	566	

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-I-2a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-I-3)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Säurekapazität bis pH = 8,2 der Einfeldfraktionen (je 2 l) in mmol/l

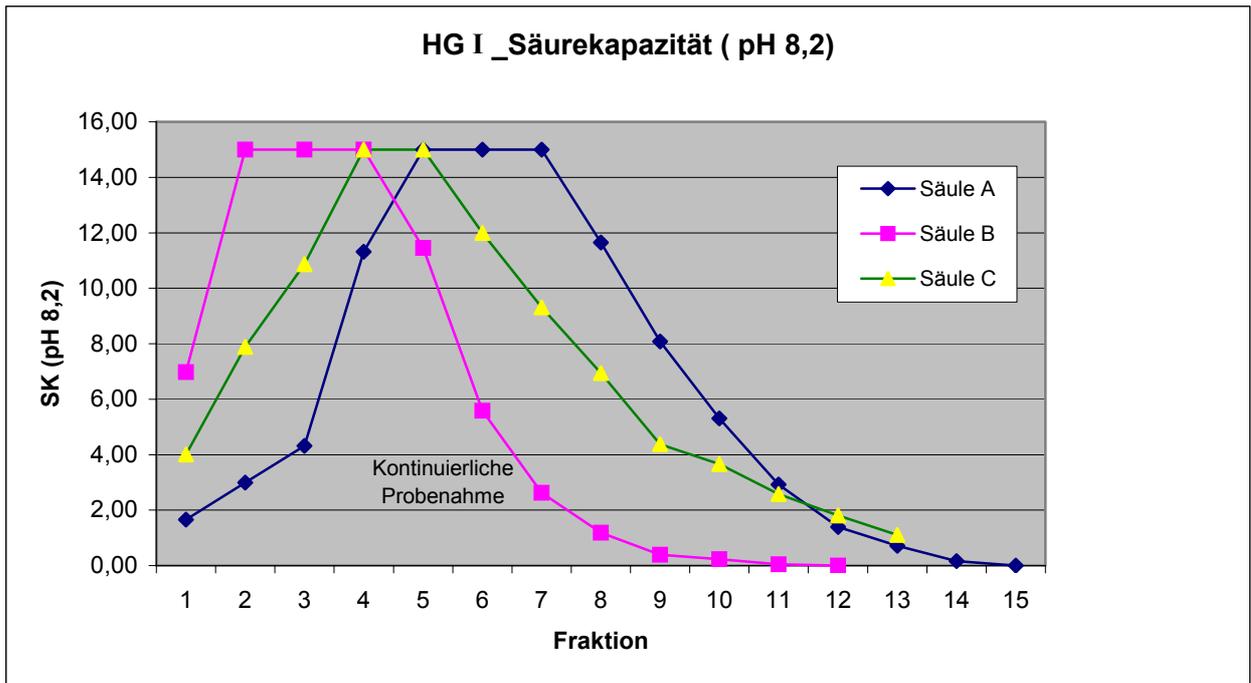
Temperatur [°C]	Stunden	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
21,9		1	1,66		4,01
		2	2,99		7,88
		3	4,32		10,87
	1	4	11,31	6,98	15,00
		5	15,00	15,00	15,00
		6	15,00	15,00	11,99
		7	15,00	15,00	9,31
	2	8	11,65	11,45	6,94
		9	8,08	5,58	4,37
		10	5,31	2,63	3,66
		11	2,92	1,18	2,58
	3	12	1,39	0,39	1,81
		13	0,71	0,23	1,10
		14	0,16	0,05	
		15	0,00	0,00	
	2. Tag	16			

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-I-3a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Säurekapazität bis pH = 8,2 der Einzelfraktionen (je 2 l) in mmol/l



Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-I-4)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

TOC-Konzentrationen [mg/l] der Einzelfractionen (je 2 l)

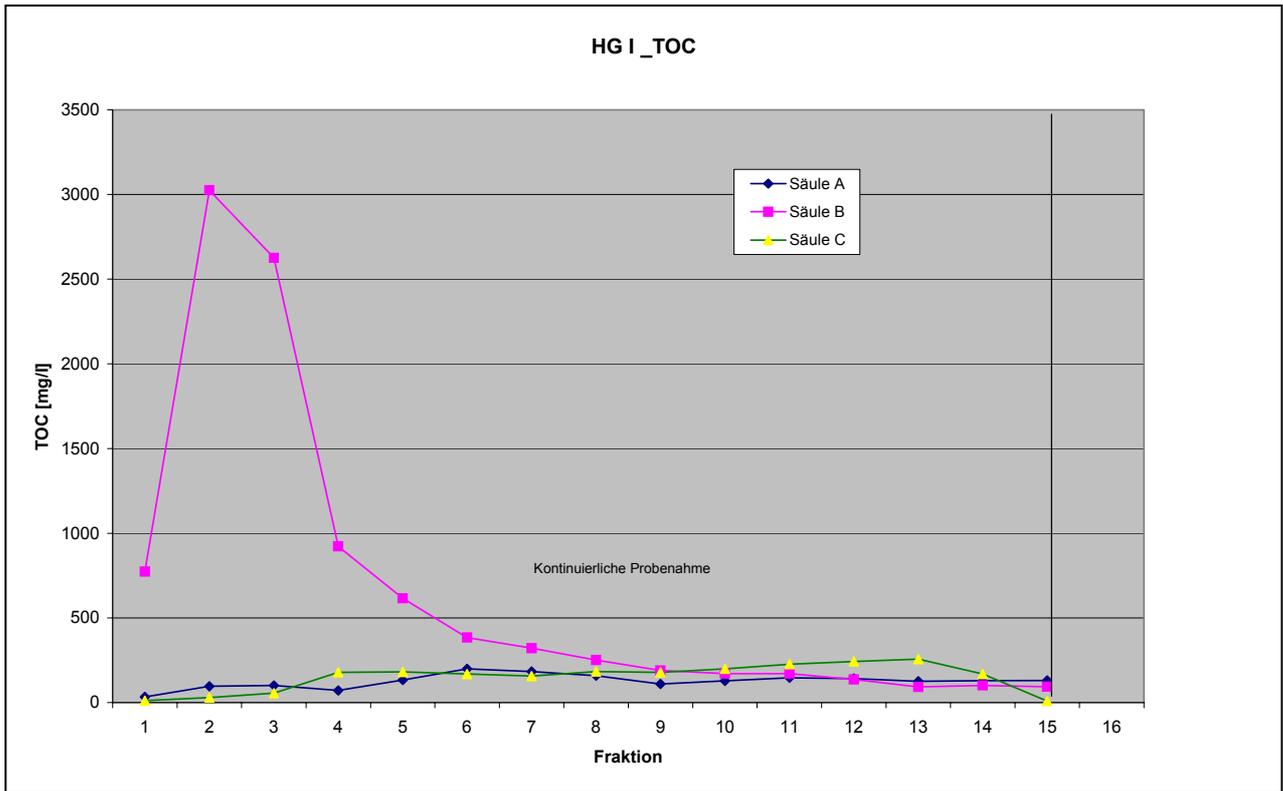
Temperatur [°C]	Stunden	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
21,9		1	33,4	773	11,2
		2	96,6	3025	17,9
		3	101,0	2626	26,9
	1	4	71,8	922	123,0
		5	133,0	615	181,0
		6	199,0	384	169,0
		7	184,0	321	156,0
	2	8	159,0	251	183,0
		9	109,0	189	178,0
		10	128,0	171	200,0
		11	147,0	171	226,0
	3	12	141,0	137	242,0
		13	126,0	92,4	256,0
		14	129,0	101	169,0
		15	131,0	93,9	8,8
	2. Tag	16	100,0	69,6	0,5
		17	81,8	84,6	0,5
	3. Tag	18	79,4	68,2	0,5
		19	71,9	63,4	0,5
	4. Tag	20	33,7	51	0,5
		21	25,3	19,7	11,1
	5. Tag	22	11,8	18,1	0,5
		23	6,3	11,1	0,5
	6. Tag	24	6,1	22,5	
		25	16,4	0,5	

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-I-4a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

TOC-Konzentrationen [mg/l der Einzelfraktionen (je 2 l)]



Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-I-4b)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

TOC-Gesamtabgabe [mg] während der ersten 3 ¼ Stunden

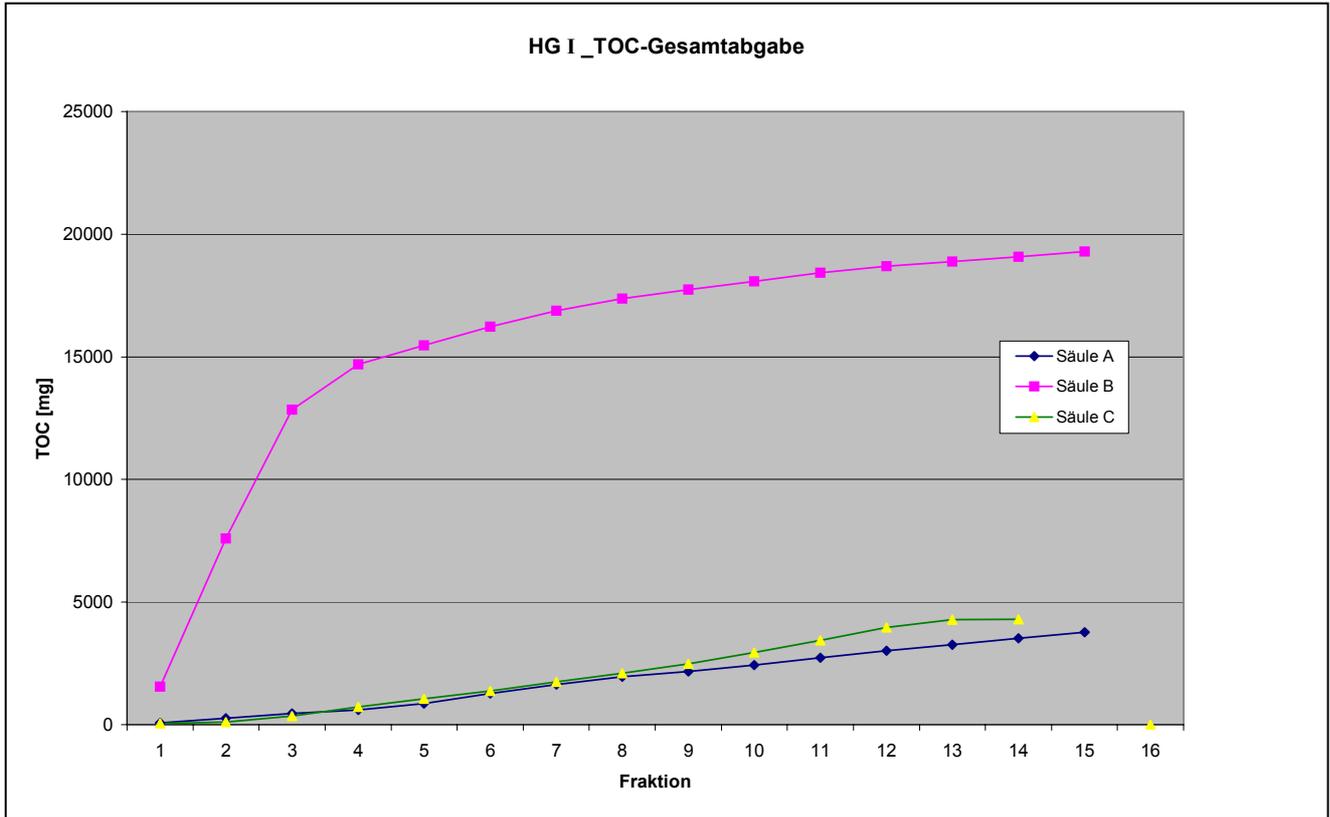
Temperatur [°C]	Stunden	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
21,9		1	66,8	1546,0	22,4
		2	260,0	7596,0	58,2
		3	462,0	12848,0	112,0
	1	4	605,6	14692,0	358,0
		5	871,6	15922,0	720,0
		6	1269,6	16690,0	1058,0
		7	1637,6	17332,0	1370,0
	2	8	1955,6	17834,0	1736,0
		9	2173,6	18212,0	2092,0
		10	2429,6	18554,0	2492,0
		11	2723,6	18896,0	2944,0
	3	12	3005,6	19170,0	3428,0
		13	3257,6	19354,8	3940,0
		14	3515,6	19556,8	4278,0
		15	3777,6	19744,6	4295,6

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-I-4c)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

TOC-Gesamtabgabe [mg] während der ersten 3 3/4 Stunden



Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-I-5)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Natrium- und Kieselsäure-Konzentrationen (als Na⁺ und SiO₂) der Einzelfractionen (je 2 l) in mg/l

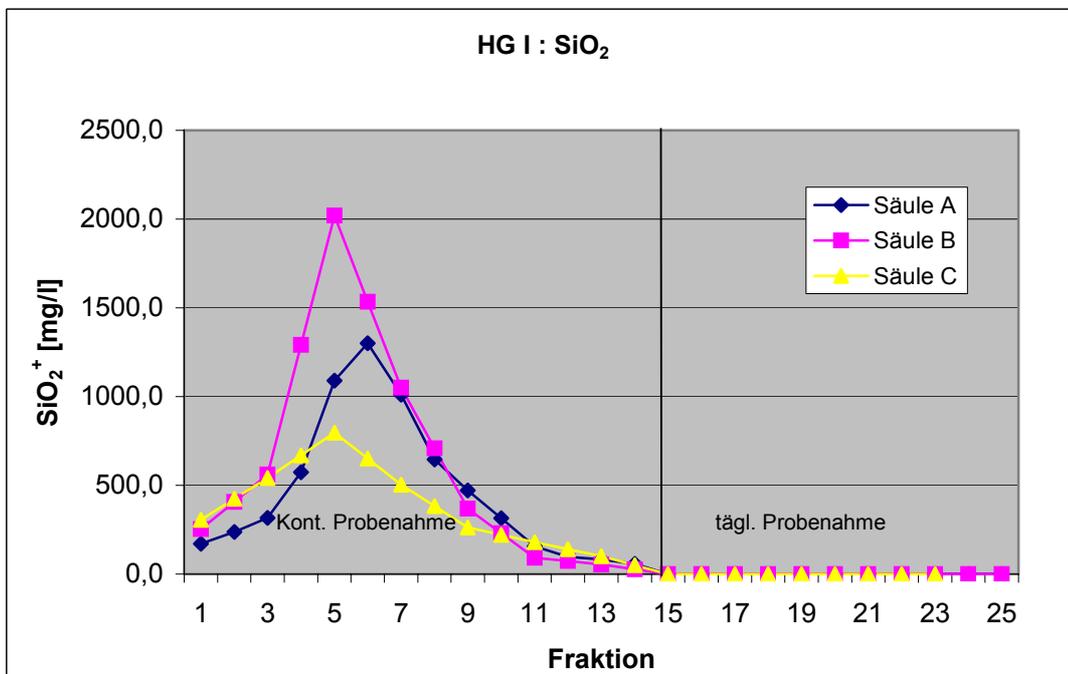
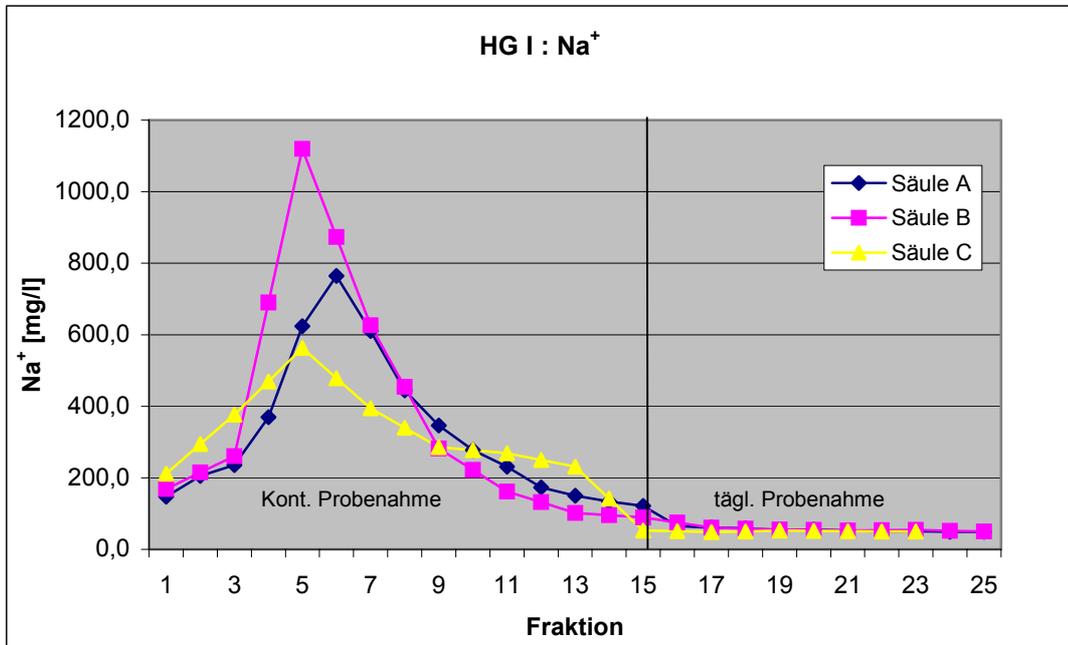
Temp. [°C]	Stunden	Fraktion	Na ⁺ [mg/l]			SiO ₂ [mg/l]		
			Säule A	Säule B	Säule C	Säule A	Säule B	Säule C
21,9		1	147,0	169,0	212,0	170,0	253,0	306,0
		2	205,0	215,0	294,5	238,0	407,0	424,0
		3	236,0	261,0	377,0	317,0	561,0	542,0
	1	4	370,0	690,5	470,0	573,0	1290,5	669,5
		5	624,0	1120,0	563,0	1090,0	2020,0	797,0
		6	764,0	873,5	479,0	1300,0	1535,0	650,5
		7	611,0	627,0	395,0	1010,0	1050,0	504,0
	2	8	445,0	454,5	340,5	646,0	709,5	383,0
		9	346,0	282,0	286,0	471,0	369,0	262,0
		10	278,0	222,0	277,5	315,0	230,5	221,0
		11	231,0	162,0	269,0	156,0	91,9	180,0
	3	12	173,0	132,0	250,0	96,5	73,1	140,0
		13	150,0	102,0	231,0	83,2	54,3	100,0
		14	134,0	95,5	142,0	56,7	27,4	50,2
		15	121,0	88,9	53,0	0,4	0,4	0,4
	2. Tag	16	64,9	74,8	50,5	0,4	0,4	0,4
		17	60,7	60,7	48,0	0,4	0,4	0,4
	3. Tag	18	59,3	58,3	50,2	0,4	0,4	0,4
		19	53,7	55,8	52,3	0,4	0,4	0,4
	4. Tag	20	55,5	54,3	51,7	0,4	0,4	0,4
		21	53,0	52,8	51,1	0,4	0,4	0,4
	5. Tag	22	49,7	53,6	50,4	0,4	0,4	0,4
		23	50,8	54,3	49,7	0,4	0,4	0,4
	6. Tag	24	49,3	52,2		0,4	0,4	
		25	49,1	50,0		0,4	0,4	

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-I-5a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Natrium- und Kieselsäure-Konzentrationen (als Na⁺ und SiO₂) der Einzelfractionen (je 2 l) in mg/l



Anlage (HG-I-7)

Injektionskörper



Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-1)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)

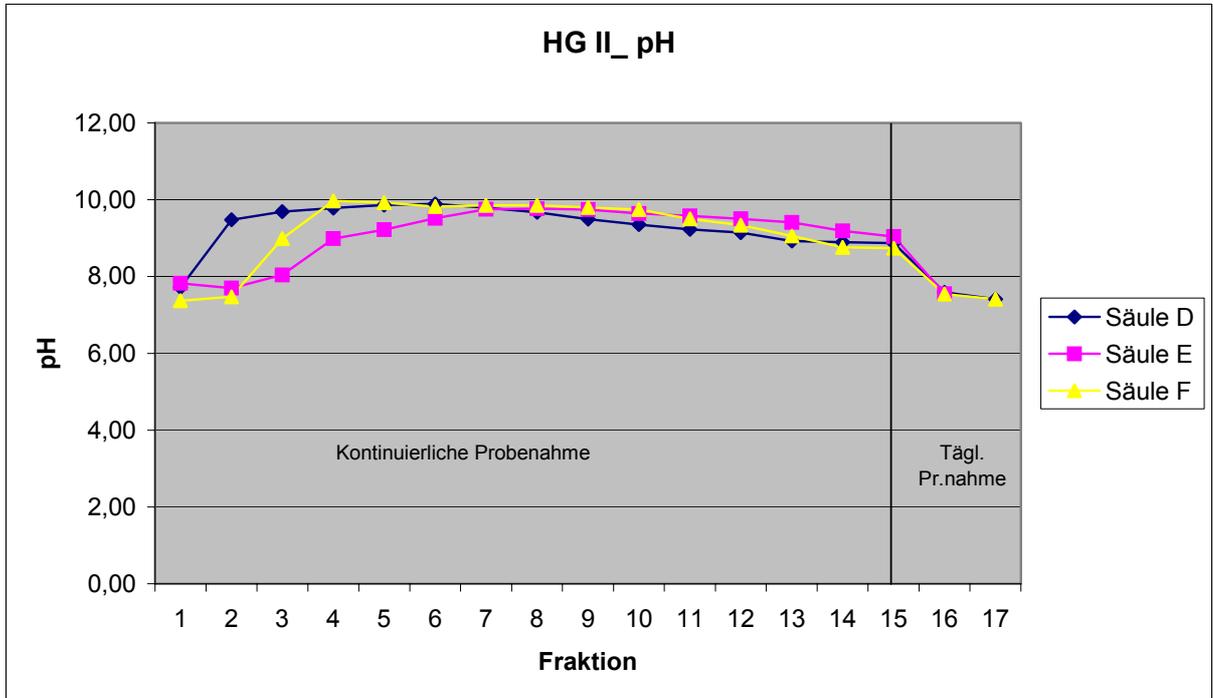
Temperatur [°C]	Stunden	Fraktion	Säule D	Säule E	Säule F
21,9		1	7,71	7,82	7,37
		2	9,48	7,70	7,47
		3	9,69	8,04	8,99
	1	4	9,78	8,99	9,97
		5	9,86	9,22	9,92
		6	9,89	9,52	9,82
		7	9,79	9,75	9,85
	2	8	9,67	9,77	9,85
		9	9,49	9,74	9,80
		10	9,35	9,64	9,74
		11	9,23	9,58	9,50
	3	12	9,14	9,50	9,34
		13	8,92	9,41	9,06
		14	8,89	9,19	8,76
		15	8,87	9,04	8,74
	2. Tag	16	7,59	7,55	7,54
		17	7,41	7,30	7,41

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-1a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-2)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfractionen (je 2 l)

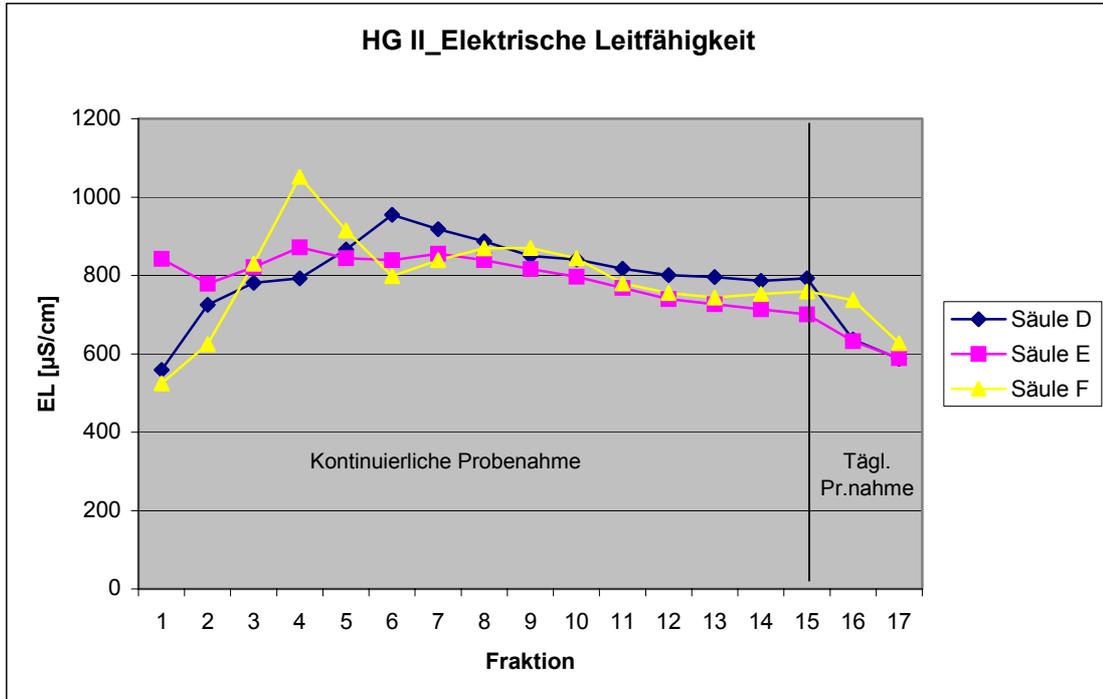
Temperatur [°C]	Stunden	Fraktion	Säule D	Säule E	Säule F
21,9		1	559	842	525
		2	725	779	625
		3	781	821	830
	1	4	793	872	1052
		5	866	844	915
		6	955	839	798
		7	918	855	839
	2	8	887	839	869
		9	850	816	870
		10	841	797	844
		11	817	768	780
	3	12	801	740	755
		13	796	727	744
		14	786	714	753
		15	793	701	759
	2. Tag	16	636	632	737
		17	587	589	627

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-2a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einfeldfraktionen (je 2 l)



**Säulenversuch mit Hartgel
(HG-II-3)**

Anlage

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Säurekapazität bis pH = 8,2 der Einzelfraktionen (je 2 l) in mmol/l

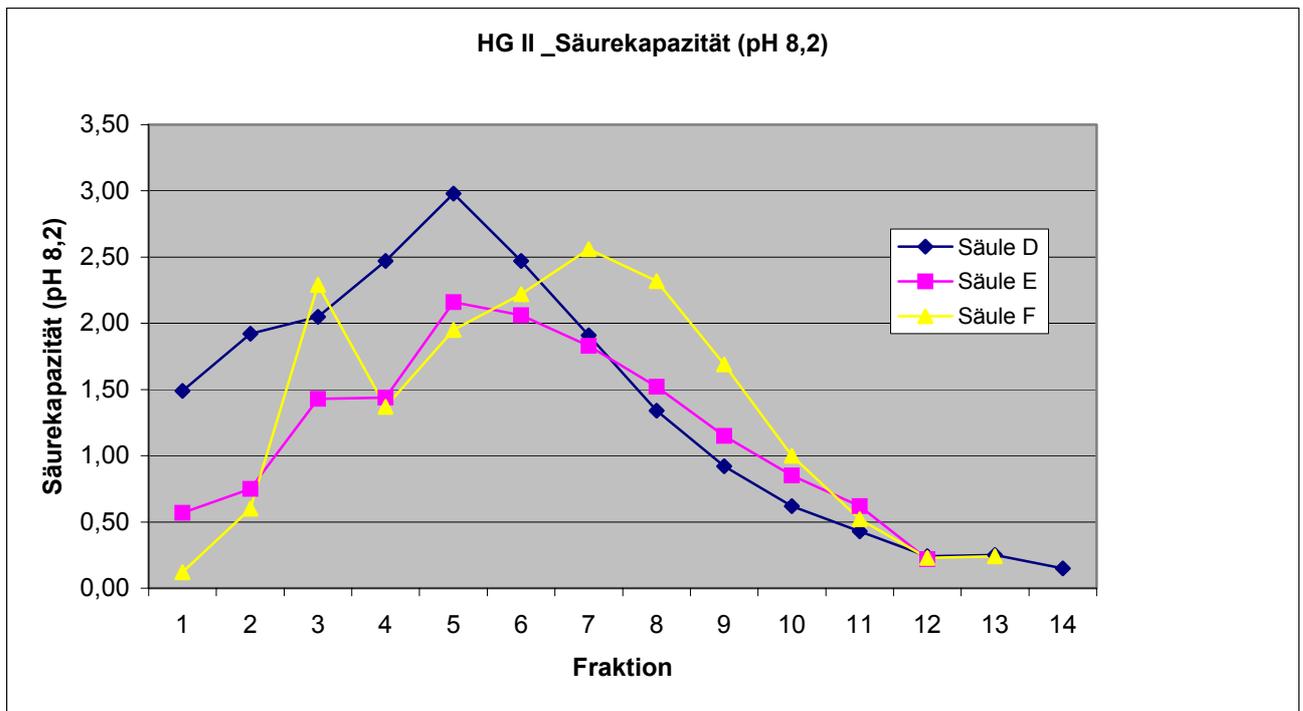
Temperatur [°C]	Stunden	Fraktion	Säule D	Säule E	Säule F
21,9		1	0,00	0,00	0,00
		2	1,49	0,00	0,00
		3	1,92	0,00	0,12
	1	4	2,05	0,57	0,60
		5	2,47	0,75	2,29
		6	2,98	1,43	1,37
		7	2,47	1,44	1,95
	2	8	1,91	2,16	2,22
		9	1,34	2,06	2,56
		10	0,92	1,83	2,32
		11	0,62	1,52	1,69
	3	12	0,43	1,15	1,00
		13	0,24	0,85	0,52
		14	0,25	0,62	0,23
		15	0,15	0,22	0,24

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-3a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Säurekapazität bis pH = 8,2 der Einzelfractionen (je 2 l) in mmol/l



Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-4)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

TOC-Konzentrationen [mg/l] der Einzelfractionen (je 2 l)

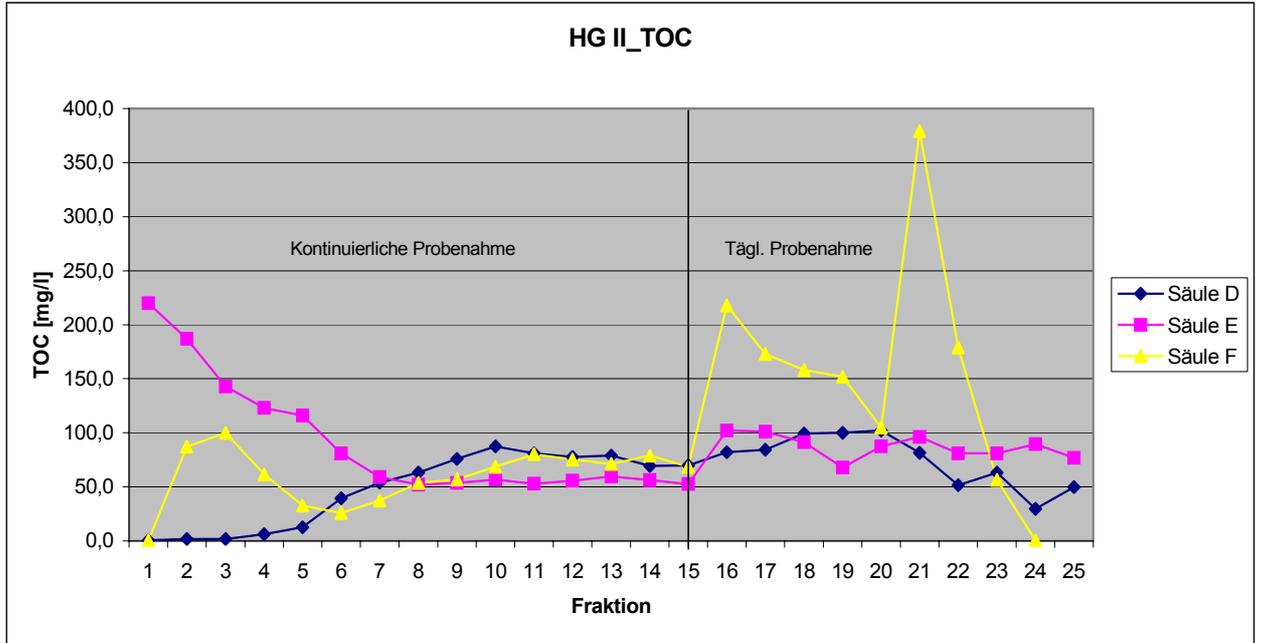
Temperatur [°C]	Stunden	Fraktion	Säule D	Säule E	Säule F
21,9		1	0,5	220,0	0,5
		2	1,9	187,0	87,1
		3	1,9	143,0	100,0
	1	4	6,3	123,0	61,7
		5	12,6	116,0	32,8
		6	39,5	81,0	25,8
		7	53,9	59,0	37,5
	2	8	63,2	52,0	53,7
		9	75,9	53,7	57,0
		10	87,5	56,8	68,7
		11	80,9	52,9	80,1
	3	12	77,5	55,6	75,2
		13	78,9	59,7	71,3
		14	69,5	56,2	79,0
		15	70,0	52,5	68,5
	2. Tag	16	82,1	102,0	218,0
		17	84,4	101,0	173,0
	3. Tag	18	99,3	91,2	158,0
		19	100,0	67,9	152,0
	4. Tag	20	102,0	87,5	105,0
		21	81,6	96,1	379,0
	5. Tag	22	51,7	80,9	179,0
		23	63,3	81,0	56,6
	6. Tag	24	29,6	89,4	0,5
		25	49,9	76,8	0,5

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-4a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

TOC-Konzentrationen [mg/l] der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-4b)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

TOC-Gesamtabgabe [mg] während der ersten 7½ Stunden

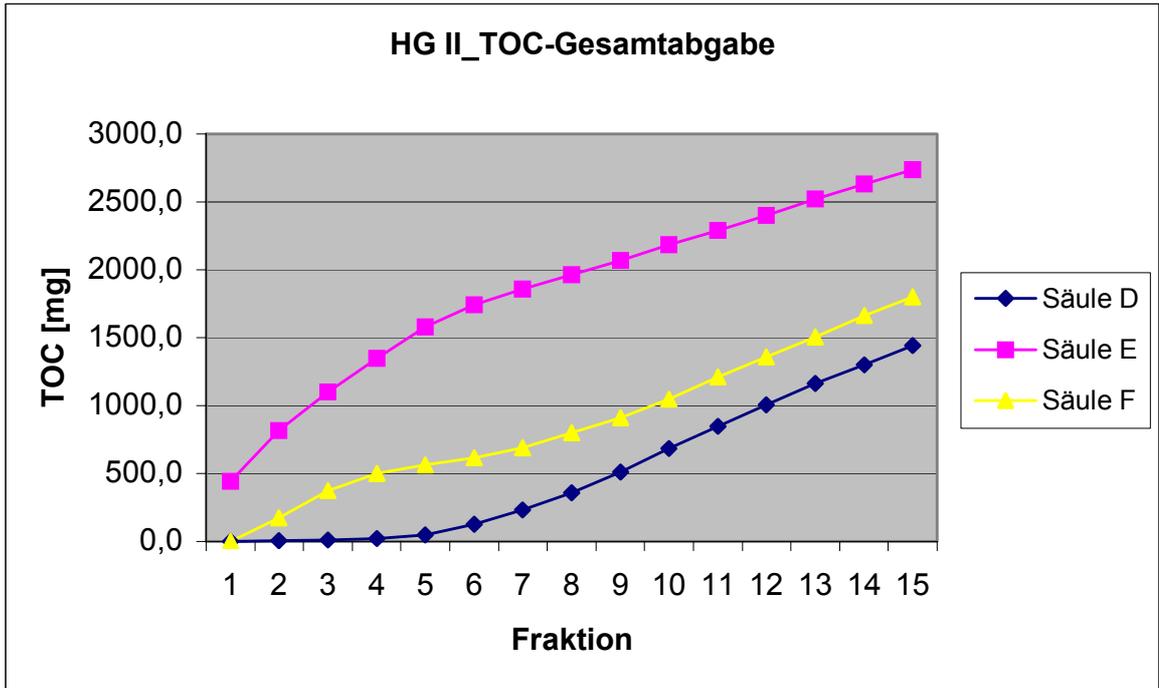
Fraktion	Säule D	Säule E	Säule F
1,0	1,0	440,0	1,0
2,0	4,8	814,0	175,2
3,0	8,6	1100,0	375,2
4,0	21,2	1346,0	498,6
5,0	46,4	1578,0	564,2
6,0	125,4	1740,0	615,8
7,0	233,2	1858,0	690,8
8,0	359,6	1962,0	798,2
9,0	511,4	2069,4	912,2
10,0	686,4	2183,0	1049,6
11,0	848,2	2288,8	1209,8
12,0	1003,2	2400,0	1360,2
13,0	1161,0	2519,4	1502,8
14,0	1300,0	2631,8	1660,8
15,0	1440,0	2736,8	1797,8

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-4c)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

TOC-Gesamtabgabe [mg] während der ersten 7½ Stunden



Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-5)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Natrium- und Kieselsäure-Konzentrationen (als Na⁺ und SiO₂) der Einzelfractionen (je 2 l) in mg/l

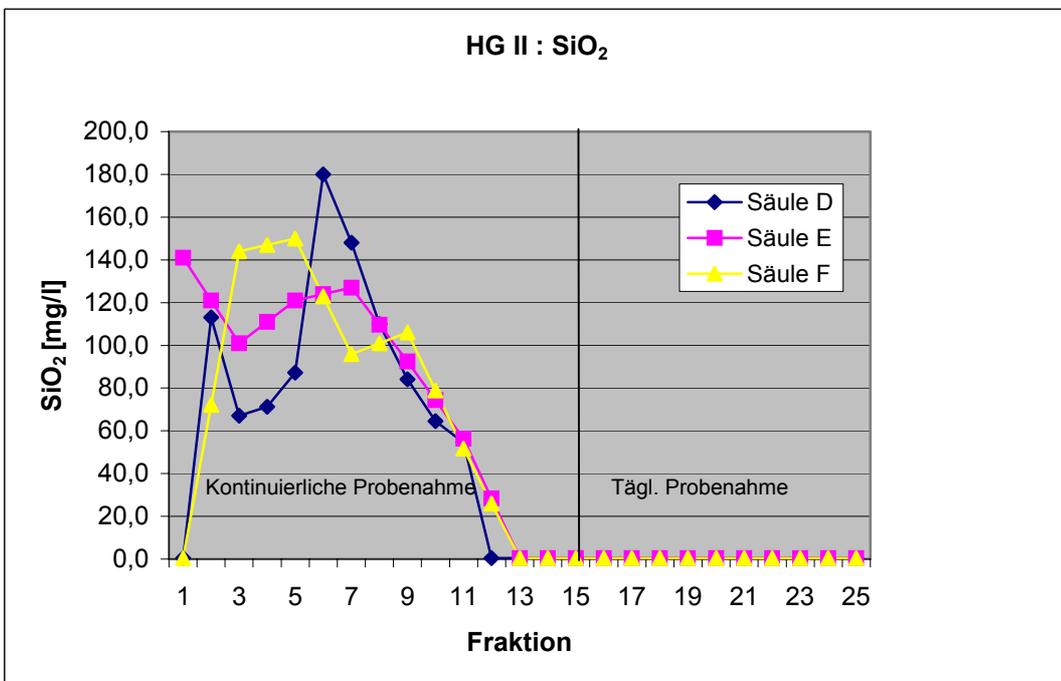
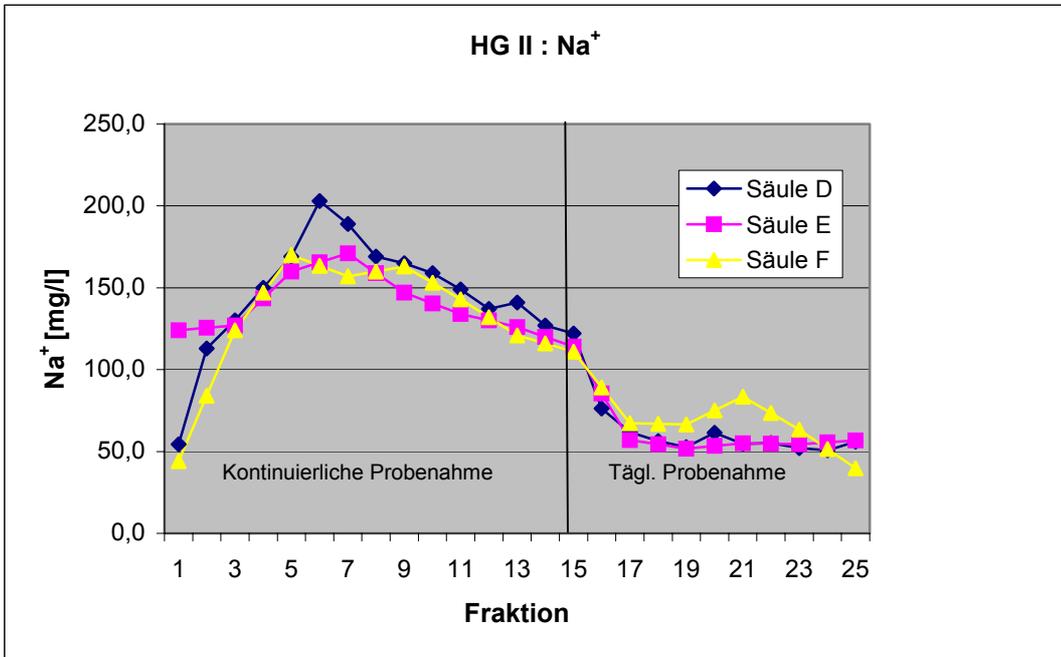
Temperatur [°C]	Stunden	Fraktion	Na ⁺ [mg/l]			SiO ₂ [mg/l]		
			Säule D	Säule E	Säule F	Säule D	Säule E	Säule F
21,9		1	54,5	124,0	44,1	0,4	141,0	0,4
		2	113,0	125,5	84,1	113,0	121,0	72,2
		3	130,0	127,0	124,0	67,1	101,0	144,0
	1	4	150,0	143,5	147,0	71,2	111,0	147,0
		5	169,0	160,0	170,0	87,2	121,0	150,0
		6	203,0	165,5	163,5	180,0	124,0	123,0
		7	189,0	171,0	157,0	148,0	127,0	95,9
	2	8	169,0	159,0	160,0	110,0	109,7	101,0
		9	165,0	147,0	163,0	84,1	92,4	106,0
		10	159,0	140,5	153,0	64,5	74,4	78,9
		11	149,0	134,0	143,0	54,5	56,3	51,7
	3	12	137,0	130,0	132,0	0,4	28,4	26,1
		13	141,0	126,0	121,0	0,4	0,4	0,4
		14	127,0	120,0	116,0	0,4	0,4	0,4
		15	122,0	114,0	111,0	0,4	0,4	0,4
	2. Tag	16	76,2	85,5	89,1	0,4	0,4	0,4
		17	61,8	57,0	67,2	0,4	0,4	0,4
	3. Tag	18	56,3	54,4	66,9	0,4	0,4	0,4
		19	52,7	51,7	66,5	0,4	0,4	0,4
	4. Tag	20	61,4	53,4	75,0	0,4	0,4	0,4
		21	54,6	55,0	83,5	0,4	0,4	0,4
	5. Tag	22	55,1	54,8	73,5	0,4	0,4	0,4
		23	52,1	54,5	63,4	0,4	0,4	0,4
	6. Tag	24	50,7	55,6	51,6	0,4	0,4	0,4
		25	56,0	56,7	39,7	0,4	0,4	0,4

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-5a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Natrium- und Kieselsäure-Konzentrationen (als Na⁺ und SiO₂) der Einzelfractionen (je 2 l) in mg/l



Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-6a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Algen-Wachstumshemmtests der Einzelfractionen (je 2 l) mit TOC_{max u. ende}

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser				% Hem- mung	GA
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
D	2	BW	7,1	1,2	0,035	0,070	0,720	1,120	0,0	
		1	7,0	8,7	0,030	0,055	0,420	0,680	39,3	1,94
		2	7,2	9,3	0,035	0,060	0,580	0,910	18,8	
		5	7,1	10,2	0,035	0,065	0,700	1,100	1,8	
		10	7,0	10,6	0,030	0,075	0,720	1,140	-1,8	
D	3	BW	7,1	10,2	0,035	0,070	0,720	1,120	0,0	
		1	7,1	8,6	0,035	0,045	0,250	0,550	50,9	
		2	7,2	9,2	0,035	0,060	0,520	0,780	30,4	3,09
		5	7,0	10,2	0,035	0,065	0,710	1,100	1,8	
		10	7,1	10,7	0,035	0,065	0,740	1,180	-5,4	
D	4	BW	7,1	10,2	0,035	0,070	0,720	1,120	0,0	
		1	7,2	8,8	0,035	0,045	0,320	0,660	41,1	
		2	7,0	9,1	0,035	0,050	0,400	0,780	30,4	
		5	7,0	9,8	0,035	0,065	0,630	0,890	20,5	5,14
		10	7,1	10,2	0,035	0,070	0,700	1,100	1,8	
		50	7,0	11,0	0,030	0,085	0,770	1,200	-7,1	
D	25	BW	7,1	10,2	0,035	0,070	0,720	1,120	0,0	
		1	7,0	10,2	0,030	0,065	0,710	1,100	1,8	
		2	6,9	10,4	0,030	0,080	0,790	1,210	-8,0	
		5								
		10								

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-6b)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Daphnien-Toxizitätstests d. Einzelfractionen (je 2 l) mit TOC_{max u. ende}

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O2/l Anfang	mg O2/l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmunfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	% Hemmung	GD
D		2BW	7,2	7,4	8,4	8,4	5	0		
		BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0		
		1	7,0	7,7	8,0	8,0	5	5		
		2	7,1	7,7	8,1	8,1	5	5		
		5	7,1	7,4	8,4	8,4	5	2	60	9,17
		10	7,2	7,4	8,4	8,4	5	0		
D		3BW	7,2	7,4	8,4	8,4	5	0		
		BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0		
		1	7,1	7,7	7,9	7,9	5	5		
		2	7,2	7,7	8,1	8,1	5	5		
		5	7,0	7,4	8,4	8,4	5	1	80	9,38
		10	7,0	7,2	8,5	8,5	5	0		
D		4BW	7,2	7,4	8,4	8,4	5	0		
		BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0		
		1	7,1	7,9	7,8	7,8	5	5		
		2	6,9	7,7	7,9	7,9	5	5		
		5	7,1	7,5	8,2	8,2	5	3	40	8,75
		10	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0		
		50	7,0	7,3	8,7	8,7	5	0		
D		25BW	7,2	7,4	8,4	8,4	5	0		
		BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0		
		1								
		2								
		5								
		10								

Säulenversuch mit Hartgel**Anlage (HG-II-6c)**

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Leuchtbakterien-Toxizitätstests d. Einzelfractionen (je 2 l) mit TOC_{max u. ende}

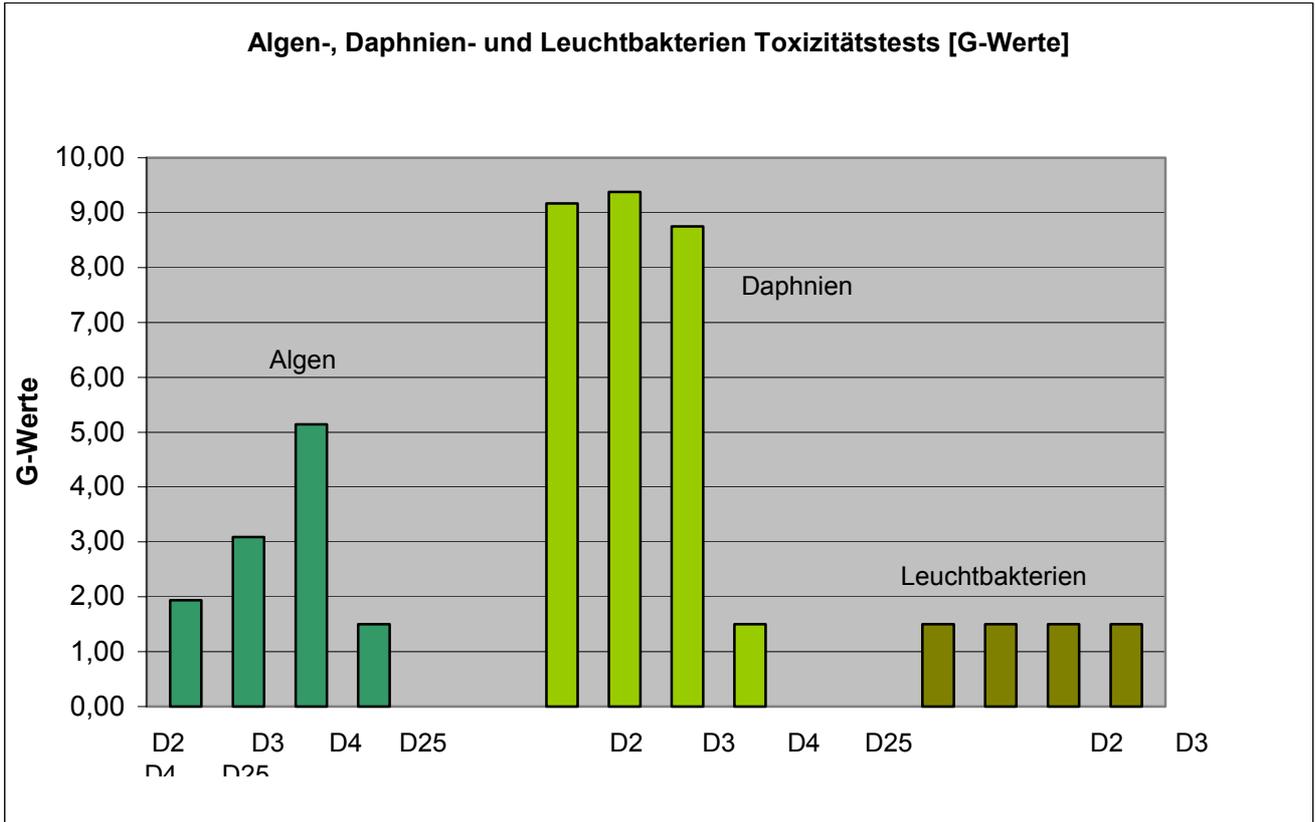
Säule	Fraktion	GL-Wert
D	2	<2
	3	<2
	4	<2
	25	<2

Säulenversuch mit Hartgel

Anlage (HG-II-6c)

(Säulenfüllung: Quarzsand Frechen F 36)

Algen-, Daphnien- und Leuchtbakterien-Toxizitätstests d. Einzelfractionen (je 2 l) mit TOC_{max u. ende}



Anlage (HG-II-7)

Injektionskörper



Säulenversuch mit PAC I

(PAC I – 1)

Gießversuch - Säulen A, B, C

Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)

Temperatur [°C]	Tag	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C	Säule D	Säule E
			Gießversuch			Injektionsversuch	
13,3	1	1	7,80	7,77	7,64	7,80	7,81
		2	7,75	7,74	7,83	7,96	7,43
		3	7,86	8,06	7,78	7,88	7,43
		4	7,95	8,21	7,95	7,61	7,55
		5	8,08	8,28	8,10	7,30	7,66
		6	8,19	8,31	8,23	7,48	7,68
		7	8,27	8,34	8,29	7,62	7,77
		8	8,34	8,34	8,34	7,69	7,75
		9	8,35	8,34	8,34	7,66	7,72
		10	8,36	8,33	8,34	7,70	7,75
		11	8,35	8,29	8,35	7,66	7,72
		12	8,33	8,26	8,32	7,64	7,56
		13	8,33	8,22	8,30	7,61	7,58
		14	8,31	8,18	8,28	7,60	7,54
		15	8,29	7,91	7,28	7,57	7,67
	2	16	7,23	7,28	7,24	7,54	7,65
		17	7,25	7,31	7,40	7,57	7,64
	3	18	7,31	7,39	7,39	7,59	7,61
		19	7,34	7,40	7,54	7,41	7,41
	4	20	7,61	7,58	7,57	7,53	7,53
		21	7,62	7,57	7,59	7,63	7,60
	5	22	7,67	7,59	7,65	7,70	7,63
		23	7,64	7,61	7,66	7,76	7,69
	6	24	7,67	7,60	7,49		
		25	7,64	7,57	-		

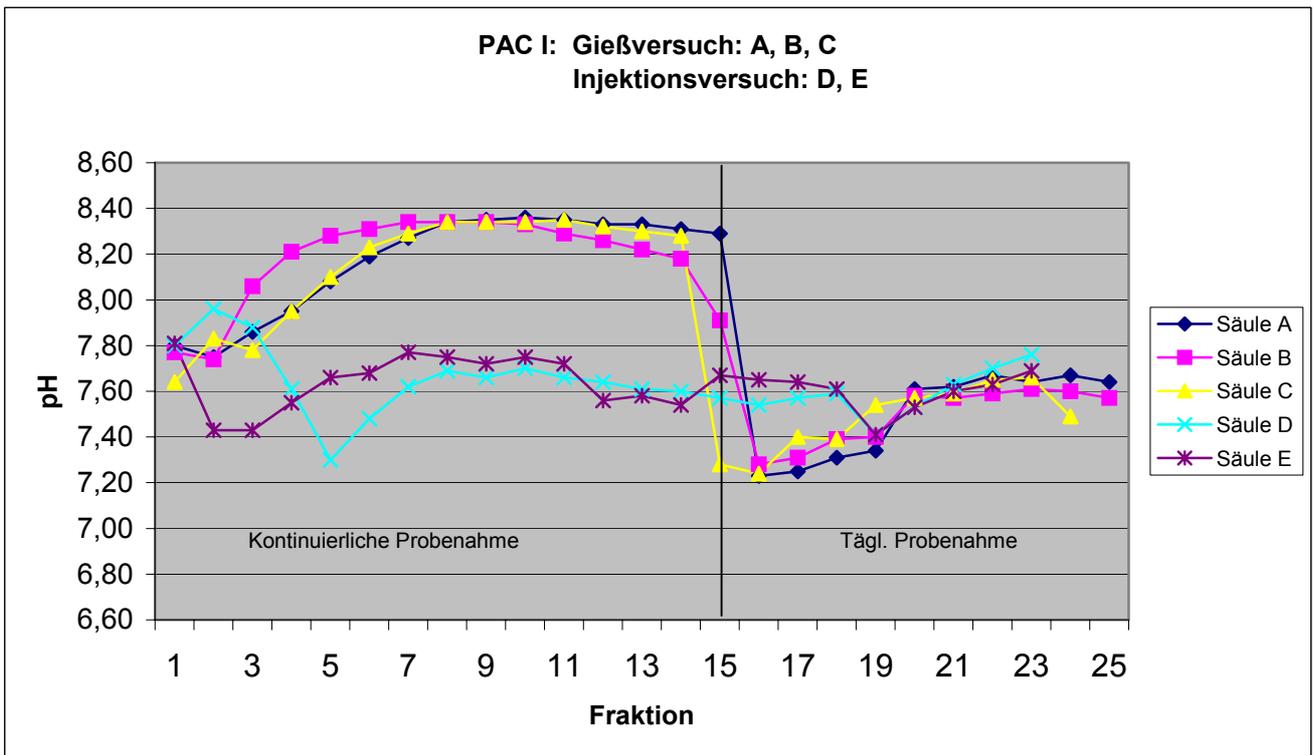
Säulenversuch mit PAC I

(PAC I – 1a)

Gießversuch - Säulen A, B, C
Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

pH-Werte der Einzelfraktionen (je 2 l)



Säulenversuch mit PAC I

(PAC I – 2)

Gießversuch - Säulen A, B, C

Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Elektrische Leitfähigkeits-Werte [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfractionen (je 2 l)

Temperatur [°C]	Tag	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C	Säule D	Säule E
			Gießversuch			Injektionsversuch	
13,3	1	1	464	469	477	507	505
		2	528	520	463	504	639
		3	798	1306	718	507	927
		4	775	1486	1246	605	1145
		5	1107	1400	1444	1231	1285
		6	1286	1263	1459	1543	1226
		7	1330	1100	1271	1224	982
		8	1185	980	1075	987	804
		9	1017	880	934	856	668
		10	884	800	838	736	585
		11	772	730	772	666	562
		12	696	676	710	618	543
		13	665	627	664	584	533
		14	623	594	628	565	529
		15	594	570	485	549	528
	2	16	477	482	483	540	526
		17	485	482	488	534	525
	3	18	488	487	479	529	522
		19	479	479	492	512	512
	4	20	490	492	485	519	520
		21	488	491	497	519	518
	5	22	501	505	493	526	524
		23	493	494	506	527	527
	6	24	517	510	502		
		25	508	512	-		

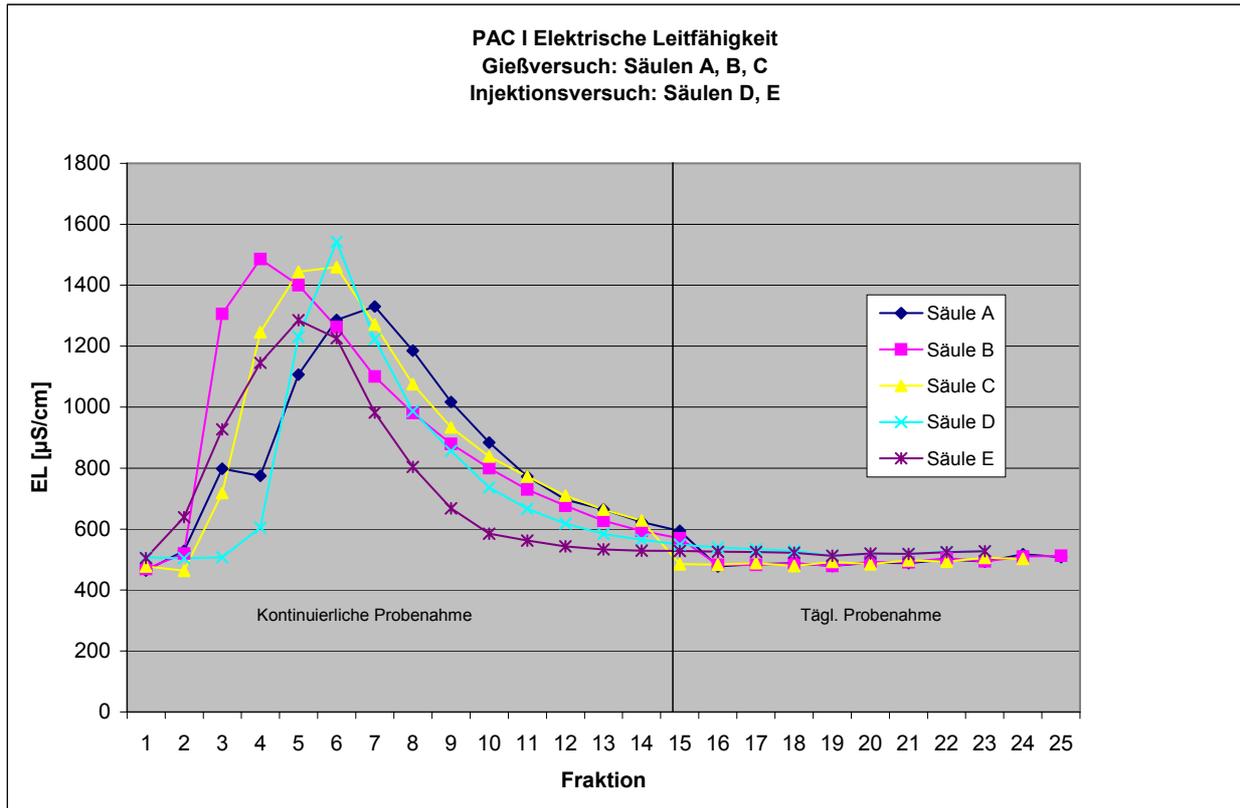
Säulenversuch mit PAC I

(PAC I – 2a)

Gießversuch - Säulen A, B, C
Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Elektrische Leitfähigkeits-Werte [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit PAC I

(PAC I – 3)

Gießversuch - Säulen A, B, C

Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

TOC-Werte [mg/l] der Einzelfractionen (je 2 l)

Temperatur	Tag	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C	Säule D	Säule E
			Gießversuch			Injektionsversuch	
13,3	1	1	1,3	1,4	3,9	1,1	1,0
		2	31,3	27,7	0,7	0,7	55,1
		3	180,0	507,0	140,0	1,6	358,0
		4	188,0	689,0	483,0	54,1	475,0
		5	405,0	619,0	625,0	455,0	646,0
		6	546,0	516,0	647,0	710,0	712,0
		7	633,0	422,0	504,0	457,0	353,0
		8	518,0	339,0	388,0	300,0	277,0
		9	410,0	265,0	300,0	257,0	177,0
		10	279,0	220,0	254,0	187,0	62,1
		11	202,0	165,0	214,0	116,0	40,5
		12	170,0	147,0	176,0	86,0	29,8
		13	136,0	112,0	141,0	64,9	20,1
		14	94,4	80,9	117,0	47,0	16,5
		15	84,9	70,2	2,2	39,6	14,8
	2	16	3,6	1,8	2,2	35,7	13,6
		17	3,2	1,5	1,3	30,8	11,5
	3	18	1,8	1,2	1,3	21,7	7,4
		19	1,6	1,3	1,0	2,3	1,3
	4	20	0,9	1,2	1,0	1,7	1,3
		21	1,4	1,4	0,9	1,3	1,2
	5	22	1,2	1,0	0,8	1,8	0,9
		23	1,5	1,3	0,8	1,9	0,8
	6	24	1,0	0,9	0,8		
		25	1,0	1,0	-		

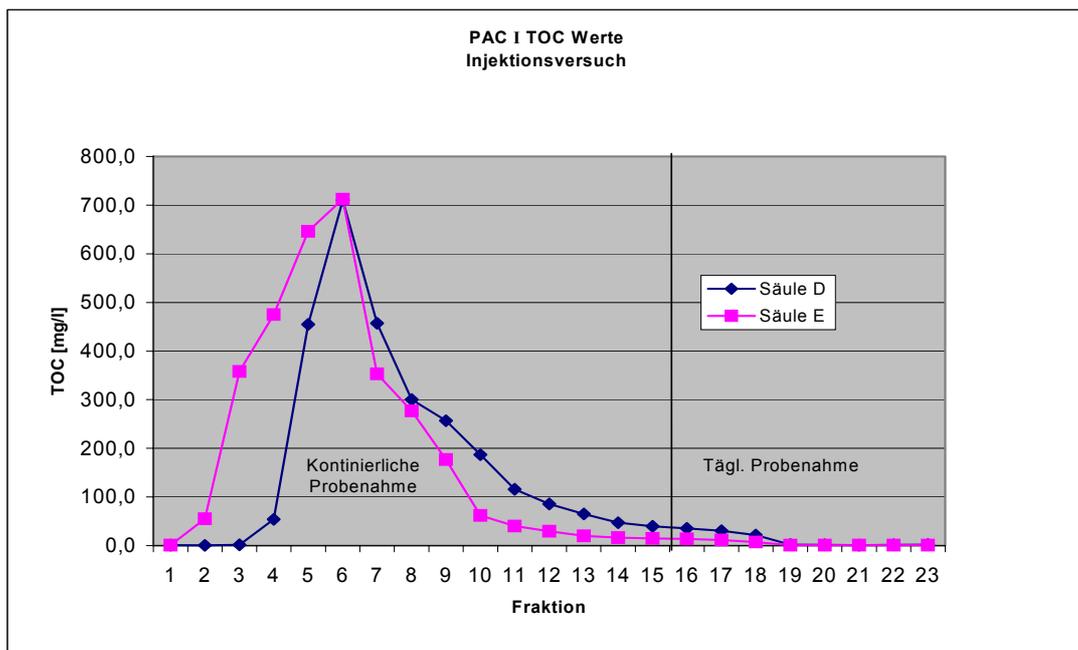
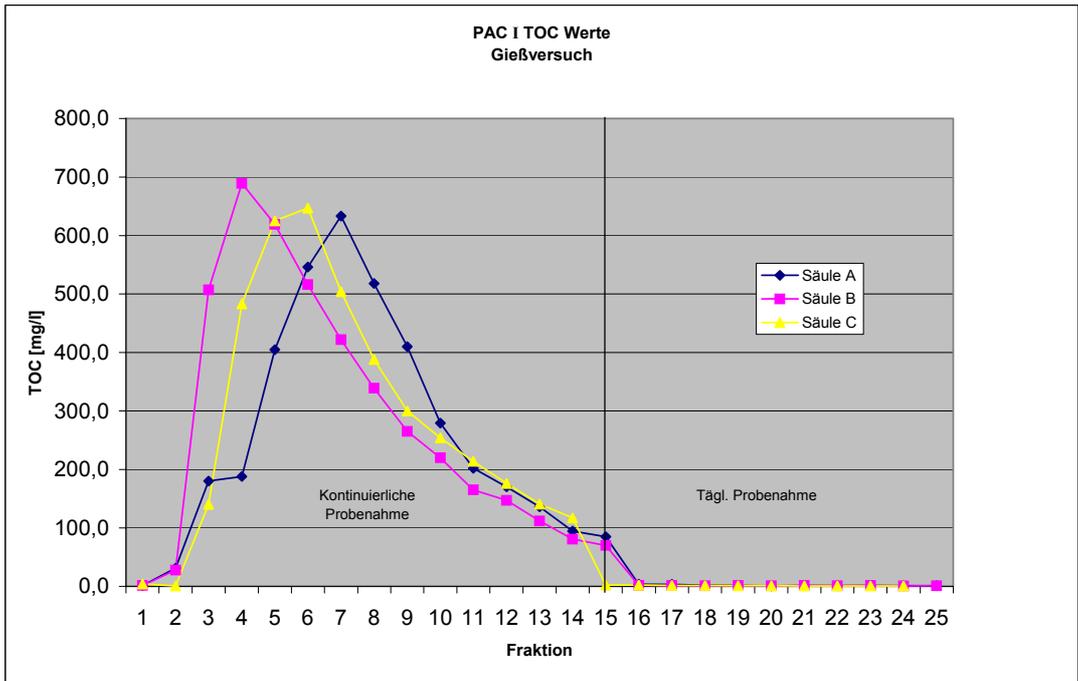
Säulenversuch mit PAC I

(PAC I – 3a)

- Gießversuch - Säulen A, B, C
- Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

TOC-Werte [mg/l] der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit PAC I

(PAC I – 3b)

Gießversuch - Säulen A, B, C

Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

TOC-Gesamtabgabe [mg] - während der ersten 7½- 9 Stunden

Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C	Säule D	Säule E
1	2,6	2,8	7,8	2,2	2,0
2	65,2	58,2	9,2	3,6	112,2
3	425,2	1072,2	289,2	6,8	828,2
4	801,2	2450,2	1255,2	115,0	1778,2
5	1611,2	3688,2	2505,2	1025,0	3070,2
6	2703,2	4720,2	3799,2	2445,0	4494,2
7	3969,2	5564,2	4807,2	3359,0	5200,2
8	5005,2	6242,2	5583,2	3959,0	5754,2
9	5825,2	6772,2	6183,2	4473,0	6108,2
10	6383,2	7212,2	6691,2	4847,0	6232,4
11	6787,2	7542,2	7119,2	5079,0	6313,4
12	7127,2	7836,2	7471,2	5251,0	6373,0
13	7399,2	8060,2	7753,2	5380,8	6413,2
14	7588,0	8222,0	7987,2	5474,8	6446,2
15	7757,8	8362,4	7991,6	5554,0	6475,8
16				5625,4	6503,0
17				5687,0	6526,0
18				5730,4	6540,8

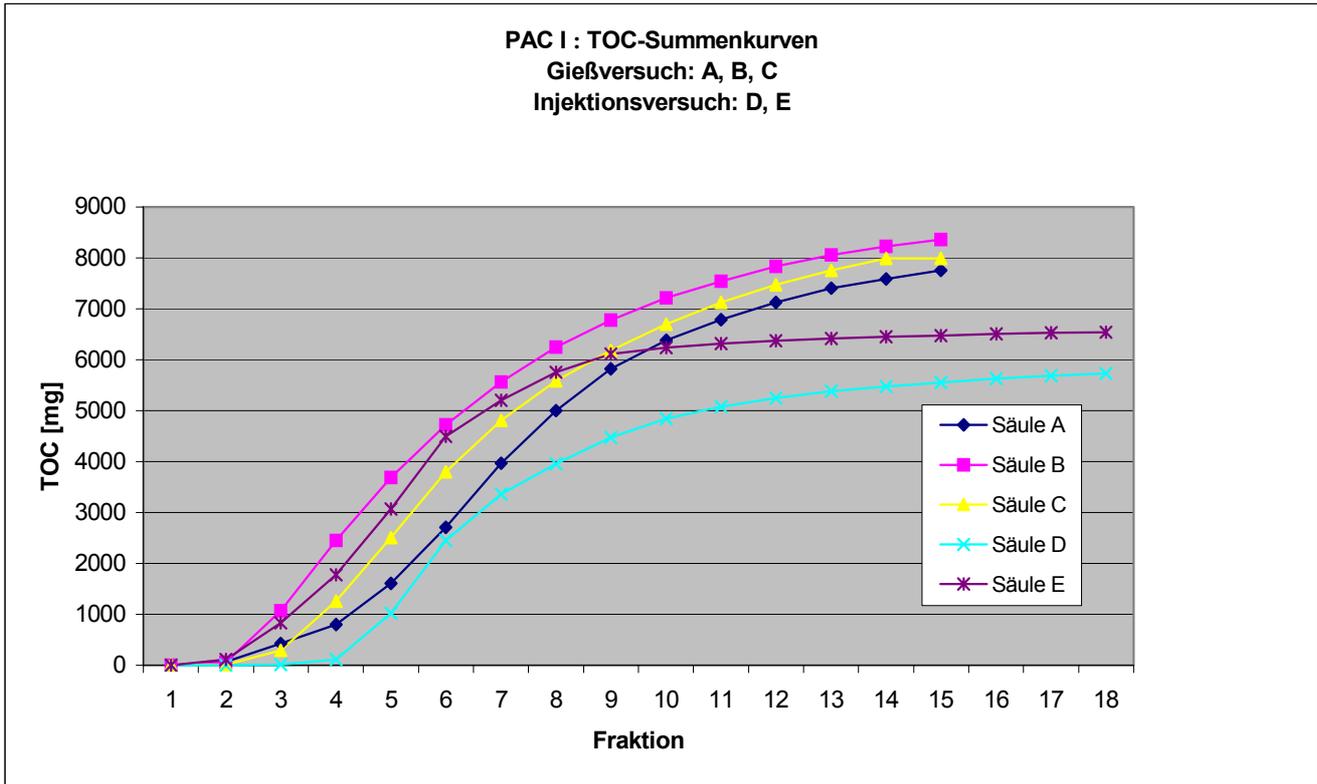
Säulenversuch mit PAC I

(PAC I – 3c)

Gießversuch - Säulen A, B, C
Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

TOC-Gesamtabgabe [mg] (erste 7½ -9 Stunden)



Säulenversuch mit PAC I

(PAC I – 4)

Gießversuch - Säulen A, B, C

Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Algen-Wachstumshemmtests der Einzelfractionen (je 2 l) mit TOC_{max} u. TOC_{ende}

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser				% Hemmung	GA
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
A	6	BW	7,0	11,2	0,040	0,045	0,430	1,250	0,0	
		ori	7,0	8,8	0,045	0,045	0,070	0,070	94,4	
		1	6,9	8,8	0,040	0,045	0,075	0,085	93,2	
		5	7,2	9,7	0,040	0,050	0,370	0,980	21,6	5,42
		10	7,0	10,9	0,035	0,055	0,410	1,220	2,4	
A	7	BW	7,0	11,2	0,040	0,045	0,430	1,250	0,0	
		ori	7,1	8,8	0,040	0,045	0,055	0,550	56,0	
		1	7,2	8,8	0,040	0,050	0,050	0,650	48,0	
		5	7,0	10,2	0,040	0,055	0,420	0,980	21,6	5,37
		10	7,2	11,4	0,040	0,065	0,440	1,300	-4,0	
A	8	BW	7,0	11,2	0,040	0,045	0,430	1,250	0,0	
		ori	7,0	8,7	0,040	0,050	0,060	0,075	94,0	
		1	7,1	8,8	0,035	0,035	0,040	0,120	90,4	4,44
		5	7,2	11,0	0,040	0,050	0,410	1,200	4,0	
		10	7,1	12,1	0,030	0,065	0,420	1,310	-4,8	
A	25	BW	7,0	11,2	0,040	0,045	0,430	1,250	0,0	
		ori	7,0	11,2	0,035	0,035	0,430	1,190	4,8	<2
		1	7,0	11,2	0,035	0,040	0,435	1,240	0,8	
		5								
		10								

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser				% Hemmung	GA
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
B	4	BW	7,0	11,2	0,040	0,045	0,430	1,250	0,0	
		ori	6,9	8,7	0,040	0,040	0,045	0,045	96,4	
		1	6,9	8,9	0,035	0,040	0,040	0,045	96,4	
		5	7,1	10,3	0,035	0,040	0,320	0,970	22,4	5,63
		10	7,1	11,2	0,030	0,040	0,400	1,210	3,2	
B	5	BW	7,0	11,2	0,040	0,045	0,430	1,250	0,0	
		ori	7,0	8,7	0,035	0,040	0,040	0,045	96,4	
		1	7,2	8,8	0,030	0,040	0,045	0,045	96,4	
		5	7,1	9,9	0,030	0,040	0,230	0,810	35,2	7,44
		10	7,0	11,0	0,025	0,035	0,400	1,200	4,0	
B	6	BW	7,0	11,2	0,040	0,045	0,430	1,250	0,0	
		ori	6,9	8,8	0,035	0,045	0,050	0,065	94,8	
		1	7,1	8,9	0,030	0,040	0,045	0,090	92,8	
		5	7,0	10,7	0,030	0,050	0,380	1,000	20,0	5,00
		10	7,0	11,3	0,030	0,050	0,420	1,270	-1,6	
B	25	BW	7,0	11,2	0,040	0,045	0,430	1,250	0,0	
		ori	7,1	11,3	0,030	0,035	0,390	1,250	0,0	<2
		1	7,1	11,1	0,030	0,045	0,420	1,280	-2,4	
		5								
		10								

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser				% Hemmung	GA
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
C	5	BW	7,0	11,2	0,040	0,045	0,430	1,250	0,0	
		ori	6,9	8,8	0,030	0,035	0,035	0,045	96,4	
		1	6,9	9,0	0,030	0,035	0,040	0,045	96,4	4,55
		5	7,1	10,1	0,030	0,040	0,400	1,170	6,4	
		10	7,0	11,3	0,030	0,050	0,450	1,300	-4,0	
C	6	BW	7,1	11,2	0,030	0,040	0,410	1,190	0,0	
		ori	7,1	8,9	0,030	0,040	0,040	0,040	96,6	
		1	7,0	8,9	0,030	0,045	0,040	0,050	95,8	5,63
		5	7,2	9,4	0,030	0,045	0,300	0,980	17,6	
		10	7,0	10,9	0,025	0,040	0,390	1,140	4,2	
C	7	BW	7,1	11,2	0,030	0,040	0,410	1,190	0,0	
		ori	7,1	8,9	0,030	0,040	0,045	0,050	95,8	
		1	7,2	8,9	0,030	0,040	0,045	0,060	95,0	5,23
		5	7,0	10,7	0,030	0,045	0,370	0,990	16,8	
		10	7,2	11,0	0,030	0,045	0,430	1,210	-1,7	
C	25	BW	7,1	11,2	0,030	0,040	0,410	1,190	0,0	
		ori	7,1	11,1	0,030	0,035	0,400	1,150	3,4	<2
		1	7,0	11,0	0,025	0,035	0,420	1,220	-2,5	
		5								
		10								

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser				% Hemmung	GA
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
D	6	BW	7,0	12,2	0,035	0,060	0,540	1,300	0,0	
		ori	7,1	8,7	0,035	0,045	0,050	0,065	95,0	
		1	7,2	9,8	0,030	0,050	0,120	0,310	76,2	4,33
		5	7,1	11,9	0,030	0,050	0,500	1,250	3,8	
		10	7,0	12,1	0,030	0,065	0,530	1,290	0,8	
D	23	BW	7,0	12,2	0,035	0,060	0,540	1,300	0,0	
		ori	7,1	10,1	0,030	0,045	0,120	0,340	73,8	
		1	7,0	11,4	0,030	0,050	0,340	0,870	33,1	3,34
		5	7,0	12,1	0,030	0,050	0,480	1,250	3,8	
		10	7,2	12,4	0,025	0,055	0,510	1,320	-1,5	
E	6	BW	7,0	12,2	0,035	0,060	0,540	1,300	0,0	
		ori	7,0	9,0	0,035	0,045	0,045	0,050	96,2	
		1	7,0	9,4	0,035	0,055	0,120	0,230	82,3	4,43
		5	7,1	10,9	0,035	0,055	0,430	1,230	5,4	
		10	7,2	11,8	0,030	0,065	0,540	1,290	0,8	
E	23	BW	7,0	12,2	0,035	0,060	0,540	1,300	0,0	
		ori	7,1	9,4	0,030	0,035	0,100	0,210	83,8	
		1	7,0	10,9	0,030	0,045	0,340	0,870	33,1	3,28
		5	7,2	11,7	0,030	0,050	0,530	1,270	2,3	
		10	7,0	12,1	0,030	0,060	0,570	1,340	-3,1	

Säulenversuch mit PAC I

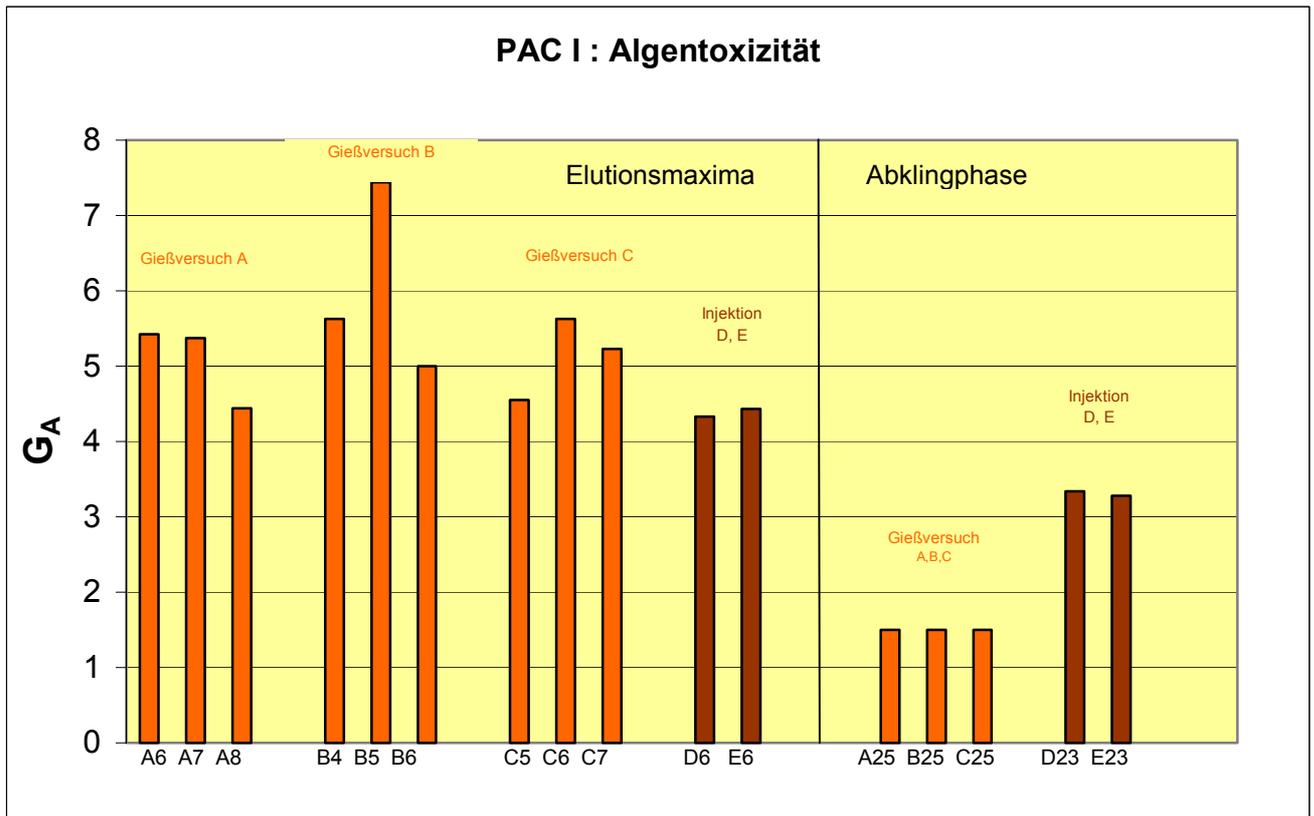
(PAC I – 4a)

Gießversuch - Säulen A, B, C

Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Algen-Wachstumshemmtests der Einzelfraktionen (je 2 l) mit mit TOC_{max} u. TOC_{ende}



Säulenversuch mit PAC I

(PAC I – 4b)

Gießversuch - Säulen A, B, C

Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Daphnien-Toxizitätstests der Einzelfraktionen (je 2 l) mit mit TOC_{max} u. TOC_{ende}

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O2/l Anfang	mg O2/l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	% Hemmung	GD
A	6	BW	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,3	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,2	7,7	8,0	8,1	5	5	100	
		2	7,0	7,5	8,2	8,1	5	3	60	
		5	7,0	7,5	8,3	8,4	5	1	20	7,50
		10	7,2	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
A	7	BW	7,0	7,4	8,3	8,4	5	0	0	
		BW	7,1	7,3	8,3	8,4	5	0	0	
		1	7,2	7,7	8,1	8,1	5	5	100	
		2	7,0	7,4	8,1	8,4	5	2	40	4,25
		5	7,1	7,3	8,4	8,6	5	0	0	
		10	7,0	7,4	8,4	8,6	5	0	0	
A	8	BW	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,3	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,0	7,7	7,8	7,8	5	4	80	
		2	7,2	7,5	8,2	8,2	5	1	20	3,50
		5	7,1	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
		10	7,0	7,2	8,4	8,4	5	0	0	
A	25	BW	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,3	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,2	7,5	8,3	8,3	5	1	20	1,50
		2	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		5								
		10								

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O2/l Anfang	mg O2/l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	% Hemmung	GD
B	4	BW	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,3	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,0	7,7	8,1	8,1	5	5	100	
		2	7,2	7,5	8,3	8,3	5	5	100	
		5	7,0	7,4	8,4	8,4	5	2	40	8,75
		10	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
B	5	BW	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,3	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,0	7,4	8,0	8,0	5	2	40	
		2	7,0	7,5	8,2	8,2	5	1	20	3,50
		5	7,1	7,5	8,4	8,4	5	0	0	
		10	7,2	7,7	8,4	8,4	5	0	0	
B	6	BW	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,3	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,0	7,4	8,0	8,0	5	2	40	
		2	7,2	7,3	8,4	8,4	5	1	20	3,50
		5	7,1	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		10	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
B	25	BW	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,3	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		2	7,2	7,5	8,6	8,6	5	0	0	
		5								
		10								

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O2/l Anfang	mg O2/l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	% Hemmung	GD
C	5	BW	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,3	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,2	7,7	7,8	7,8	5	5	100	
		2	7,2	7,7	8,0	8,0	5	5	100	
		5	7,0	7,4	8,3	8,3	5	2	40	8,75
		10	6,9	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
C	6	BW	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,3	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,0	7,7	8,2	8,2	5	5	100	
		2	7,2	7,6	8,2	8,2	5	5	100	
		5	7,0	7,5	8,5	8,5	5	2	40	8,75
		10	7,1	7,4	8,5	8,5	5	0	0	
C	7	BW	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,3	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,0	7,4	8,0	8,0	5	3	60	
		2	7,2	7,4	8,4	8,4	5	2	40	4,25
		5	7,1	7,5	8,4	8,4	5	0	0	
		10	7,0	7,4	8,6	8,6	5	0	0	
C	25	BW	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,3	8,3	8,3	5	0	0	
		1	6,9	7,4	7,8	7,8	5	1	20	1,50
		2	7,1	7,5	7,9	7,9	5	0	0	
		5								
		10								

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O2/l Anfang	mg O2/l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	%	GD
D	6	BW	7,2	7,7	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,5	8,5	5	0	0	
		1	7,0	7,7	7,8	7,8	5	4	80	
		2	7,1	7,5	8,2	8,2	5	2	40	
		5	7,1	7,5	8,4	8,4	5	1	20	7,50
		10	7,2	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
D	23	BW	7,2	7,7	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,5	8,5	5	0	0	
		1	7,0	7,4	8,3	8,3	5	2	40	1,75
		2	7,1	7,7	8,3	8,3	5	0	0	
		5	7,1	7,4	8,5	8,5	5	0	0	
		10	7,1	7,4	8,6	8,6	5	0	0	

E	6	BW	7,2	7,7	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,5	8,5	5	0	0	
		1	7,0	7,7	8,1	8,1	5	5	100	
		2	7,2	7,7	8,4	8,4	5	1	20	3,50
		5	7,1	7,5	8,4	8,4	5	0	0	
		10	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
E	23	BW	7,2	7,7	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,5	8,5	5	0	0	
		1	7,0	7,5	8,3	8,3	5	2	40	1,75
		2	7,1	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		5	7,2	7,6	8,4	8,4	5	0	0	
		10	7,1	7,4	8,6	8,4	5	0	0	

Säulenversuch mit PAC I

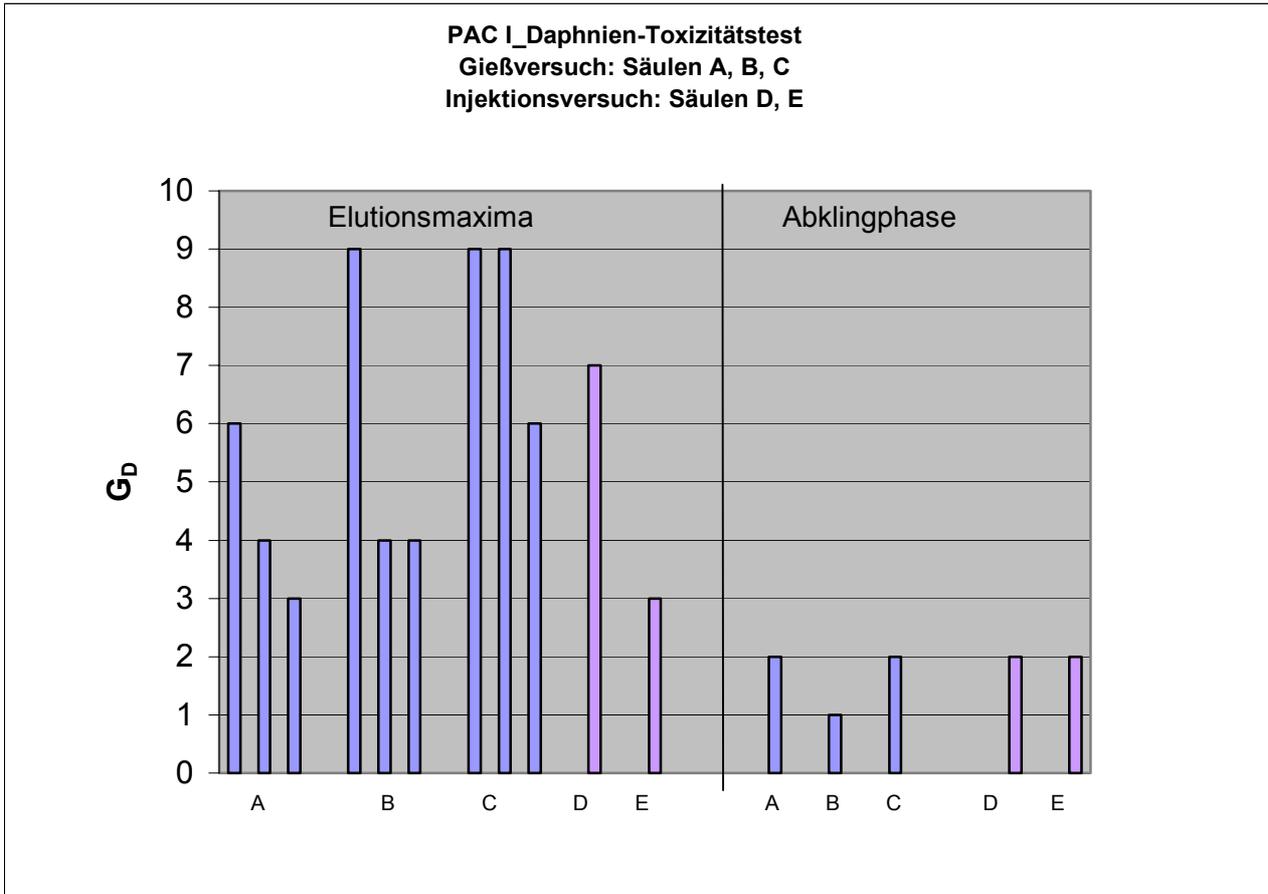
(PAC I – 4c)

Gießversuch - Säulen A, B, C

Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Daphnien-Toxizitätstests der Einzelfraktionen (je 2 l) mit mit TOC_{max} u. TOC_{ende}



Säulenversuch mit PAC I

(PAC I – 5)

Gießversuch - Säulen A, B, C

Injektionsversuch - Säulen D, E

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Leuchtbakterien-Toxizitätstests der Einzelfraktionen (je 1 l) mit TOC_{max} u. TOC_{ende}

Gießversuch:

Säule	Fraktion	GL-Wert
A	6	<2
	7	<2
	8	<2
	25	<2
B	4	<2
	5	<2
	6	<2
	25	<2
C	5	<2
	6	<2
	7	<2
	25	<2

Injektionsversuch:

Säule	Fraktion	GL-Wert
A	7	<2
	19	<2
B	5	2
	19	<2
C	7	<2
	19	<2
D	6	<2
	23	<2
E	6	<2
	23	<2

(PAC I – 6)

Injektionskörper vom Gießversuch (oben) und Injektionsversuch (unten)



Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 1)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)

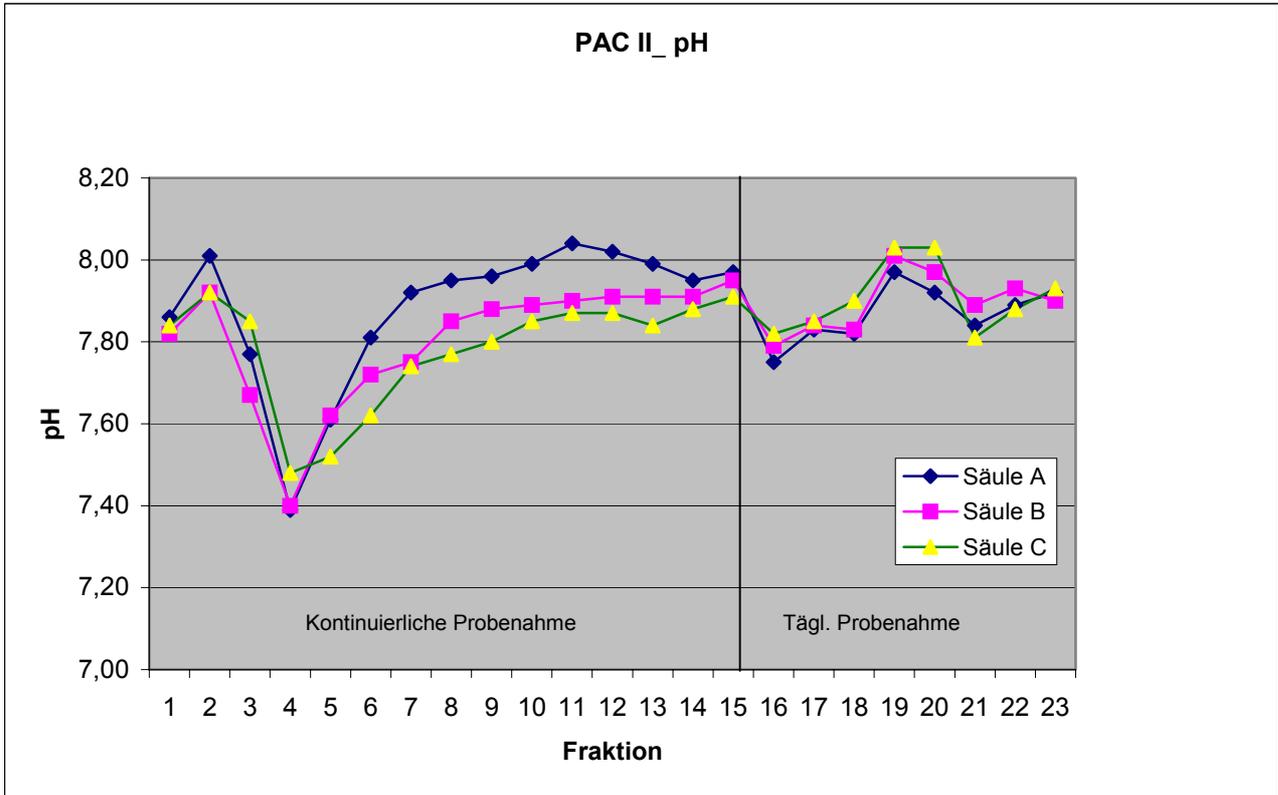
Temperatur [°C]	Tag	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
20,5	1	1	7,80	7,77	7,64
		2	7,75	7,74	7,83
		3	7,86	8,06	7,78
		4	7,95	8,21	7,95
		5	8,08	8,28	8,10
		6	8,19	8,31	8,23
		7	8,27	8,34	8,29
		8	8,34	8,34	8,34
		9	8,35	8,34	8,34
		10	8,36	8,33	8,34
		11	8,35	8,29	8,35
		12	8,33	8,26	8,32
		13	8,33	8,22	8,30
		14	8,31	8,18	8,28
		15	8,29	7,91	7,28
	2	16	7,23	7,28	7,24
		17	7,25	7,31	7,40
	3	18	7,31	7,39	7,39
		19	7,34	7,40	7,54
	4	20	7,61	7,58	7,57
		21	7,62	7,57	7,59
	5	22	7,67	7,59	7,65
		23	7,64	7,61	7,66
	6	24	7,67	7,60	7,49
		25	7,64	7,57	

Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 1a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 2)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Elektrische Leitfähigkeitswerte [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfractionen (je 2 l)

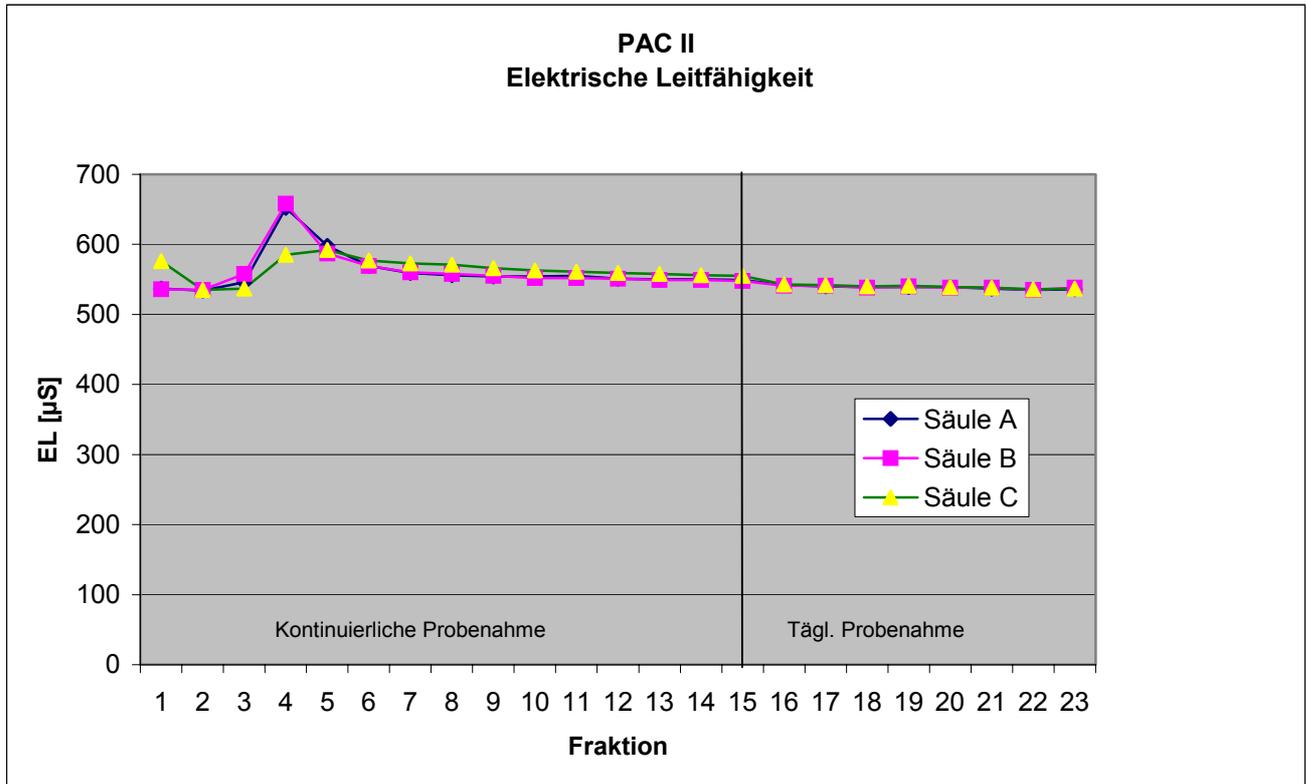
Temperatur [°C]	Tag	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
20,5	1	1	537	536	576
		2	534	535	535
		3	546	558	537
		4	652	658	585
		5	598	587	592
		6	569	569	577
		7	559	560	573
		8	556	558	571
		9	554	555	566
		10	554	552	563
		11	555	552	561
		12	551	551	559
		13	550	549	558
		14	550	549	556
		15	549	548	555
	2	16	542	541	543
		17	540	541	542
	3	18	539	538	540
		19	539	540	541
	4	20	539	538	539
		21	537	538	538
	5	22	535	535	536
		23	536	538	537

Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 2a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Elektrische Leitfähigkeitswerte [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 3)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

TOC-Werte [mg/l] der Einzelfractionen (je 2 l)

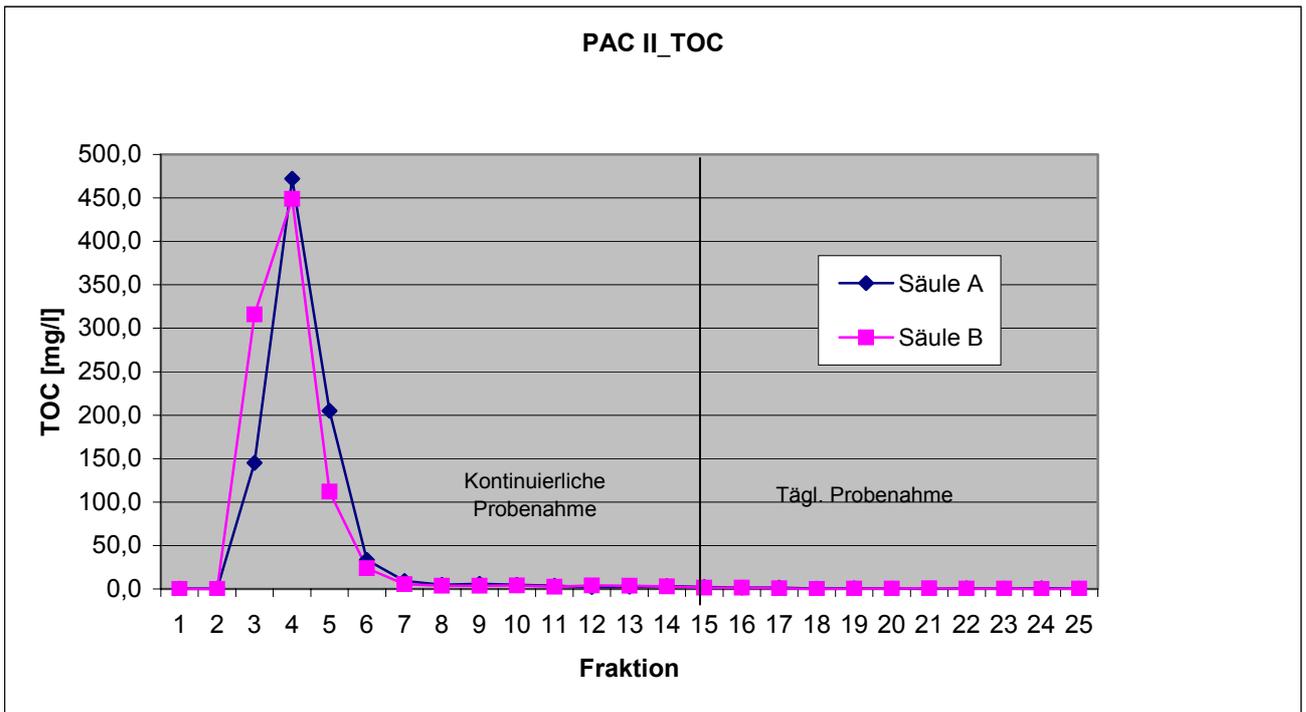
Tempera- tur [°C]	Tag	Fraktion	Säule A	Säule B
20,5	1	1	0,4	0,1
		2	0,4	0,1
		3	145,0	316,0
		4	472,0	449,0
		5	205,0	112,0
		6	33,6	23,7
		7	9,1	5,6
		8	4,7	3,5
		9	5,8	3,8
		10	4,7	4,1
		11	3,6	2,6
		12	2,3	4,2
		13	2,5	3,6
		14	3,3	3,0
		15	2,2	1,6
	2	16	1,5	1,3
		17	1,5	0,7
	3	18	0,3	0,1
		19	0,7	0,4
	4	20	0,2	0,2
		21	0,5	0,8
	5	22	0,6	0,2
		23	0,2	0,3

Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 3a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

TOC-Werte [mg/l] der Einzelfraktionen (je 2 l)



Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 3b)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

TOC-Gesamtabgabe [mg] während der ersten 7½ Stunden

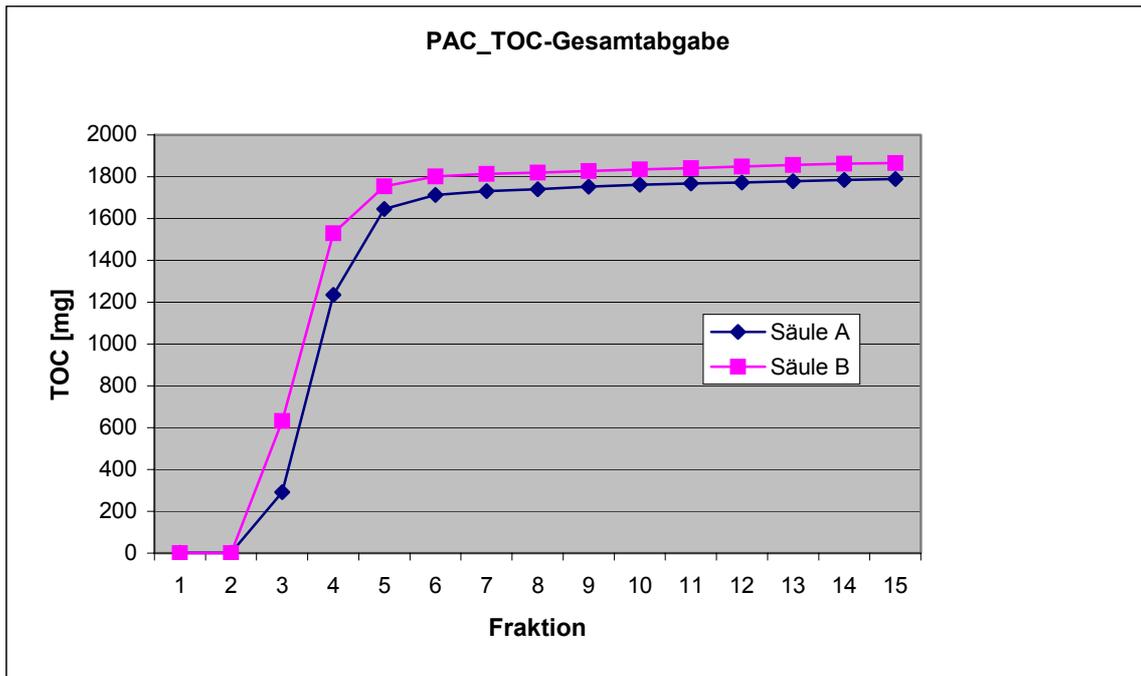
Fraktion	Säule A	Säule B
1	0,8	0,2
2	1,6	0,4
3	291,6	632,4
4	1235,6	1530,4
5	1645,6	1754,4
6	1712,8	1801,8
7	1731,0	1813,0
8	1740,4	1820,0
9	1752,0	1827,6
10	1761,4	1835,8
11	1768,6	1841,0
12	1773,2	1849,4
13	1778,2	1856,6
14	1784,8	1862,6
15	1789,2	1865,8

Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 3c)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

TOC-Gesamtabgabe [mg] während der ersten 7½ Stunden



Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 4a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Algen-Wachstumshemmtests d. Einzelfractionen (je 2 l) um mit TOC_{max} u. TOC_{ende}

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser				% Hemmung (nach 72 Std.)	GA
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
A	3	BW	7,0	10,9	0,030	0,110	0,840	1,290	0,0	
		1	7,2	8,4	0,045	0,030	0,060	0,070	94,6	
		2	6,9	8,7	0,035	0,045	0,085	0,100	92,2	4,97
		5	7,1	9,8	0,030	0,080	0,670	1,040	19,4	
		10	7,1	10,5	0,025	0,090	0,820	1,270	1,6	
A	4	BW	7,0	10,9	0,030	0,110	0,840	1,290	0,8	
		1	7,0	8,4	0,060	0,060	0,105	0,120	90,8	
		2	7,1	8,7	0,025	0,080	0,190	0,205	84,2	
		5	7,2	9,8	0,030	0,095	0,630	0,870	33,1	8,86
		10	7,0	10,4	0,025	0,100	0,790	1,090	16,2	
		50	7,0	11,2	0,025	0,140	0,870	1,310	-0,8	
A	5	BW	7,0	10,9	0,030	0,110	0,840	1,290	0,8	
		1	7,1	9,3	0,030	0,045	0,100	0,270	79,2	1,99
		2	7,0	10,3	0,030	0,080	0,750	1,050	19,2	
		5	7,0	11,0	0,025	0,100	0,870	1,300	0,0	
		10								
A	26	BW	7,0	10,9	0,030	0,110	0,840	1,290	0,8	
		1	6,9	10,9	0,030	0,095	0,820	1,300	0,0	
		2	7,1	11,4	0,030	0,110	0,880	1,320	-1,5	
		5								
		10								

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser				% Hemmung (nach 72 Std.)	GA
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
B	3	BW	7,0	10,9	0,030	0,110	0,840	1,290	0,0	
		1	7,0	8,4	0,025	0,055	0,230	0,310	76,0	1,89
		2	7,2	10,1	0,025	0,085	0,760	1,120	13,2	
		5	7,1	10,5	0,035	0,095	0,810	1,270	1,6	
B	4	BW		10,9	0,030	0,110	0,840	1,290	0,8	
		1	6,9	8,7	0,025	0,045	0,110	0,330	74,6	
		2	7,2	9,1	0,030	0,050	0,450	0,910	30,0	
		5	7,0	9,7	0,030	0,085	0,700	1,030	20,8	
		10	7,1	10,0	0,025	0,090	0,790	1,020	21,5	13,48
		50	7,1	10,3	0,025	0,090	0,810	1,250	3,8	
		100	7,2	10,9	0,025	0,130	0,850	1,300	0	
B	5	BW	7,0	10,9	0,030	0,110	0,840	1,290	0,8	
		1	7,2	9,9	0,030	0,050	0,670	1,070	17,7	
		2	7,0	10,5	0,030	0,100	0,800	1,240	4,6	
		5	7,0	11,0	0,025	0,120	0,850	1,290	0,8	
		10								
B	26	BW	7,0	10,9	0,030	0,110	0,840	1,290	0,8	
		1	7,1	11,2	0,030	0,120	0,870	1,300	0,0	
		2	6,9	11,9	0,030	0,205	0,930	1,370	-5,4	
		5								
		10								

Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 4b)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Daphnien-Toxizitätstests d. Einfeldfraktionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O ₂ /l Anfang	mg O ₂ /l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	% Hemmung	GD
A	3	BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	7,1	7,7	8,0	8,0	5	5	100	
		2	6,9	7,5	8,0	8,0	5	4	80	
		5	7,1	7,4	8,3	8,3	5	1	20	7,50
		10	7,0	7,3	8,5	8,5	5	0	0	
A	4	BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	7,0	7,7	7,9	7,9	5	5	100	
		2	7,1	7,7	8,2	8,2	5	5	100	
		5	7,1	7,5	8,3	8,3	5	3	60	
		10	7,0	7,3	8,4	8,4	5	1	20	30,00
		50	6,9	7,2	8,6	8,6	5	0	0	
A	5	BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	7,1	7,6	8,0	8,0	5	5	100	
		2	7,2	7,5	8,1	8,1	5	2	40	4,25
		5	7,1	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
A	26	BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	7,2	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		2	7,1	7,4	8,5	8,5	5	0	0	

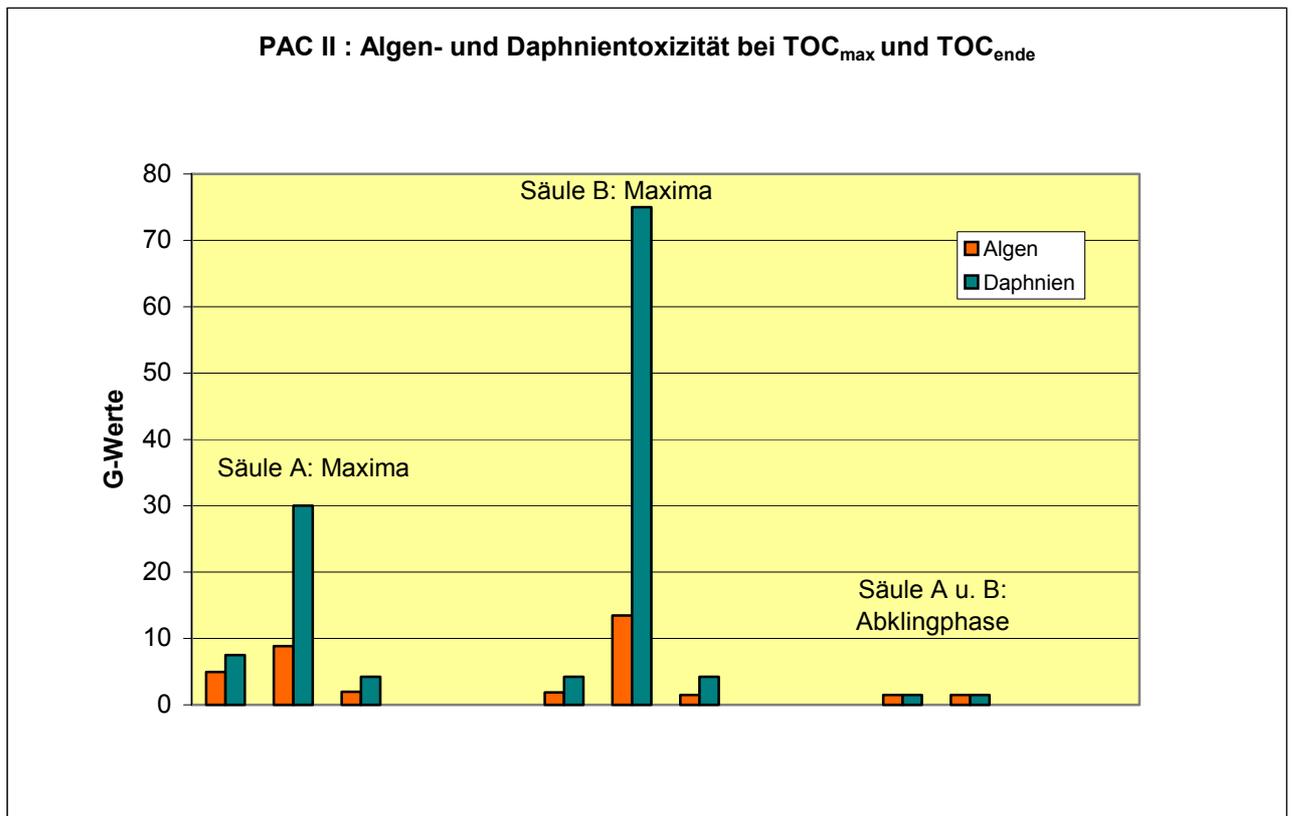
Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O ₂ /l Anfang	mg O ₂ /l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmunfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	% Hemmung	GD
B		3BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	6,9	7,5	8,1	8,1	5	5	100	
		2	7,2	7,5	8,2	8,2	5	2	40	4,25
		5	7,1	7,3	8,5	8,5	5	0	0	
B		4BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	7,1	7,7	7,6	7,6	5	5	100	
		2	7,1	7,4	8,0	8,0	5	5	100	
		5	7,0	7,3	8,1	8,1	5	5	100	
		10	7,1	7,2	8,3	8,3	5	3	60	
		50	7,1	7,2	8,6	8,6	5	1	20	75,00
		100	7,1	7,2	8,6	8,6	5	0	0	
B		5BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	6,9	7,4	8,0	8,0	5	5	100	
		2	7,2	7,4	8,4	8,4	5	2	40	4,25
		5	7,0	7,2	8,5	8,5	5	0	0	
B		26BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
		1	7,1	7,2	8,6	8,6	5	0	0	
		2	7,1	7,4	8,6	8,6	5	0	0	

Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 4c)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Algen-Wachstumshemmtests u. Daphnien-Toxizitätstests
d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}



Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 5)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Leuchtbakterien-Toxizitätstests d. Einfeldfraktionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}

Säule	Fraktion	GL-Wert
A	3	<2
	4	3
	5	<2
	26	<2
B	3	3
	4	<2
	5	<2
	26	<2

Säulenversuch mit PAC II

(PAC II – 6)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Injektionskörper



Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 1)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)

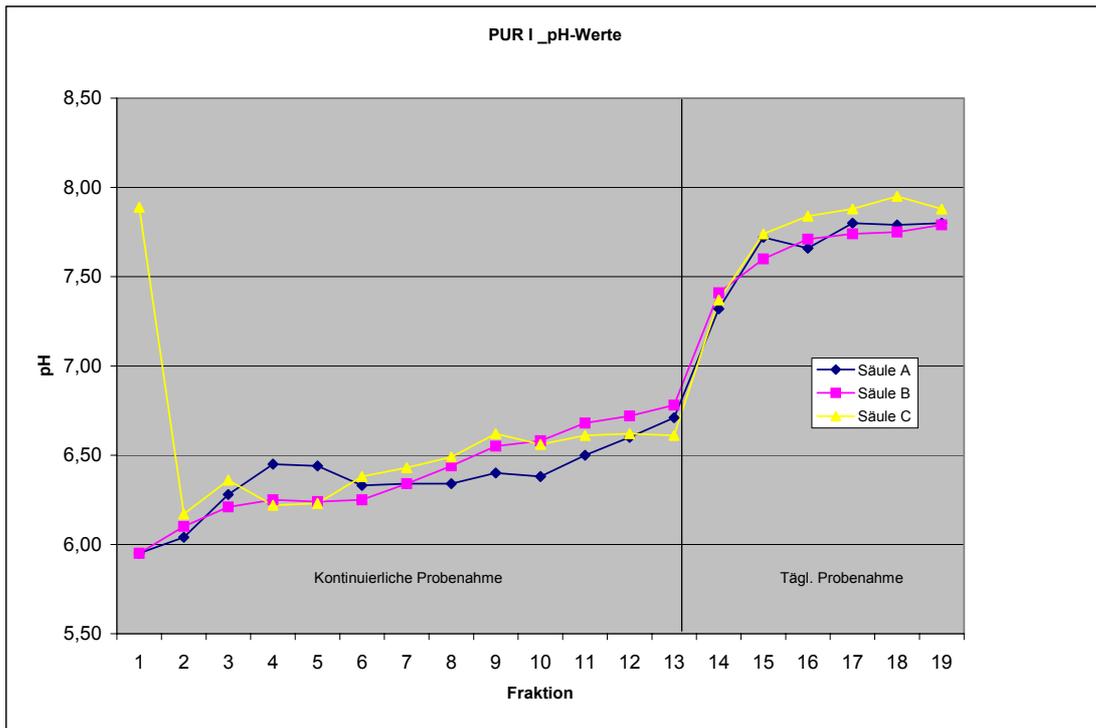
Temperatur [°C]	Tag	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
15,2	1	1	5,95	5,95	7,89
		2	6,04	6,10	6,17
		3	6,28	6,21	6,36
		4	6,45	6,25	6,22
		5	6,44	6,24	6,23
		6	6,33	6,25	6,38
		7	6,34	6,34	6,43
		8	6,34	6,44	6,49
		9	6,40	6,55	6,62
		10	6,38	6,58	6,56
		11	6,50	6,68	6,61
		12	6,60	6,72	6,62
		13	6,71	6,78	6,61
	2	14	7,32	7,41	7,37
		15	7,72	7,60	7,74
	3	16	7,66	7,71	7,84
		17	7,80	7,74	7,88
	4	18	7,79	7,75	7,95
		19	7,80	7,79	7,88

Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 1a)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 2)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Elektrische Leitfähigkeits-Werte [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfractionen (je 2 l)

Temperatur	Tag	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
15,2	1	1	586	566	508
		2	685	673	827
		3	683	640	841
		4	729	614	737
		5	684	561	578
		6	602	527	544
		7	560	511	532
		8	538	506	527
		9	526	503	530
		10	516	505	523
		11	508	505	516
		12	505	504	514
		13	505	502	510
	2	14	505	505	508
		15	516	515	516
	3	16	514	515	514
		17	522	523	522
	4	18	526	526	528
		19	530	530	530

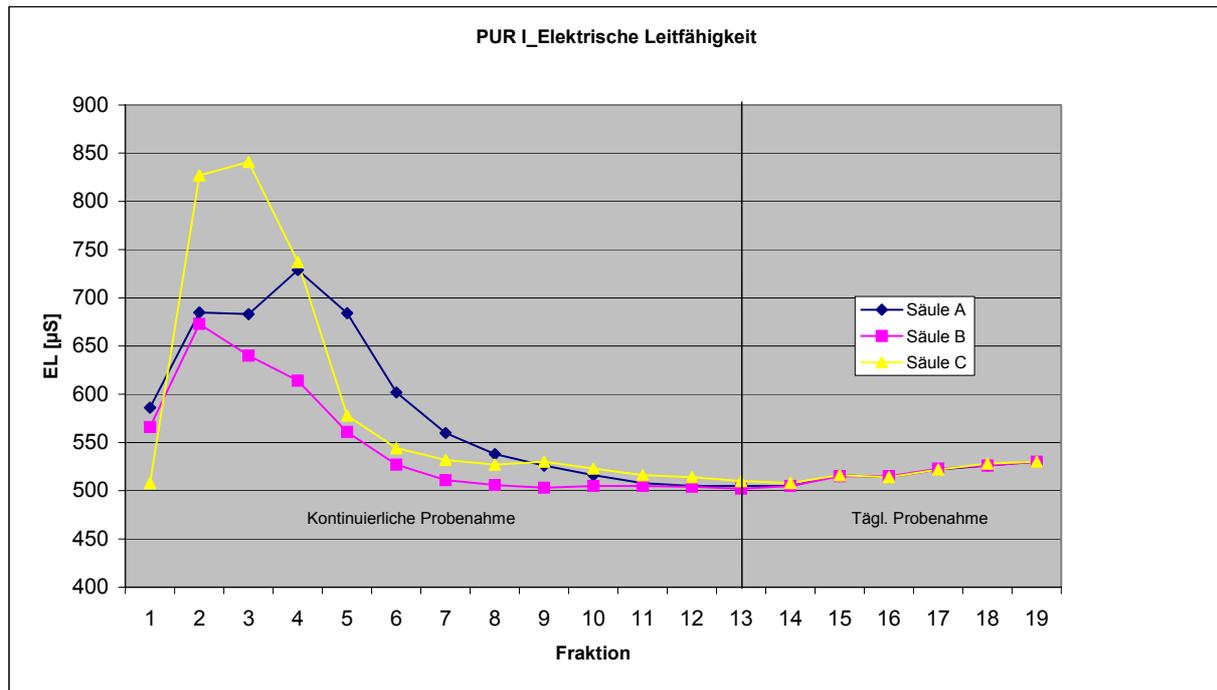
Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 2a)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Säulenfüllung: Normensand Beckum

Elektrische Leitfähigkeits-Werte [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfraktionen (je 2 l)



Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 3)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

TOC-Werte [mg/l] der Einzelfraktionen (je 2 l)

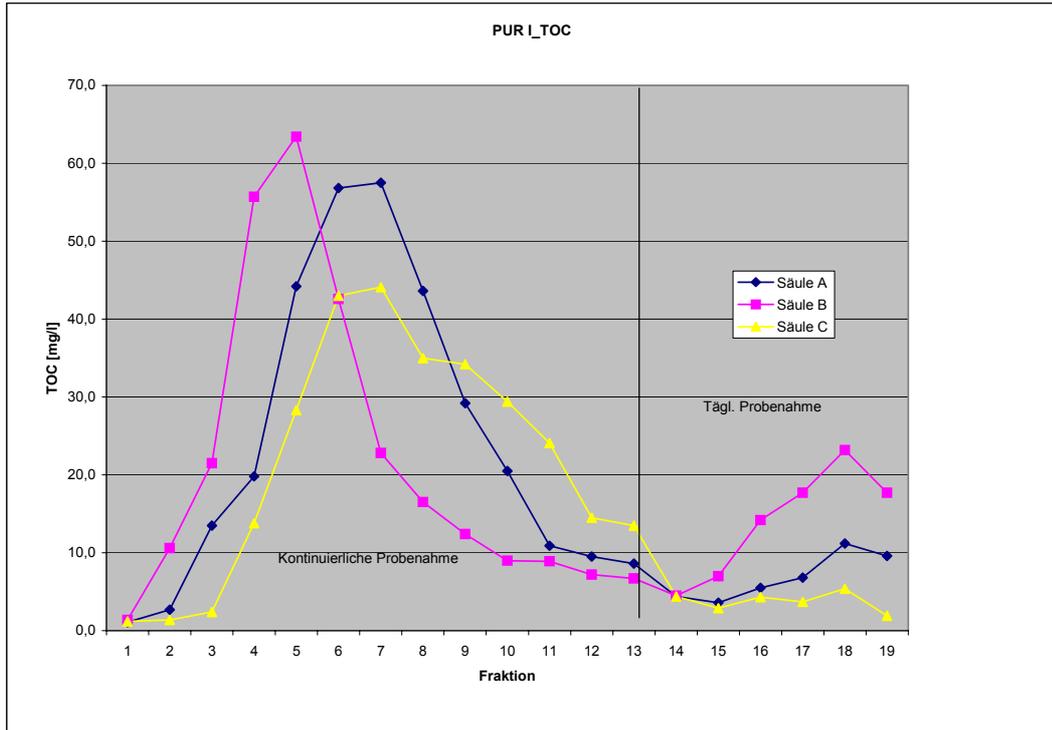
Temperatur	Tag	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
15,2	1	1	1,1	1,4	1,2
		2	2,7	10,6	1,4
		3	13,5	21,5	2,4
		4	19,8	55,7	13,8
		5	44,2	63,4	28,3
		6	56,8	42,6	43,0
		7	57,5	22,8	44,1
		8	43,6	16,5	35,0
		9	29,2	12,4	34,2
		10	20,5	9,0	29,4
		11	10,9	8,9	24,1
		12	9,5	7,2	14,5
		13	8,6	6,7	13,5
	2	14	4,4	4,5	4,4
		15	3,6	7,0	2,9
	3	16	5,5	14,2	4,3
		17	6,8	17,7	3,7
	4	18	11,2	23,2	5,4
		19	9,6	17,7	1,9

Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 3a)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

TOC-Werte [mg/l] der Einzelfraktionen (je 2 l)



Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 3b)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

TOC-Gesamtabgabe [mg] - während der ersten 7,5 Stunden

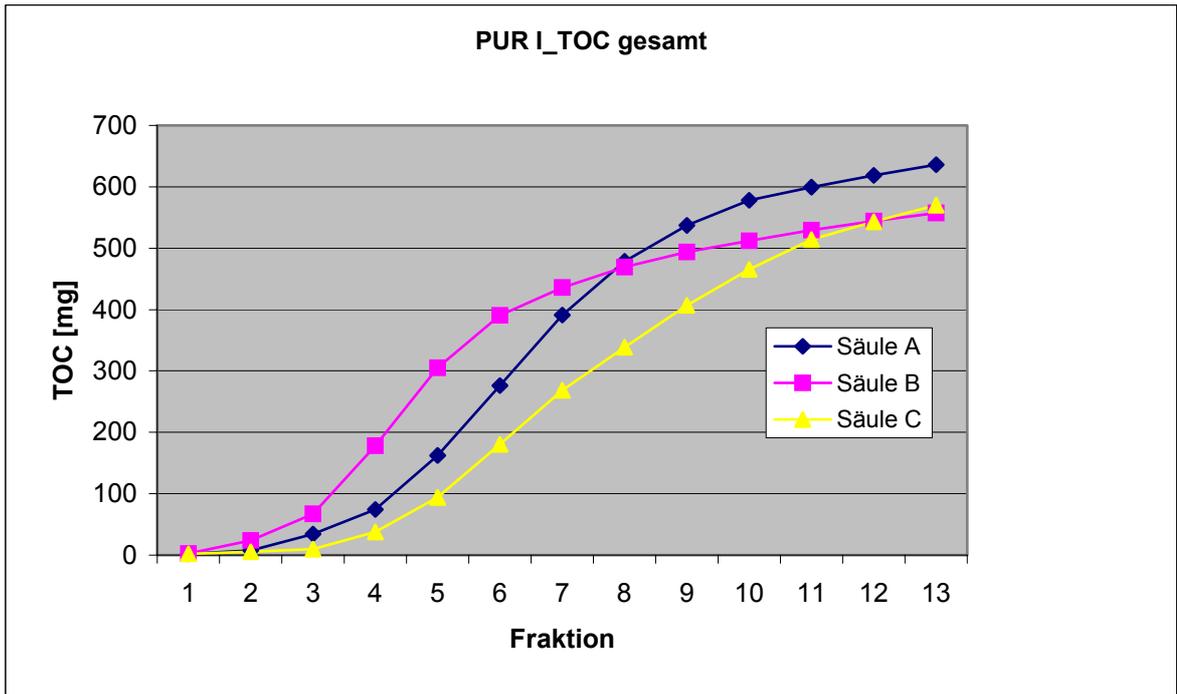
Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
1	2,2	2,8	2,4
2	7,6	24,0	5,2
3	34,6	67,0	10,0
4	74,2	178,4	37,6
5	162,6	305,2	94,2
6	276,2	390,4	180,2
7	391,2	436,0	268,4
8	478,4	469,0	338,4
9	536,8	493,8	406,8
10	577,8	511,8	465,6
11	599,6	529,6	513,8
12	618,6	544,0	542,8
13	635,8	557,4	569,8

Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 3c)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

TOC-Gesamtabgabe [mg/l] (erste 7,5 Stunden)



Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 4)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Primäre aromatische Amine, Phenole und Formaldehyd [mg/l]
in Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}

Parameter	Säule A		Säule B		Säule C	
Prim. Arom. Amine [mg/l]	A6	0,022	B5	0,021	C7	< 0,015
	A7	0,020	B19	< 0,015	C19	< 0,015
	A8	0,023				
	A19	< 0,015				
Phenole gesamt [mg/l]	A7	0,020	B5	0,020	C7	< 0,015
	A19	< 0,005	B19	< 0,005	C19	< 0,015
Formaldehyd [mg/l]	A6	< 0,1	B5	< 0,1	C7	< 0,1
	A7	< 0,1	B19	< 0,1	C19	< 0,1
	A8	< 0,1				
	A19	< 0,1				

Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 5a)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Algen-Wachstumshemmtests d. Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser				% Hemmung (nach 72 Std.)	GA
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
A	7	BW	7,0	12,2	0,035	0,060	0,540	1,300	0,0	
		1	7,2	8,4	0,035	0,040	0,045	0,060	95,4	
		2	7,1	9,3	0,035	0,045	0,070	0,075	94,2	
		5	7,1	10,7	0,035	0,050	0,470	0,970	25,4	6,13
		10	7,0	11,9	0,035	0,650	0,510	1,280	1,5	
A	19	BW	7,0	12,2	0,035	0,060	0,540	1,300	0,0	
		1	7,0	9,4	0,035	0,055	0,120	0,240	81,5	
		2	7,1	10,1	0,030	0,055	0,270	0,580	55,4	
		5	7,0	11,7	0,030	0,065	0,490	1,250	3,8	4,06
		10	7,2	12,4	0,030	0,070	0,550	1,310	-0,8	

B	5	BW	7,0	12,2	0,035	0,060	0,540	1,300	0,0	
		1	7,1	8,4	0,035	0,040	0,045	0,050	96,2	
		2	7,1	8,9	0,035	0,045	0,060	0,070	94,6	
		5	7,2	9,7	0,030	0,050	0,240	0,580	55,4	8,29
		10	7,0	11,9	0,030	0,055	0,480	1,280	1,5	
B	19	BW	7,0	12,2	0,035	0,060	0,540	1,300	0,0	
		1	7,1	8,6	0,035	0,035	0,045	0,050	96,2	
		2	7,1	9,7	0,030	0,040	0,130	0,470	63,8	
		5	7,1	10,9	0,030	0,040	0,470	0,990	23,8	5,78
		10	7,2	11,9	0,030	0,075	0,530	1,310	-0,8	

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser				% Hemmung (nach 72 Std.)	GA
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
C	7	BW	7,0	12,2	0,035	0,060	0,540	1,300	0,0	
		1	7,2	8,7	0,035	0,045	0,050	0,050	96,2	
		2	7,0	9,3	0,035	0,040	0,120	0,230	82,3	
		5	7,1	10,4	0,035	0,055	0,500	0,980	24,6	5,83
		10	7,2	12,4	0,030	0,055	0,570	1,340	-3,1	
C	19	BW	7,0	12,2	0,035	0,060	0,540	1,300	0,0	
		1	7,2	9,1	0,030	0,045	0,065	0,090	93,1	
		2	7,0	10,2	0,030	0,050	0,270	0,570	56,2	
		5	7,1	11,9	0,030	0,050	0,530	1,280	1,5	3,99
		10	7,1	12,0	0,030	0,055	0,550	1,310	-0,8	

Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 5b)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Daphnien-Toxizitätstests der Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O2/l Anfang	mg O2/l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmunfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	% Hemmung	GD
A	7	BW	7,2	7,7	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,5	8,5	5	0	0	
		1	7,0	7,7	7,9	7,9	5	5	100	
		2	7,2	7,7	8,1	8,1	5	3	60	
		5	7,1	7,5	8,2	8,2	5	2	40	8,75
		10	7,1	7,4	8,2	8,2	5	0	0	
A	19	BW	7,2	7,7	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,5	8,5	5	0	0	
		1	7,1	7,5	8,3	8,3	5	2	40	
		2	7,2	7,5	8,3	8,3	5	1	20	3,50
		5	7,0	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		10	7,0	7,2	8,4	8,4	5	0	0	
B	5	BW	7,2	7,7	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,5	8,5	5	0	0	
		1	7,1	7,8	8,1	8,1	5	5	100	
		2	7,0	7,5	8,4	8,4	5	2	40	
		5	7,1	7,5	8,4	8,4	5	2	40	8,75
		10	7,1	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
B	19	BW	7,2	7,7	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,5	8,5	5	0	0	
		1	7,0	7,5	8,0	8,0	5	3	60	
		2	7,0	7,4	8,0	8,0	5	1	20	3,50
		5	7,1	7,5	8,4	8,4	5	0	0	
		10	7,2	7,6	8,5	8,4	5	0	0	

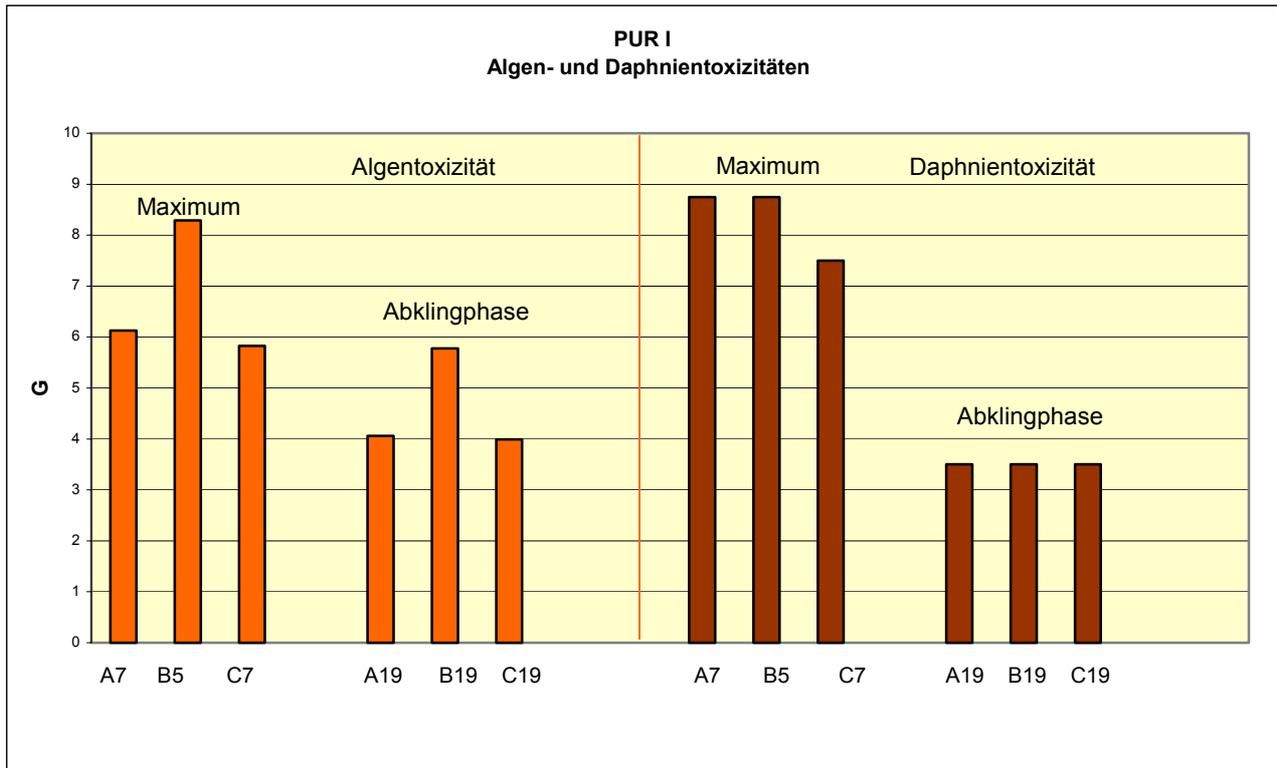
Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O2/ Anfang	mg O2/ Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmunfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	% Hemmung	GD
C	7	BW	7,2	7,7	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,5	8,5	5	0	0	
		1	7,1	7,7	7,8	7,8	5	5	100	
		2	7,1	7,5	8,2	8,2	5	3	60	
		5	7,2	7,6	8,4	8,4	5	1	20	7,50
		10	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
C	19	BW	7,2	7,7	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,5	8,5	5	0	0	
		1	7,0	7,5	8,3	8,3	5	2	40	
		2	7,2	7,7	8,4	8,4	5	1	20	3,50
		5	7,2	7,5	8,4	8,4	5	0	0	
		10	7,1	7,4	8,5	8,5	5	0	0	

Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 5c)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Diagramm Algen- und Daphnien-Toxizitätstests



Säulenversuch mit PUR I

Anlage (PUR I - 5d)

(Säulenfüllung: CEN Normsand DIN EN 196-1, Beckum)

Leuchtbakterien-Toxizitätstests der Einzelfractionen (je 2 l) mit TOC_{max} u. TOC_{ende}

Säule	Fraktion	GL-Wert
A	6	<2
	7	<2
	8	<2
	25	<2
B	4	<2
	5	<2
	6	<2
	25	<2
C	5	<2
	6	<2
	7	<2
	25	<2

Säulenversuch mit PUR I

(PUR I - 6)

Injektionskörper



Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 1)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)

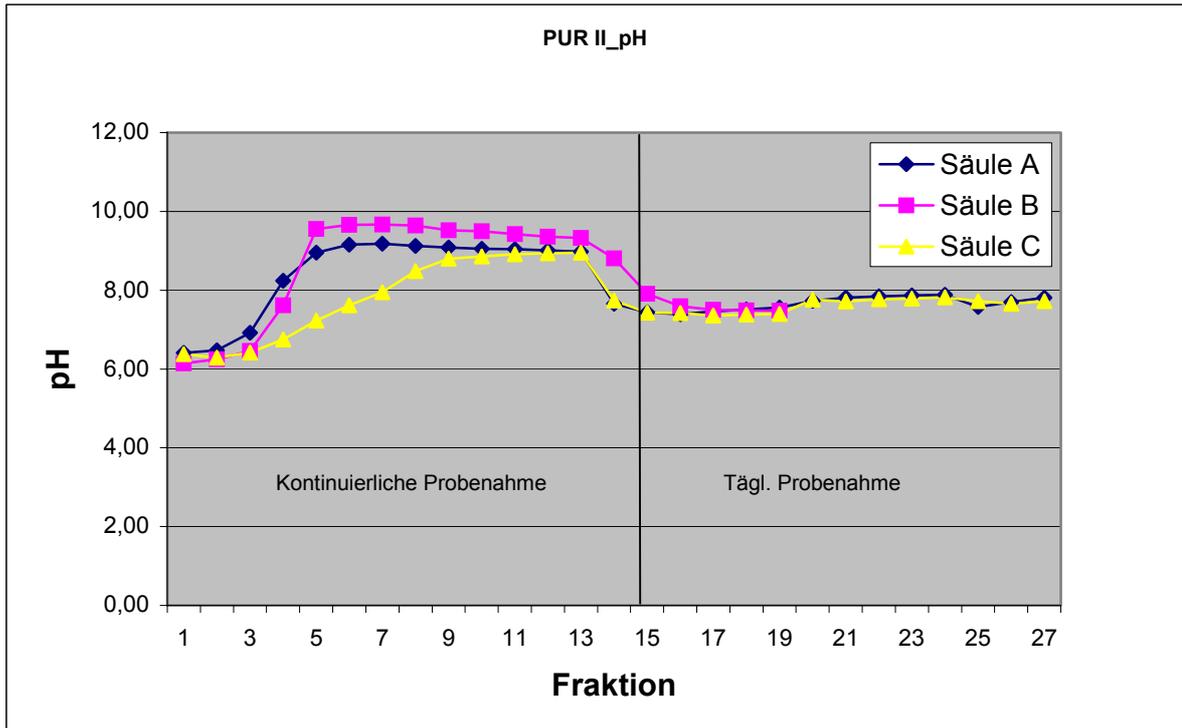
Temp. [°C]	Tag	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
20,5	1	1	6,41	6,14	6,38
		2	6,47	6,25	6,29
		3	6,92	6,46	6,42
		4	8,24	7,62	6,75
		5	8,95	9,55	7,23
		6	9,16	9,66	7,62
		7	9,18	9,67	7,95
		8	9,12	9,64	8,48
		9	9,08	9,52	8,80
		10	9,05	9,50	8,86
		11	9,04	9,42	8,91
		12	9,01	9,36	8,94
		13	8,98	9,33	8,95
		14	7,66	8,81	7,74
		15	7,44	7,91	7,43
	2	16	7,39	7,59	7,42
		17	7,46	7,50	7,36
	3	18	7,51	7,49	7,38
		19	7,56	7,48	7,40
	4	20	7,73		7,76
		21	7,81		7,71
	5	22	7,84		7,77
		23	7,87		7,79
	6	24	7,88		7,82
		25	7,58		7,72
	7	26	7,70		7,66
		27	7,81		7,72

Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 1a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 2)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Elektrische Leitfähigkeits-Werte [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfractionen (je 2 l)

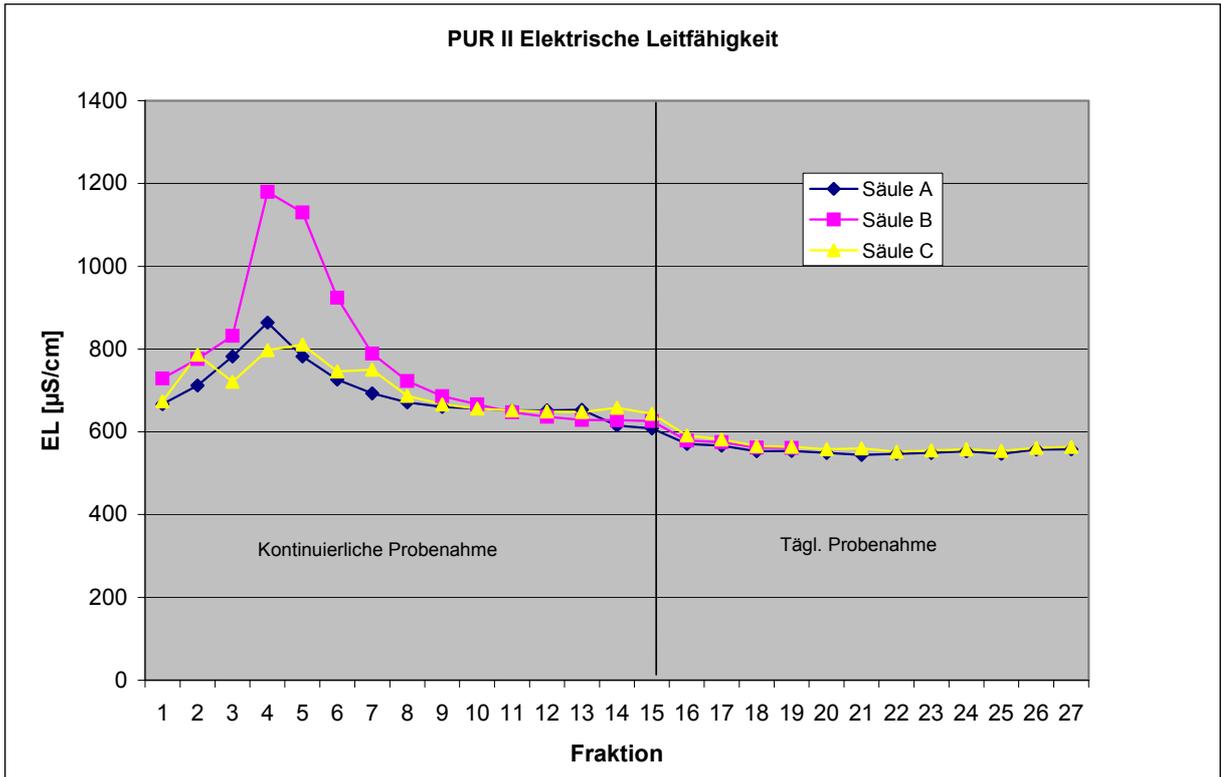
Temp.	Tag	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
20,5	1	1	667	729	674
		2	712	776	786
		3	782	832	721
		4	864	1180	797
		5	782	1130	811
		6	726	924	746
		7	693	789	750
		8	671	723	687
		9	660	686	666
		10	656	666	656
		11	652	647	652
		12	652	636	649
		13	653	629	648
		14	615	628	658
		15	608	626	644
	2	16	571	579	591
		17	567	575	582
	3	18	553	562	565
		19	554	561	564
	4	20	549		558
		21	544		560
	5	22	547		552
		23	549		555
	6	24	553		558
		25	547		554
	7	26	557		561
		27	558		563

Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 2a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Elektrische Leitfähigkeits-Werte [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 3)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

TOC-Werte [mg/l] der Einzelfraktionen (je 2 l)

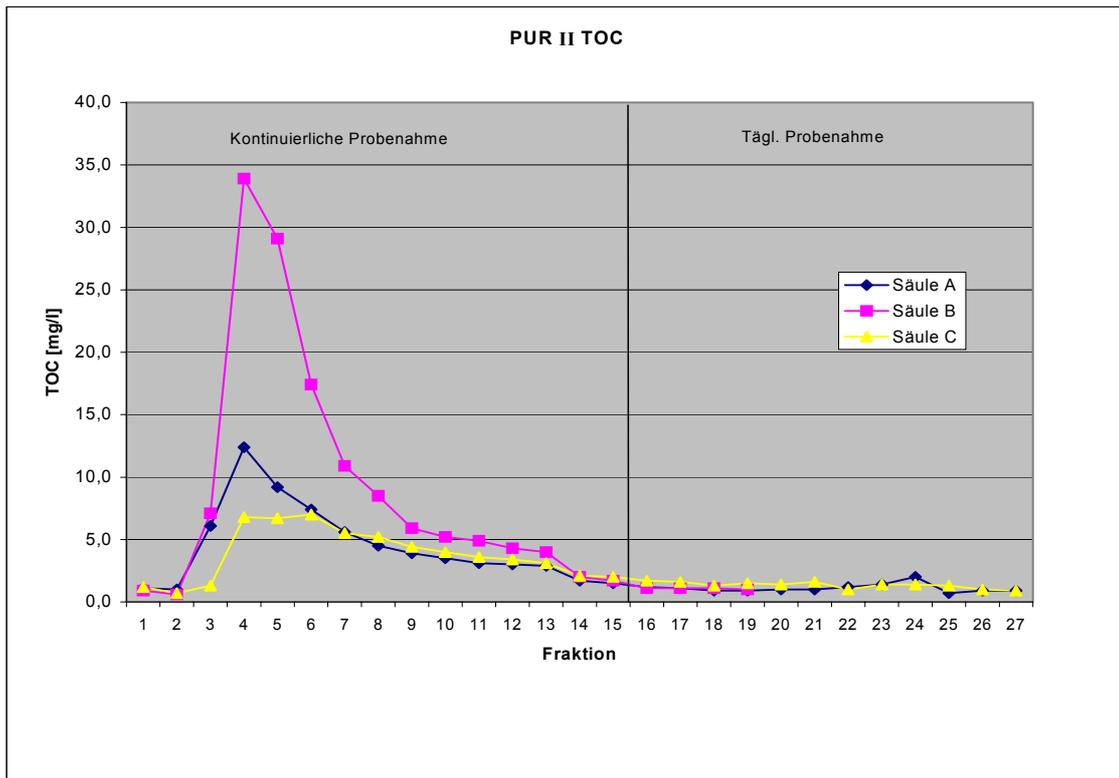
Temp.	Tag	Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
20,5	1	1	1,1	0,9	1,2
		2	1,0	0,6	0,7
		3	6,1	7,1	1,3
		4	12,4	33,9	6,8
		5	9,2	29,1	6,7
		6	7,4	17,4	7,0
		7	5,6	10,9	5,5
		8	4,5	8,5	5,2
		9	3,9	5,9	4,4
		10	3,5	5,2	4,0
		11	3,1	4,9	3,6
		12	3,0	4,3	3,4
		13	2,9	4,0	3,1
		14	1,7	2,0	2,1
		15	1,5	1,7	2,0
	2	16	1,2	1,1	1,7
		17	1,1	1,1	1,6
	3	18	0,9	1,1	1,3
		19	0,9	1,0	1,5
	4	20	1,0		1,4
		21	1,0		1,6
	5	22	1,2		1,0
		23	1,4		1,4
	6	24	2,0		1,4
		25	0,7		1,3
	7	26	0,9		1,0
		27	0,9		0,9

Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 3a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

TOC-Werte der [mg/l] Einzelfraktionen (je 2 l)



Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 3b)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

TOC-Gesamtabgabe [mg] - während der ersten 7,5 Stunden

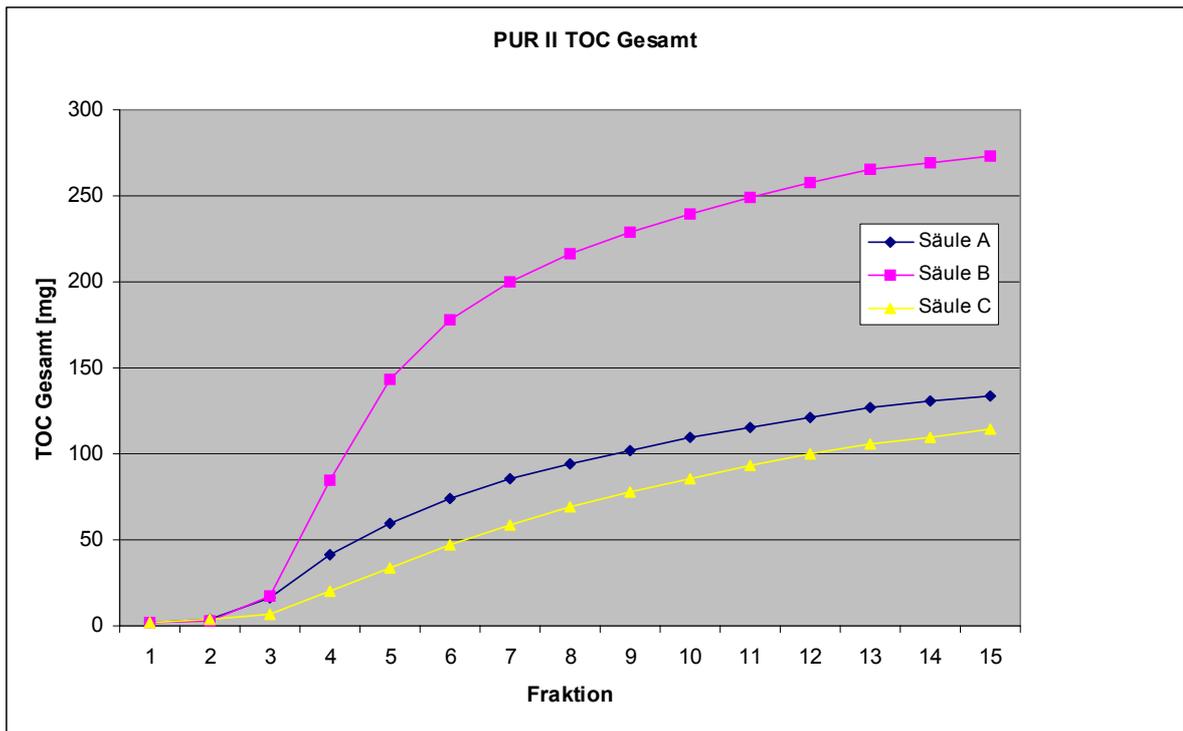
Fraktion	Säule A	Säule B	Säule C
1	2,2	1,8	2,4
2	4,2	3,0	3,8
3	16,4	17,2	6,4
4	41,2	85,0	20
5	59,6	143,2	33,4
6	74,4	178,0	47,4
7	85,6	199,8	58,4
8	94,6	216,8	68,8
9	102,4	228,6	77,6
10	109,4	239,0	85,6
11	115,6	248,8	92,8
12	121,6	257,4	99,6
13	127,4	265,4	105,8
14	130,8	269,4	110
15	133,8	272,8	114

Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 3c)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

TOC-Gesamtabgabe [mg] (erste 7,5 Stunden)



Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 4)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Siliciumdioxidgehalt [mg/l]
in Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max u. ende}

Tag	Fraktion	Parameter	Säule A	Säule B	Säule C
			(A3 bis A10, A27)	(B4 bis B9, B19)	(C4 bis C14, C26)
1	3	SiO ₂ [mg/l]	34,4		
	4		58,3	133,0	22,8
	5		45,1	145,0	20,5
	6		34,6	95,2	17,6
	7		27,4	63,3	
	8		23,5	46,5	
	9		16,3	34,7	15,8
	10		19,2		15,7
	11				11,5
	12				11,2
	13				10,7
7			2,4	3,4	5,3

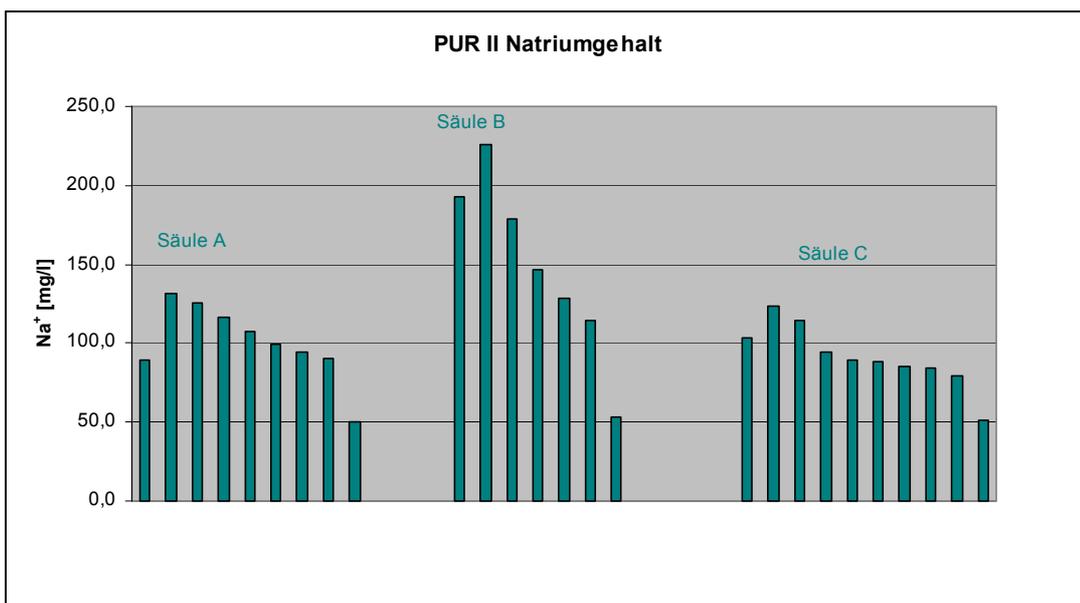
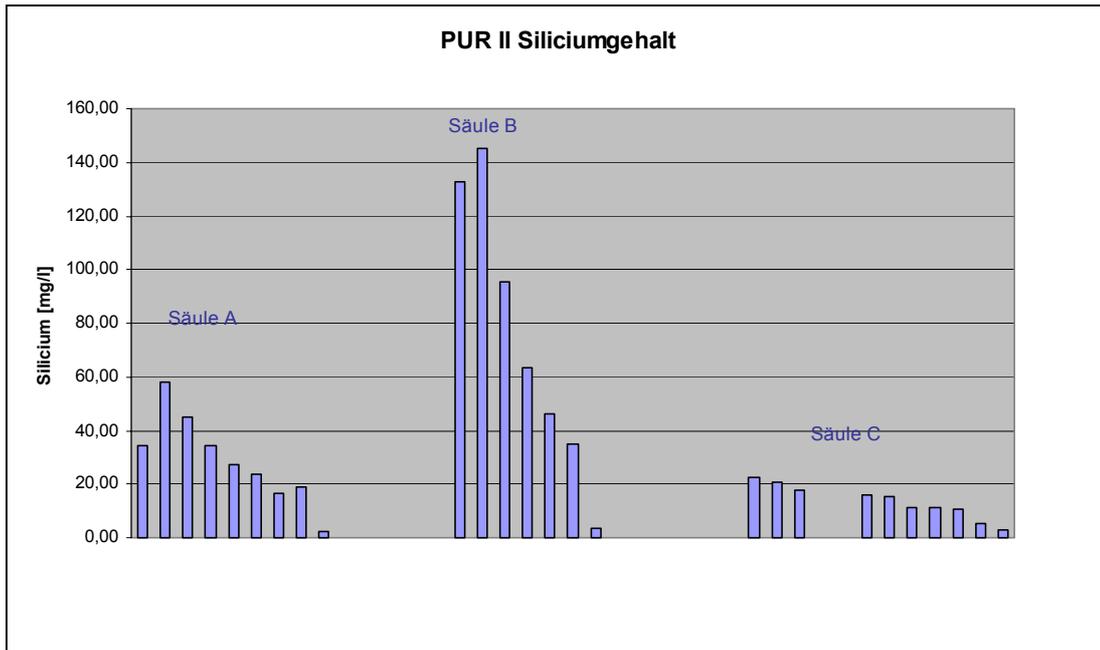
1	3	Natrium [mg/l]	88,9		
	4		132,0	193,000	103,0
	5		126,0	226,000	123,0
	6		116,0	179,000	114,0
	7		107,0	147,000	94,8
	8		99,2	129,000	89,7
	9		94,0	114,000	88,4
	10		90,8		85,6
	11				84,5
	12				79,6
	13				
7			50,6	53,5	51,0

Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 4)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Silicium- und Natriumgehalt [mg/l]
in Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. ende



Säulenversuch mit PUR II

(PUR II – 5a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Algen-Wachstumshemmtests d. Einfeldfraktionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser (2cm)				% Hemmung (nach 72 Std.)	GA
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
A	4	BW	7,1	10,4	0,030	0,095	0,790	1,320	0,0	
		1	6,9	9,2	0,045	0,090	0,630	0,940	28,8	1,4
		2	7,0	9,8	0,040	0,050	0,720	1,210	8,3	
		5	7,1	10,3	0,025	0,080	0,780	1,300	1,5	
A	5	BW	7,1	10,4	0,030	0,095	0,790	1,320	0,0	
		1	6,9	9,5	0,025	0,040	0,370	0,540	59,1	1,8
		2	6,9	9,9	0,030	0,065	0,730	1,200	9,1	
		5	7,2	10,0	0,025	0,080	0,820	1,290	2,3	
A	6	BW	7,1	10,4	0,030	0,095	0,790	1,320	0,0	
		1	7,0	9,5	0,030	0,050	0,630	0,950	28,0	2,1
		2	7,0	9,6	0,030	0,095	0,690	1,050	20,5	
		5	7,0	10,4	0,030	0,095	0,740	1,320	0,0	
A	24	BW	7,1	10,4	0,030	0,095	0,790	1,320	0,0	
		1	7,2	9,9	0,030	0,085	0,730	1,300	1,5	
		2	7,0	10,3	0,025	0,095	0,780	1,320	0,0	
		5							100,0	

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser (2cm)				% Hemmung (nach 72 Std.)	GA
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
B	4	BW	7,0	10,5	0,065	0,200	0,740	1,350	-2,3	
		1	7,2	9,2	0,600	0,170	0,240	0,770	41,7	1,9
		2	7,2	9,4	0,060	0,205	0,510	1,100	16,7	
		5	7,1	9,9	0,055	0,230	0,700	1,300	1,5	
B	5	BW	7,0	10,5	0,065	0,200	0,740	1,350	-2,3	
		1	7,2	9,1	0,055	0,190	0,470	0,610	53,8	
		2	7,1	9,2	0,060	0,320	0,580	0,950	28,0	1,8
		5	7,1	10,4	0,060	0,340	0,800	1,360	-3,0	
B	6	BW	7,0	10,5	0,065	0,200	0,740	1,350	-2,3	
		1	7,2	9,2	0,060	0,170	0,590	0,920	30,3	1,4
		2	6,9	9,4	0,065	0,250	0,840	1,270	3,8	
		5	6,9	10,4	0,065	0,320	1,000	1,470	-11,4	
B	19	BW	7,0	10,5	0,065	0,200	0,740	1,350	-2,3	
		1	7,0	10,3	0,060	0,195	0,940	1,310	0,8	
		2	7,0	10,3	0,060	0,260	1,000	1,410	-6,8	
C	4	BW	7,0	10,5	0,065	0,200	0,740	1,350	-2,3	
		1	7,2	9,9	0,065	0,235	0,890	1,270	3,8	
		2	7,1	10,1	0,065	0,270	0,930	1,340	-1,5	
		5	7,2	10,4	0,060	0,350	0,980	1,360	-3,0	
C	5	BW	7,0	10,5	0,065	0,200	0,740	1,350	-2,3	
		1	7,2	9,9	0,060	0,300	0,970	1,380	-4,5	
		2	7,1	9,9	0,065	0,370	0,990	1,400	-6,1	
		5	7,0	10,3	0,060	0,410	1,100	1,410	-6,8	
C	6	BW	7,0	10,5	0,065	0,200	0,740	1,350	-2,3	
		1	7,2	9,7	0,060	0,210	0,750	1,390	-5,3	
		2	7,0	9,8	0,060	0,220	0,840	1,410	-6,8	
		5	7,0	10,1	0,060	0,310	0,930	1,430	-8,3	
C	24	BW	7	10,5	0,065	0,200	0,740	1,350	-2,3	
		1	7,0	10,4	0,060	0,240	0,770	1,340	-1,5	
		2	7,1	10,7	0,060	0,310	0,820	1,400	-6,1	

Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 5b)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Daphnien-Toxizitätstests der Einzelfractionen (je 2 l) um TOC_{max} u. TOC_{ende}

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O2/l Anfang	mg O2/l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmunfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	% Hemmung	GD
A	4	BW	7,1	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,5	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,1	7,4	8,4	8,4	5	2	40	
		2	7,1	7,3	8,4	8,4	5	1	20	3,50
		5	7,0	7,3	8,6	8,6	5	0	0	
A	5	BW	7,1	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,5	8,3	8,3	5	0	0	
		1	6,9	7,2	8,4	8,4	5	1	20	
		2	7,2	7,4	8,6	8,6	5	1	20	3,50
		5	7,0	7,3	8,6	8,6	5	0	0	
A	6	BW	7,1	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,5	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,1	7,3	8,5	8,5	5	1	20	1,50
		2	7,0	7,2	8,6	8,6	5	0	0	
		5	7,0	7,1	8,7	8,7	5	0	0	
A	24	BW	7,1	7,4	8,3	8,3	5	0	0	
		BW	7,1	7,5	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,0	7,2	8,6	8,6	5	0	0	
		2	6,9	7,0	8,6	8,6	5	0	0	0,00
		5								

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O2/l Anfang	mg O2/l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmunfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	% Hemmung	GD
B		4BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,1	7,4	8,0	8,0	5	5	100	
		2	7,0	7,2	8,2	8,2	5	3	60	4,50
		5	7,0	7,2	8,2	8,2	5	0	0	
B		5BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,2	7,6	8,2	8,2	5	3	60	
		2	7,0	7,3	8,4	8,4	5	1	20	3,50
		5	6,9	7,2	8,5	8,5	5	0	0	
B		6BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,1	7,3	8,4	8,4	5	2	40	1,75
		2	7,0	7,3	8,4	8,4	5	0	0	
		5	7,0	7,2	8,6	8,6	5	0	0	
B		19BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,0	7,2	8,6	8,6	5	0	0	
		2	7,1	7,1	8,6	8,6	5	0	0	0,00
		5								

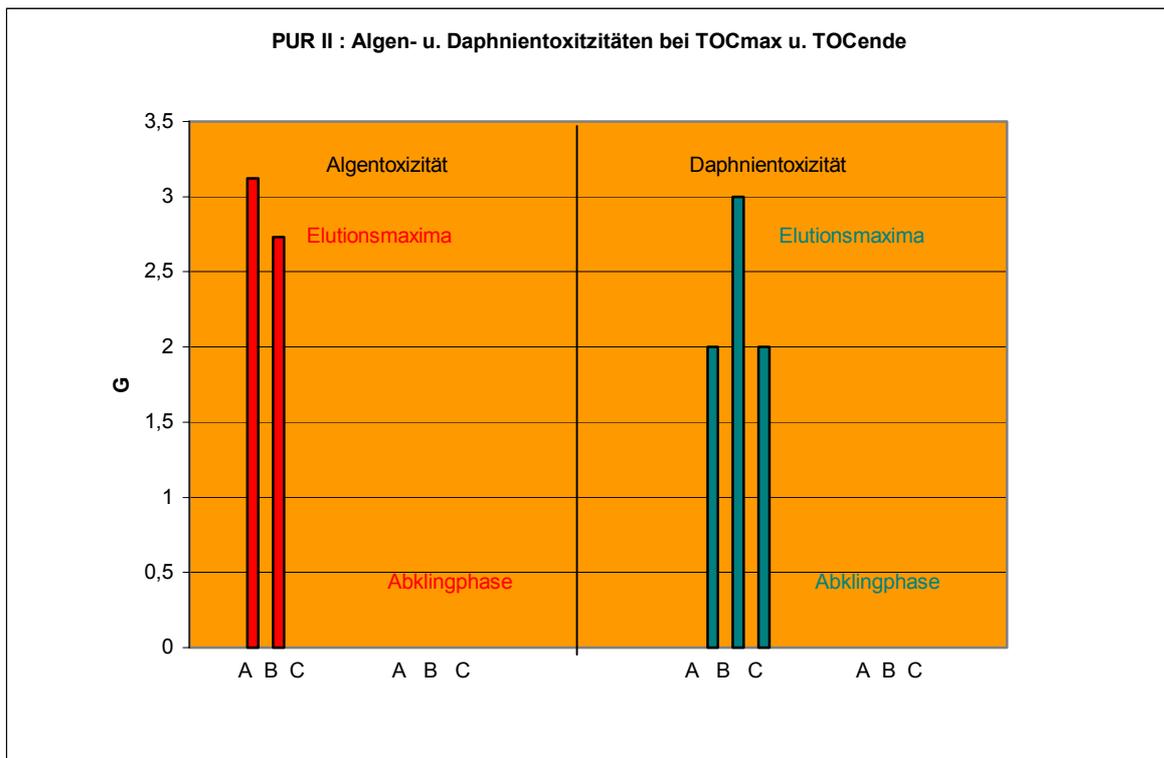
Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O2/l Anfang	mg O2/l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmunfähiger Daphnien/ 20 ml Testlösung	% Hemmung	GD
C		4BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,3	8,3	5	0	0	
		1	6,9	7,4	8,0	8,0	5	3	60	
		2	7,2	7,4	8,1	8,1	5	1	20	3,50
		5	7,1	7,3	8,3	8,3	5	0	0	
C		5BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,1	7,4	8,2	8,2	5	2	40	
		2	7,1	7,4	8,3	8,3	5	1	20	3,50
		5	7,0	7,2	8,4	8,4	5	0	0	
C		6BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,1	7,3	8,4	8,4	5	1	20	1,50
		2	7,0	7,1	8,6	8,6	5	0	0	
		5	7,0	7,2	8,6	8,6	5	0	0	
C		24BW	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,2	7,5	8,3	8,3	5	0	0	
		1	7,0	7,2	8,6	8,6	5	0	0	
		2	6,3	7,0	8,6	8,6	5	0	0	0,00
		5								

Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 5c)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Diagramm Algen- und Daphnien-Toxizitätstests



Säulenversuch mit PUR II

(PUR II - 5d)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Leuchtbakterien-Toxizitätstests der Einzelfractionen (je 2 l) mit TOC_{max}

Säule	Fraktion	GL-Wert
A	4	<2
	5	<2
	6	<2
	24	<2
B	4	<2
	5	4
	6	<2
	19	<2
C	4	<2
	5	<2
	6	<2
	24	<2

(PUR II - 6)

Injektionskörper



Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 1)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)

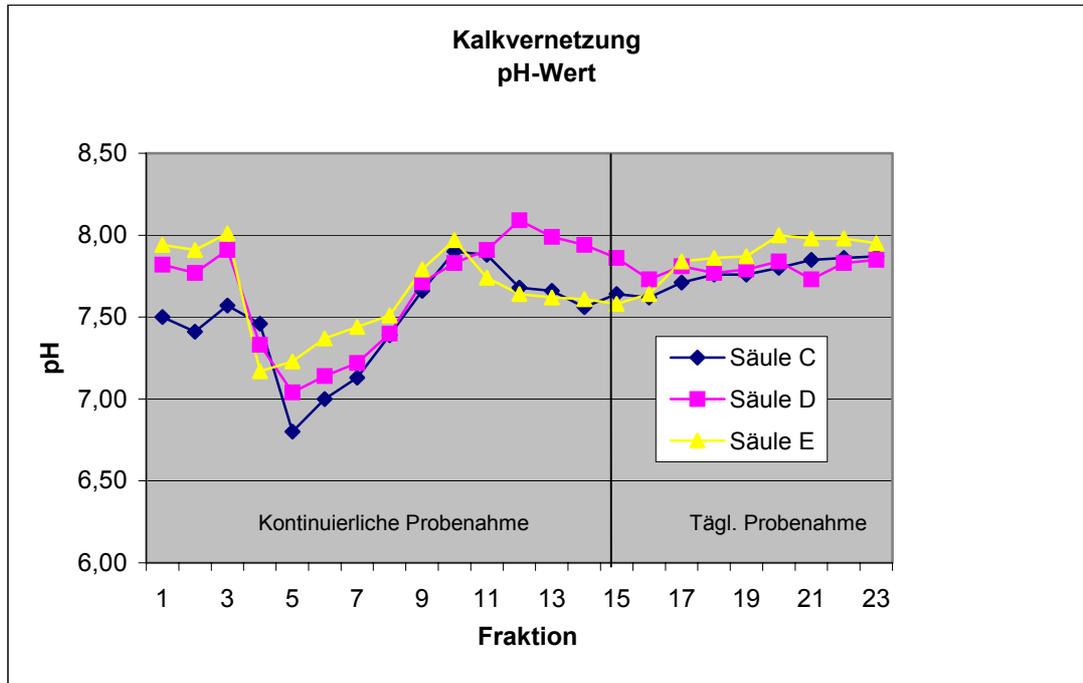
Temp. [°C]	Tag	Fraktion	Säule C	Säule D	Säule E
15,7	1	1	7,50	7,82	7,94
		2	7,41	7,77	7,91
		3	7,57	7,91	8,01
		4	7,46	7,33	7,17
		5	6,80	7,04	7,23
		6	7,00	7,14	7,37
		7	7,13	7,22	7,44
		8	7,39	7,40	7,51
		9	7,66	7,71	7,79
		10	7,90	7,83	7,97
		11	7,88	7,91	7,74
		12	7,68	8,09	7,64
		13	7,66	7,99	7,62
		14	7,56	7,94	7,61
		15	7,64	7,86	7,58
	2	16	7,62	7,73	7,64
		17	7,71	7,81	7,84
	3	18	7,76	7,77	7,86
		19	7,76	7,79	7,87
	4	20	7,80	7,84	8,00
		21	7,85	7,73	7,98
	5	22	7,86	7,83	7,98
		23	7,87	7,85	7,95

Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 1a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

pH-Werte der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 2)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Elektrische Leitfähigkeits-Werte [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfractionen (je 2 l)

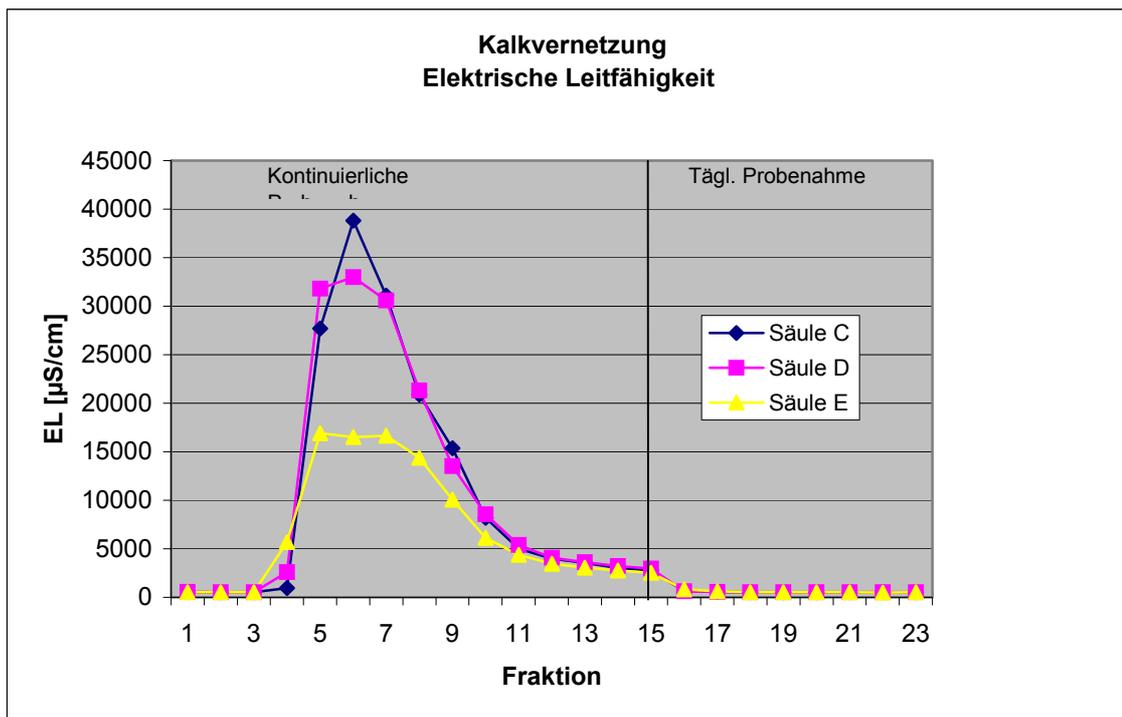
Temp.	Tag	Fraktion	Säule C	Säule D	Säule E
15,7	1	1	537	543	526
		2	527	531	524
		3	527	532	534
		4	955	2610	5680
		5	27700	31800	16910
		6	38800	33000	16510
		7	31100	30600	16650
		8	20900	21300	14380
		9	15360	13510	10060
		10	8180	8550	6120
		11	4990	5400	4390
		12	3990	4080	3450
		13	3540	3630	3060
		14	3040	3230	2760
		15	2750	2950	2520
	2	16	661	612	809
		17	544	544	624
	3	18	523	527	517
		19	524	530	524
	4	20	514	521	510
		21	516	524	513
	5	22	513	519	509
		23	515	519	510

Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 2a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Elektrische Leitfähigkeits-Werte [$\mu\text{S}/\text{cm}$] der Einzelfractionen (je 2 l)



Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 3)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

TOC-Werte [mg/l] : 1. Der Einzelfractionen (je 2 l)
2. Bezogen auf 1 dm² Oberfläche d. Inj.körpers

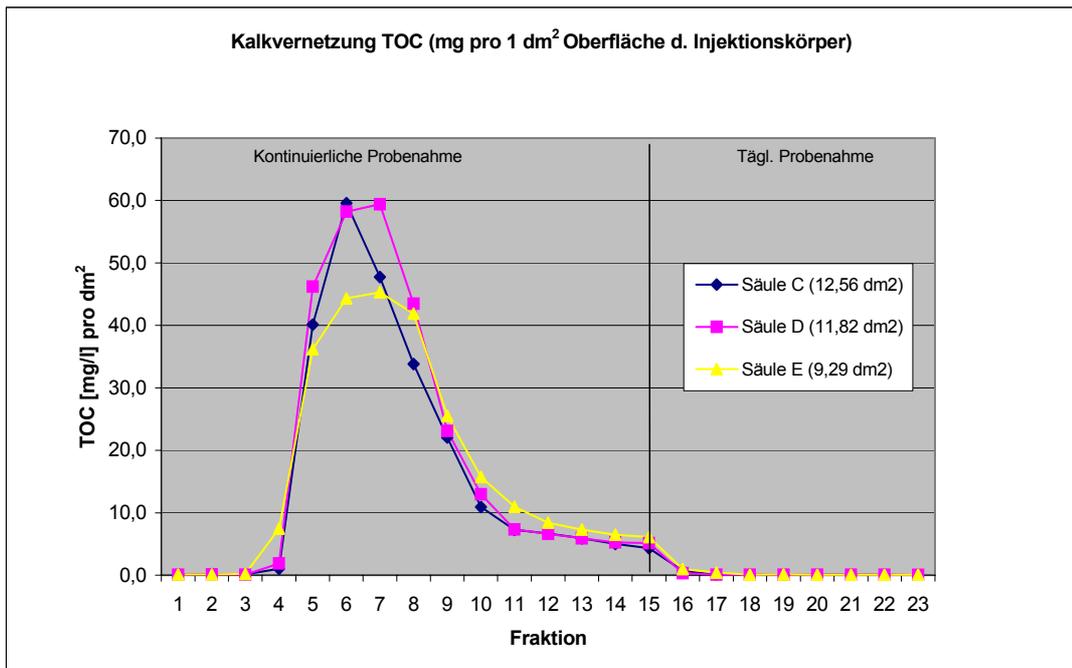
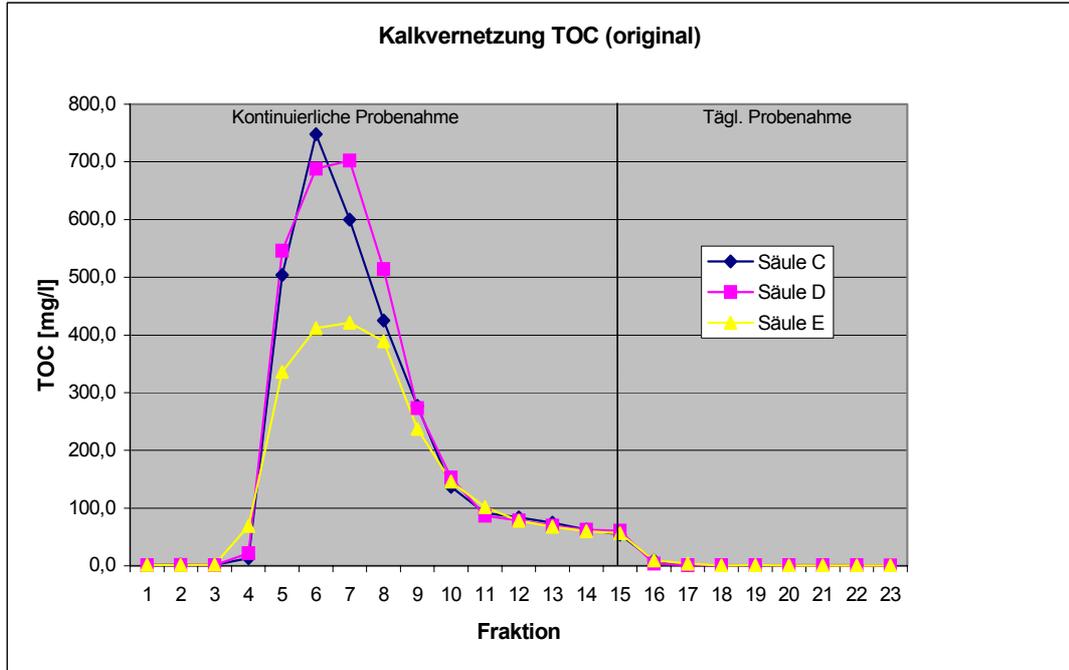
Temp. [°C]	Tag	Fraktion	Säule C		Säule D		Säule E	
				pro (dm ²)		pro (dm ²)		pro (dm ²)
15,7	1	1	1,4	0,1	1,2	0,1	1,3	0,1
		2	1,8	0,1	1,4	0,1	1,3	0,1
		3	1,6	0,1	1,2	0,1	1,8	0,2
		4	13,0	1,0	22,0	1,9	69,1	7,4
		5	504,0	40,1	546,0	46,2	336,0	36,2
		6	748,0	59,6	688,0	58,2	412,0	44,3
		7	600,0	47,8	702,0	59,4	421,0	45,3
		8	425,0	33,8	514,0	43,5	389,0	41,9
		9	277,0	22,1	273,0	23,1	237,0	25,5
		10	137,0	10,9	153,0	12,9	146,0	15,7
		11	91,3	7,3	86,7	7,3	102,0	11,0
		12	83,7	6,7	78,2	6,6	77,9	8,4
		13	74,3	5,9	69,8	5,9	67,8	7,3
		14	62,7	5,0	62,2	5,3	60,1	6,5
		15	54,2	4,3	60,7	5,1	56,7	6,1
	2	16	9,4	0,7	4,0	0,3	9,2	1,0
		17	1,1	0,1	1,1	0,1	3,8	0,4
	3	18	0,8	0,1	1,0	0,1	0,7	0,1
		19	0,7	0,1	0,9	0,1	1,2	0,1
	4	20	0,9	0,1	1,2	0,1	0,6	0,1
		21	0,8	0,1	0,8	0,1	0,7	0,1
	5	22	0,8	0,1	1,0	0,1	0,7	0,1
		23	0,7	0,1	0,7	0,1	0,6	0,1

Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 3a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

TOC-Werte [mg/l] : 1. Der Einzelfractionen (je 2 l)
2. Bezogen auf 1 dm² Oberfläche d. Inj.körpers



Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 3b)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

TOC-Gesamtabgabe [mg] - erste 7½ Stunden

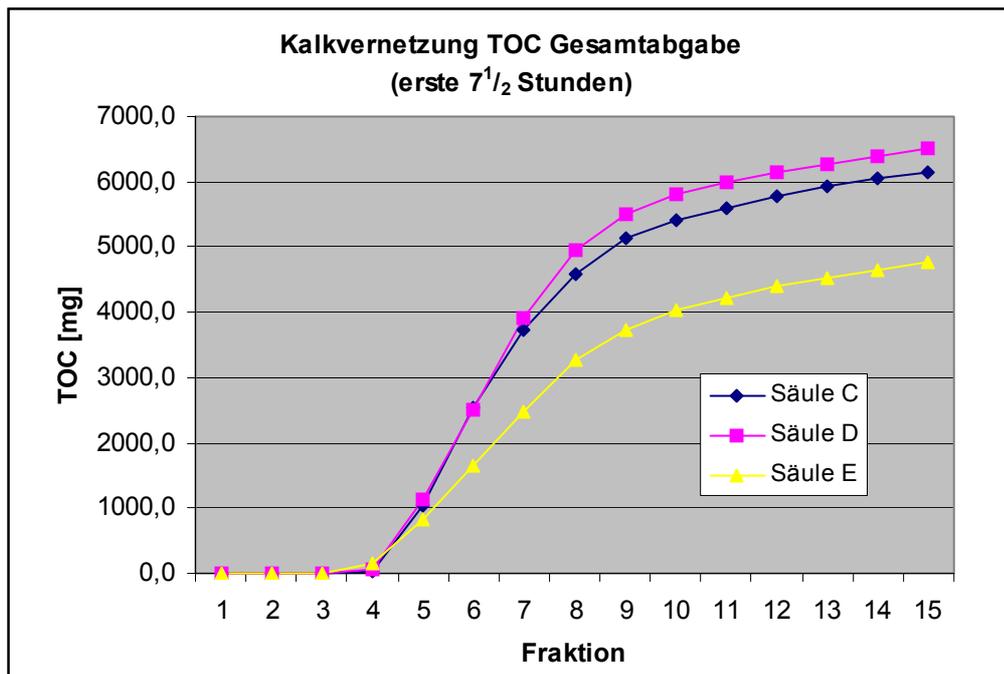
Fraktion	Säule C	Säule D	Säule E
1	2,8	2,4	2,6
2	6,4	5,2	5,2
3	9,6	7,6	8,8
4	35,6	51,6	147,0
5	1043,6	1143,6	819,0
6	2539,6	2519,6	1643,0
7	3739,6	3923,6	2485,0
8	4589,6	4951,6	3263,0
9	5143,6	5497,6	3737,0
10	5417,6	5803,6	4029,0
11	5600,2	5977,0	4233,0
12	5767,6	6133,4	4388,8
13	5916,2	6273,0	4524,4
14	6041,6	6397,4	4644,6
15	6150,0	6518,8	4758,0

Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 3c)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

TOC-Gesamtabgabe [mg] - (erste 7½ Stunden)



Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 4)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Calcium-, Chlorid- und Ammonium-Konzentrationen der Einzelfractionen (je 2 l) in mg/l
--

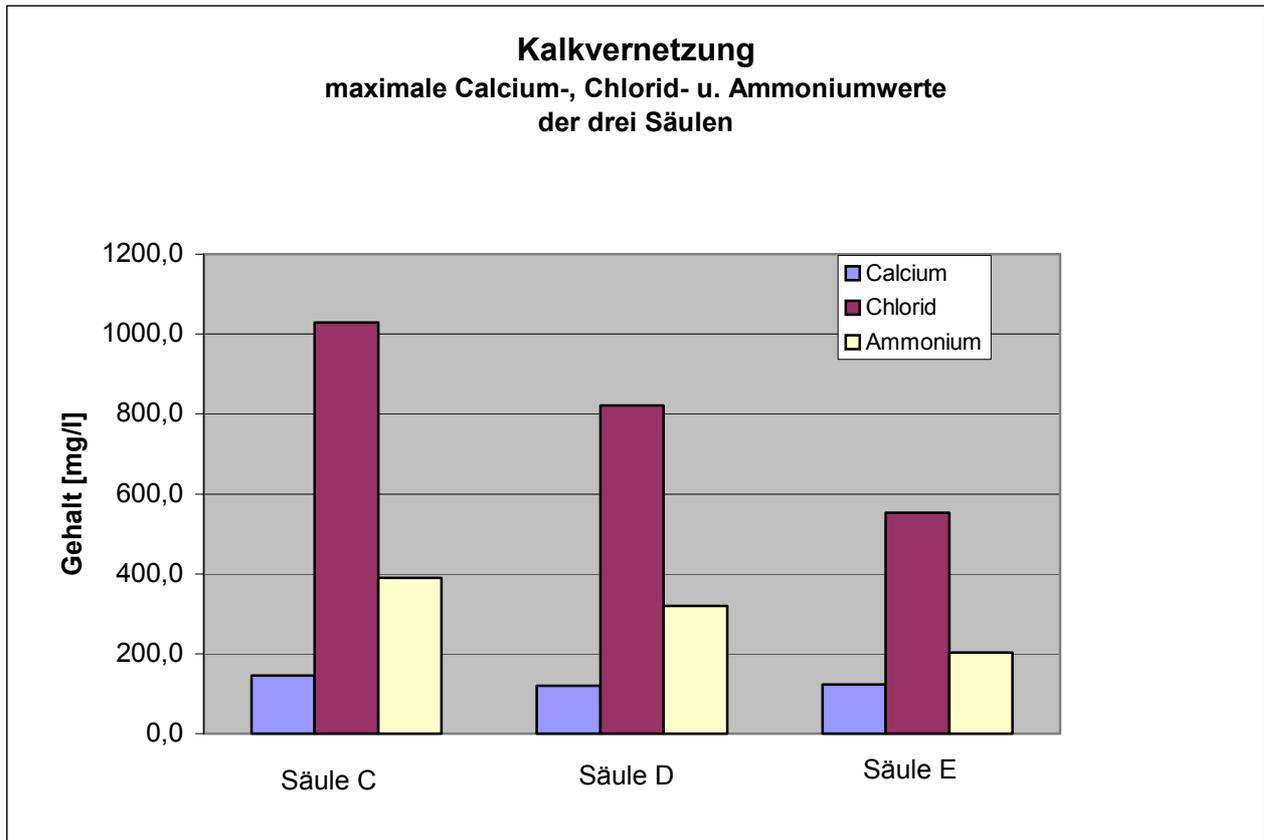
Fraktion	Calcium [mg/l]			Chlorid [mg/l]			Ammonium [mg/l]		
	C	D	E	C	D	E	C	D	E
1	47,0			64,0			0,6		
2	46,0			61,0			0,2		
3	46,0			62,0			0,1		
4	102,0			189,0			3,1		
5	1820,0			7294,0			2851,0		
6	1500,0			12918,0			4892,0		
7	1118,0	1412,0	1147,0	10132,0	9699,0	5129,0	4000,0	3773,0	1886,0
8	783,0			6481,0			2653,0		
9	550,0			4530,0			1926,0		
10	300,0			2271,0			983,0		
11	228,0			1294,0			561,0		
12	204,0			1023,0			410,0		
13	191,0			858,0			344,0		
14	180,0			740,0			282,0		
15	171,0			675,0			239,0		
16	56,0			97,0			12,5		
17	47,0			64,0			2,0		
18	45,0			59,0			1,0		
19	44,0			58,0			1,0		
20	44,0			57,0			1,0		
21	44,0			57,0			1,0		
22	44,0			57,0			1,0		
23	44,0	44,0	43,0	56,0	54,0	58,0	1,3	0,57	0,23

Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 4a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Maximale Ca^{2+} -, Cl^- - und NH_4^+ - Werte [mg/l] der drei Versuche, umgerechnet auf 1 dm^2 Oberfläche des jeweiligen Injektionskörpers

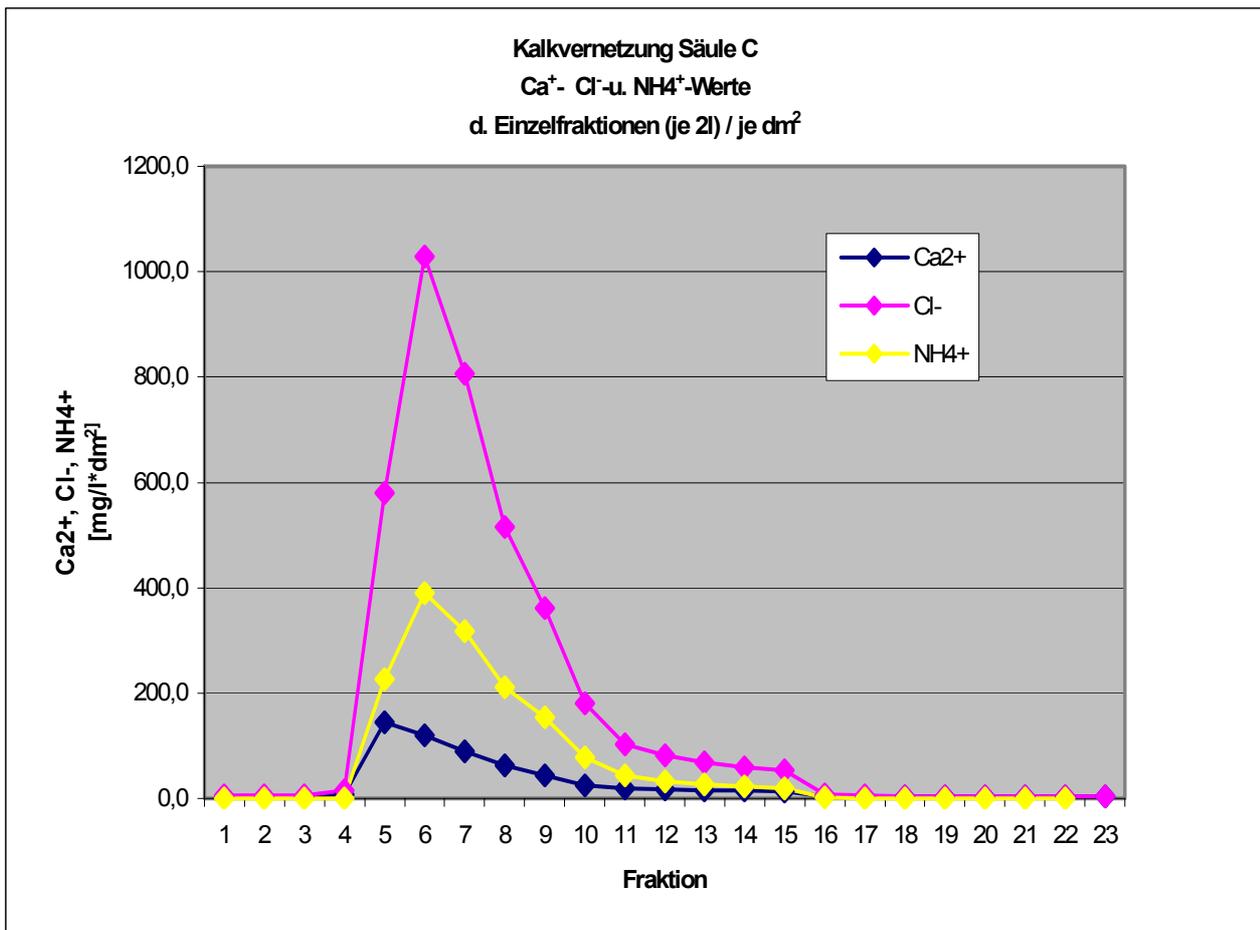


Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 4b)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Elutionsverhalten von Ca^{2+} -, Cl^- - und NH_4^+ -Werte [mg/l]
(Säule C, Werte pro 1 dm^2 Injektionskörper)



Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 5a)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Algen-Wachstumshemmtests der Einzelfractionen (je 2 l) mit TOC_{max}

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser				% Hemmung (nach 72 Std.)	G _A
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
C	6	BW	7,1	11,7	0,025	0,065	0,430	1,220	0	
		1	7,0	8,4	0,025	0,030	0,030	0,030	98	
		2	7,1	8,7	0,025	0,045	0,050	0,075	94	
		5	7,1	9,4	0,025	0,045	0,070	0,120	90	
		10	7,2	10,2	0,020	0,055	0,320	0,870	29	22,85
		50	7,0	10,9	0,020	0,055	0,400	1,200	2	
C	23	BW	7,1	11,7	0,025	0,065	0,430	1,220	0	
		1	7,2	8,7	0,025	0,035	0,045	0,045	96	
		2	7,1	9,3	0,025	0,050	0,090	0,120	90	
		5	7,0	9,7	0,025	0,050	0,130	0,470	61	8,51
		10	7,1	10,7	0,025	0,060	0,380	1,190	2	
		50	7,1	11,9	0,025	0,065	0,480	1,270	-4	
D	7	BW	7,1	11,7	0,025	0,065	0,430	1,220	0	
		1	7,1	8,4	0,020	0,025	0,035	0,045	96	
		2	7,2	8,7	0,020	0,030	0,035	0,050	96	
		5	7,0	10,3	0,020	0,045	0,120	0,370	70	
		10	6,9	10,5	0,020	0,045	0,210	0,480	61	
		50	7,2	11,0	0,020	0,050	0,310	0,840	31	68,89
		100	7,1	11,4	0,020	0,055	0,410	1,200	2	
D	23	BW	7,1	11,7	0,025	0,065	0,430	1,220	0	
		1	6,9	8,9	0,025	0,030	0,055	0,070	94	
		2	7,1	9,3	0,025	0,045	0,130	0,270	78	
		5	7,2	9,7	0,025	0,050	0,270	0,480	61	8,49
		10	7,0	10,9	0,020	0,050	0,380	1,190	2	
		50	7,1	12,1	0,020	0,070	0,510	1,290	-6	

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	578 nm gegen Verdünnungswasser				% Hemmung (nach 72 Std.)	G _A
					nach 0 Std.	nach 24 Std.	nach 48 Std.	nach 72 Std.		
E	7	BW	7,1	11,7	0,025	0,065	0,430	1,220	0	
		1	7,2	8,9	0,025	0,040	0,045	0,065	95	
		2	6,9	9,4	0,025	0,045	0,120	0,230	81	
		5	7,0	10,3	0,025	0,045	0,270	0,480	61	
		10	7,2	10,9	0,025	0,050	0,370	0,690	43	32,43
		50	7,1	11,5	0,020	0,060	0,400	1,200	2	
E	23	BW	7,1	11,7	0,025	0,065	0,430	1,220	0	
		1	7,0	9,7	0,025	0,045	0,080	0,130	89	
		2	7,1	10,2	0,025	0,045	0,150	0,270	78	4,33
		5	7,2	11,3	0,020	0,055	0,370	1,180	3	
		10	7,0	11,6	0,020	0,060	0,420	1,210	1	
		50	7,0	12,2	0,020	0,075	0,510	1,300	-7	

Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 5b)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Daphnien-Toxizitätstests der Einzelfraktionen (je 1 l) mit TOC_{max}

Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O ² /l Anfang	mg O ² /l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmunfähiger Daphnien/20 ml Testlösung	% Hemmung	G _D
C	6	BW	7,1	7,5	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,1	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	7,0	7,7	7,9	7,9	5	5	100	
		2	7,2	7,5	8,3	8,3	5	5	100	
		5	7,1	7,4	8,5	8,5	5	2	40	
		10	7,1	7,3	8,5	8,5	5	1	20	30,00
		50	7,0	7,4	8,5	8,5	5	0	0	
C	23	BW	7,1	7,5	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,1	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	7,2	7,8	8,1	8,1	5	5	100	
		2	7,0	7,7	8,4	8,4	5	3	60	
		5	7,0	7,4	8,6	8,6	5	1	20	7,50
		10	7,1	7,4	8,6	8,6	5	0	0	
		50	7,2	7,4	8,6	8,6	5	0	0	

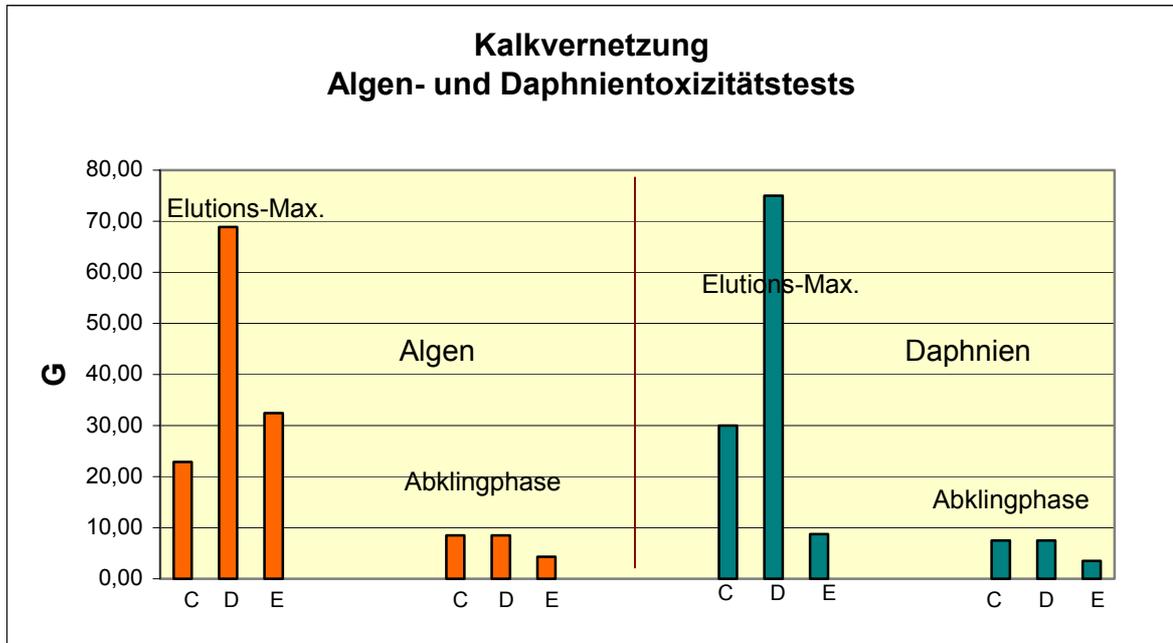
Säule	Fraktion	Verdünnung	pH Anfang	pH Ende	mg O ² /l Anfang	mg O ² /l Ende	Anzahl eingesetzter Daphnien/ 20 ml Testlösung	Anteil schwimmunfähiger Daphnien/20 ml Testlösung	% Hemmung	G _D
D	7	BW	7,1	7,5	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,1	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	7,0	7,7	8,1	8,1	5	5	100	
		2	7,2	7,8	8,3	8,3	5	5	100	
		5	6,9	7,3	8,3	8,3	5	5	100	
		10	6,9	7,1	8,5	8,5	5	3	60	
		50	7,1	7,4	8,5	8,5	5	1	20	75,00
		100	7	7,4	8,5	8,5	5	0	0	
D	23	BW	7,1	7,5	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,1	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	7,0	7,8	8,3	8,3	5	5	100	
		2	7,1	7,7	8,4	8,4	5	2	40	
		5	7,0	7,6	8,4	8,4	5	1	20	7,50
		10	6,9	7,4	8,6	8,6	5	0	0	
		50	7,2	7,6	8,6	8,6	5	0	0	
E	7	BW	7,1	7,5	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,1	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	7,0	7,8	8,1	8,1	5	5	100	
		2	6,9	7,5	8,1	8,1	5	4	80	
		5	7,2	7,7	8,4	8,4	5	2	40	8,75
		10	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		50	7,0	7,3	8,6	8,6	5	0	0	
E	23	BW	7,1	7,5	8,4	8,4	5	0	0	
		BW	7,1	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		1	6,9	7,5	8,3	8,3	5	2	40	
		2	7,1	7,4	8,4	8,4	5	1	20	3,50
		5	7,0	7,4	8,4	8,4	5	0	0	
		10	7,2	7,4	8,6	8,6	5	0	0	
		50	6,9	7,2	8,7	8,7	5	0	0	

Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 5c)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Algen-Daphnien-Toxizitätstests der Einzelfractionen (je 1 l) mit TOC_{max}



Säulenversuch mit Kalk-Vernetzung

Anlage (KALK 5d)

(Säulenfüllung: Quarzsand Haltern H 32)

Leuchtbakterien-Toxizitätstests der Einzelfractionen (je 1 l) mit TOC_{max}

Säule	Fraktion	G _L -Wert
C	6	6
	23	6
D	7	8
	23	<2
E	7	6
	23	<2

Injektionskörper



<h1 style="margin: 0;">Hy</h1> <p style="margin: 0;">Gelsenkirchen</p>	Qualitätsmanagement-Arbeitsanweisung	Code:
	Technische Anforderungen	Revision: 01 Datum: 26.11..2003
	Abteilung Wasserchemie	Seite: 1 von 6

Säulenversuch mit umgekehrter Fließrichtung

(Methode zur Beurteilung der Auswirkungen von Bauprodukten zur Bodeninjektion und Kanalsanierung auf Boden und Grundwasser)

1. Prinzip des Verfahrens

1. Eine Acrylglassäule wird mit Sand gefüllt und anschließend 24 Stunden lang mit Trinkwasser gespült. Danach wird die Wasserzufuhr gestoppt und das zu untersuchende Material in die Säule mit dem Sand-Wasser-Gemisch eingebracht.
2. Dies erfolgt bei Injektionsflüssigkeiten durch Injektion mittels Pumpen, ggf. mit Mischerkopf, über einen Mauerpacker.
3. Nach Einbringung des Prüfmaterials und beendeter Reaktion wird die Durchströmung mit Wasser (z. B. Trinkwasser) gestartet. Das aus der Säule austretende Prüfwasser wird dann fraktionsweise aufgefangen und auf die relevanten Parameter analysiert.

2. Geräte und Materialien

2.1	Konstruktion der Säule	
2.1.1	Säule (Rohr) aus Acrylglas	
	– Abmessungen:	Höhe 50 ± 1 cm; Durchmesser 30 ± 1 cm
	– Öffnung für Mauerpacker:	– ca. 20 mm Durchmesser – verdickt und mit Schraubgewinde – 20 cm (± 1) über dem Säulenboden
2.1.2	1 Mauerpacker (oder 1 Schraubverschluss aus Acrylglas, passend zu dem o. g. Gewinde in der Säule)	

erstellt:	geprüft:	Freigabe:	QS-Vermerk:	Version:	

<h1 style="margin: 0;">Hy</h1> <p style="margin: 0;">Gelsenkirchen</p>	Qualitätsmanagement-Arbeitsanweisung	Code:
	Technische Anforderungen	Revision: 01 Datum: 26.11.2003
	Abteilung Wasserchemie	Seite: 2 von 6

2.1.3	2 Deckel aus PVC	
	– Form:	<ul style="list-style-type: none"> – 20 mm (\pm 5 mm) in die Säule hineinragend – hineinragender Teil mit Rille für Dichtungsring^{*)} – Schlauchtülle mittig für Wasserzu- oder -ablauf – 4 Bohrungen am Rand für Gewindestangen
	– Zubehör:	<ul style="list-style-type: none"> – 2 Dichtungsringe^{*)} – 4 Gewindestangen M 8 – 8 Muttern M 8 – 8 Unterlegscheiben M 8
2.1.4	1 Lochplatte aus Edelstahl	<ul style="list-style-type: none"> – als obere Abdichtplatte (auf der Sandschicht) – rund, Durchmesser ca. $28 \pm 0,2$ cm
2.1.5	2 Filzscheiben	<ul style="list-style-type: none"> – zum Abdichten der Sandschicht nach unten und oben – rund, Durchmesser ca. 28 ± 1 cm
2.1.6	Stativ aus Holz	<ul style="list-style-type: none"> – Form eines kleinen Tisches mit einer Platte (ca. 50 x 50 cm) und 4 Beinen (Höhe: ca. 40 cm) – Platte mit Bohrung in der Mitte für die Schlauchtülle des unteren Säulendeckels und mit 4 Bohrungen entsprechend den Bohrungen im Deckel zum Durchführen der Gewindestangen
2.1.7	2 Schläuche	<ul style="list-style-type: none"> – für den Wasserzu- und -ablauf; der Durchmesser richtet sich nach den Schlauchtüllen an den Säulendeckeln
2.2	1 Schlauchpumpe	<ul style="list-style-type: none"> – z. B. von Fa. Heidolph, Typ PD 5001

<h1 style="margin: 0;">Hy</h1> <p style="margin: 0;">Gelsenkirchen</p>	Qualitätsmanagement-Arbeitsanweisung	Code:
	Technische Anforderungen	Revision: 01 Datum: 26.11.2003
	Abteilung Wasserchemie	Seite: 3 von 6

2.3	Vorratsbehälter
------------	------------------------

- | | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> – Fassungsvermögen 15 (± 5) Liter – als Wasserspeicher für die Wasserförderung der Schlauchpumpe mit Trinkwasserzulauf |
|--|---|

2.4	Sandfüllung (ca. 50 kg pro Säulenfüllung); z. B.:
------------	--

2.4.1	Quarzsand	– Frechen, F 36 (Kaskadenweg 40, D-50226 Frechen)
2.4.2	Quarzsand	– Haltern, H 32 (Kaskadenweg 40, D-50226 Frechen)
2.4.3	Normsand	CEN-Normsand DIN EN 196 Teil 1 (Normensand GmbH, Postfach 17 12, D-59247 Beckum)

2.5	Wasser
------------	---------------

2.5.1	– Qualität (empfehlenswert):	Mittelhartes Wasser (Härtebereich II gem. Waschmittelgesetz). (Extrem hartes Wasser ist entweder teilzuenthärten oder mit entmineralisiertem Wasser zu mischen; weiches Wasser - z. B. Talsperrenwasser - ist aufzuhärten).
-------	------------------------------	--

2.6	Geräte für die Injektion
------------	---------------------------------

2.6.1	Verwendung finden die handelsüblichen Injektionspumpen, die auch in der Praxis für das betreffende Produkt eingesetzt werden.
-------	---

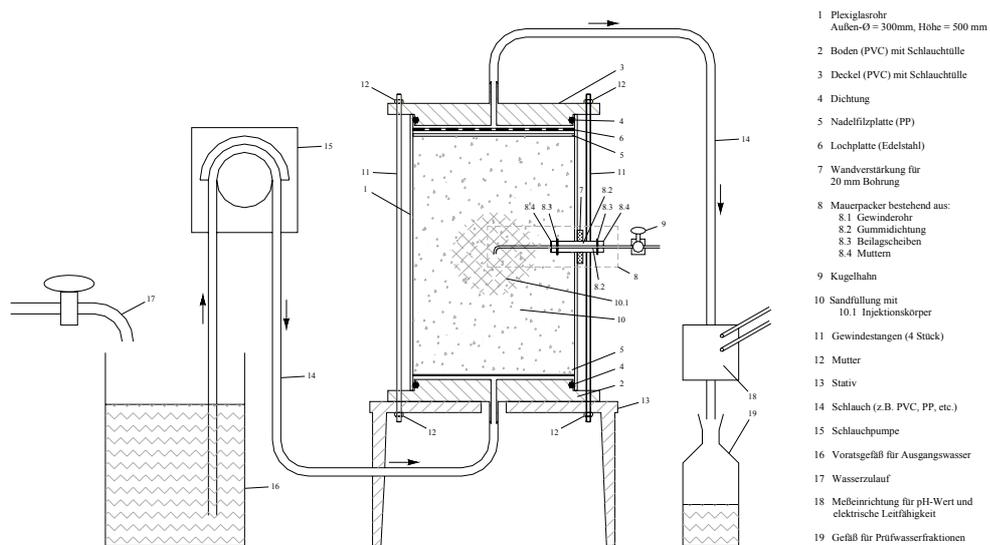
2.7	Geräte für die Probenahme
------------	----------------------------------

2.7.1	2 Liter-Meßbecher
2.7.2	1-Liter-Flaschen mit Schliffstopfen (pro Säule ca. 25 Stck.)

<h1 style="font-size: 2em; margin: 0;">Hy</h1> <p style="margin: 0;">Gelsenkirchen</p>	Qualitätsmanagement-Arbeitsanweisung	Code:
	Technische Anforderungen	Revision: 01 Datum: 26.11.2003
	Abteilung Wasserchemie	Seite: 4 von 6

3. Versuchsordnung und Aufbau der Säule (s. Abbildung 1)

Abbildung 1: Injektionsprüfaufbau – Säule mit umgekehrter Fließrichtung



- 1 Plexiglasrohr
Außen-Ø = 300mm, Höhe = 500 mm
- 2 Boden (PVC) mit Schlauchtülle
- 3 Deckel (PVC) mit Schlauchtülle
- 4 Dichtung
- 5 Nadelfiltrplatte (PP)
- 6 Lochplatte (Edelstahl)
- 7 Wandverstärkung für 20 mm Bohrung
- 8 Mauerpacker bestehend aus:
8.1 Gewindestift
8.2 Gummidichtung
8.3 Beilagscheiben
8.4 Mütter
- 9 Kugelhahn
- 10 Sandfüllung mit 10.1 Injektionskörper
- 11 Gewindestangen (4 Stück)
- 12 Mutter
- 13 Stativ
- 14 Schlauch (z.B. PVC, PP, etc.)
- 15 Schlauchpumpe
- 16 Vorratsgefäß für Ausgangswasser
- 17 Wasserzulauf
- 18 Meßeinrichtung für pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit
- 19 Gefäß für Prüfwasserfraktionen

3.1 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.

3.2 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 (der idealerweise in einem Becken mit ständiger Wasserzufuhr und einem Abfluss steht) das Trinkwasser fördert.

<h1 style="margin: 0;">Hy</h1> <p style="margin: 0;">Gelsenkirchen</p>	Qualitätsmanagement-Arbeitsanweisung	Code:
	Technische Anforderungen	Revision: 01 Datum: 26.11.2003
	Abteilung Wasserchemie	Seite: 5 von 6

3.3 **Einbau des Mauerpackers**

Vor dem Befüllen der Säule mit Sand wird der Mauerpacker in die hierfür vorgesehene Öffnung der Säule wasserdicht eingebaut.

3.4 **Sandfüllung**

Als nächstes wird Wasser in die Säule gepumpt (bis etwa zu einem Drittel der Säulenhöhe). Die eine Filzscheibe wird auf den Grund der Säule gelegt und dann der Sand nach und nach eingefüllt (bis auch etwa zu einem Drittel der Säulenhöhe). Durch abwechselndes Ab- und dann wieder Zupumpen des Wassers während weiterem Einfüllen 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.

3.5 **Schließen der Säule**

Mit Hilfe der 4 Gewindestangen werden beide Deckel wasserdicht miteinander und mit der Platte des Statives 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).

4. Versuchsdurchführung

4.1 **Spülen der mit Sand gefüllten Säule**

Vor der Injektion des zu untersuchenden Materials muss die Sandfüllung der Säule 24 Stunden mit Trinkwasser gespült werden. Hierzu wird mit der Schlauchpumpe Wasser (s. 2.5) aus dem Vorratsbehälter (s. 2.3) von unten nach oben durch die Säule gepumpt (Förderleistung: $4 \pm 0,1$ Liter pro Stunde) Das oben aus der Säule austretende Wasser wird während des Spülvorgangs verworfen.

Nach dem 24-stündigen Spülen wird unmittelbar vor dem Abstellen der Wasserzufuhr eine Fraktion des Prüfwassers ($1 \pm 0,1$ Liter) als Blindwert aufgefangen.

<h1 style="font-size: 2em; margin: 0;">Hy</h1> <p style="margin: 0;">Gelsenkirchen</p>	Qualitätsmanagement-Arbeitsanweisung	Code:
	Technische Anforderungen	Revision: 01 Datum: 26.11.2003
	Abteilung Wasserchemie	Seite: 6 von 6

4.2 Injektion

- Die beiden Komponenten des Produktes werden nach Herstellerangaben vorbereitet (z. B. in Lösung gebracht oder abgemessen)
- die Gesamtmenge (Komponente A + Komponente B) sollte 500 ml nicht übersteigen.
- Bei einem schnell reagierenden Zweikomponenten-System erfolgt die Einbringung in die Säule/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.

4.3 Probenahme

Nach der Reaktionszeit (Angaben vom Hersteller) wird die Durchströmung der Säule gestartet und auf 4 ($\pm 0,2$) Liter pro Stunde eingestellt 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.

Zeitrahmen:

- 1) Kontinuierliche Probenahme der 2-Liter-Fraktionen während der ersten 6 bis 8 Stunden nach Starten der Durchströmung.
- 2) Am 2. bis 8. Tag: Entnahme von jeweils 2 Proben (je $1 \pm 0,1$ Liter) im Abstand von ca. 8 Stunden.

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