

KURZFASSUNG DES ABSCHLUSSBERICHTES

Forschungsprojekt: 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

Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT), 10792 Berlin

Durchführung: Hygiene-Institut d. Ruhrgebietes, 45879 Gelsenkirchen

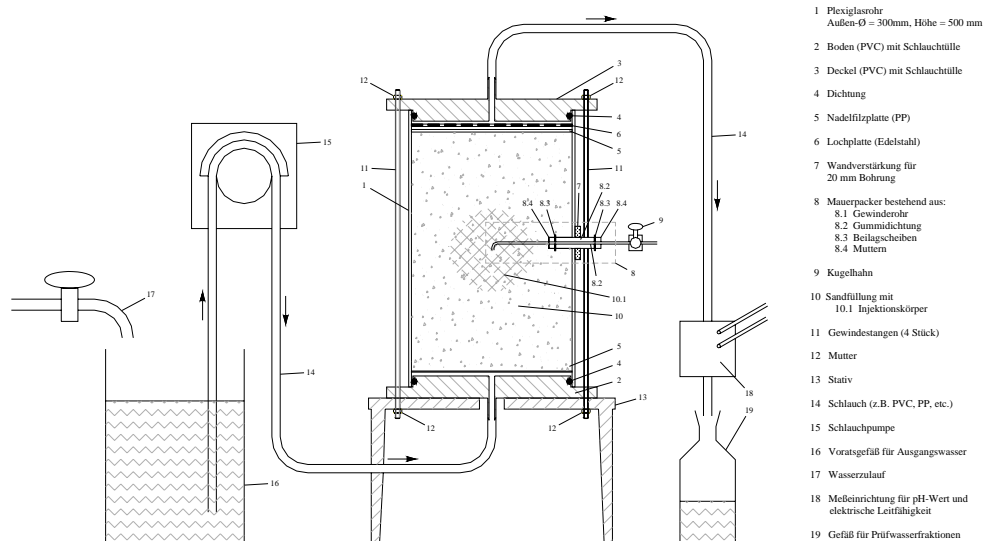
Einleitung: Für die ökologische Bewertung von Bauprodukten zur Injektion in die mit Wasser gesättigte Bodenzone wurde bisher verschiedentlich der Säulenversuch mit umgekehrter Fließrichtung, d. h. Durchfluss der Sandsäule von unten nach oben, angewendet. Diese Versuchsanordnung wurde hier anhand von jeweils mehrfachen Parallelversuchen mit 8 verschiedenen Produkten präzisiert, die Wiederholbarkeit der Ergebnisse analytisch überprüft und die Anwendbarkeit auf unterschiedliche Produkte und Verfahren überprüft.

Versuchsanordnung: *Konstruktion der Säule (s. Abb. 1)*

Bei der hier verwendeten Säule handelt es sich um ein Acrylglasrohr von 30 (\pm 1) cm äußerem Durchmesser und 50 (\pm 1) cm Höhe, das oben und unten mit einem jeweils abnehmbaren (PVC-) Deckel verschlossen wird. 20 (\pm 1) cm von unten ist eine Bohrung in die Säule von ca. 20 mm Durchmesser für einen Mauerpacker eingebracht.

Die Deckel sind so ausgeformt, dass sie jeweils 20 mm in die Säule hineingreifen. Zur optimalen Abdichtung hat der in die Säule hineinragende Teil des Deckels noch eine Rille für einen Dichtring. Die beiden Deckel werden mittels Gewindestangen (M 8) auf das Acrylglasrohr gepresst und die gesamte Anordnung ist auf ein Stativ montiert.

In der Mitte der Deckel sind Schlauchtüllen für die Schlauchanschlüsse eingelassen und für die Zu- und Ableitung des Prüfwassers dienen geeignete Schläuche.

Abb. 1: Injektionsprüfaufbau – Säule mit umgekehrter Fließrichtung

Vorbereitung der Säule

Zur Füllung der Acrylglasäule mit Sand wird dieser möglichst hohlraumfrei und ohne Luftpinschlüsse eingeschlämmt. Die so gefüllte und mit dem oberen Deckel fest verschlossene Säule wird dann anschließend 24 (± 2) Stunden gespült. Hierzu fördert eine Schlauchpumpe Trinkwasser über die Schlauchverbindung von unten nach oben durch die Sandfüllung (Fließgeschwindigkeit: $4 \pm 0,2$ Liter pro Stunde). Das wieder austretende "Spülwasser" wird verworfen.

Einbringung des Prüfmaterials

Vor der Einbringung des Prüfmaterials wird der Wasserdurchfluss gestoppt und dann entweder - je nach Material - in die Sandsäule mit stehendem Wasser injiziert oder aber in die z. T. wieder leerpumpte und geöffnete Säule von oben eingegossen.

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 Kompo-

menten in einem Gefäß und anschließende Injektion mit einer einfachen Pumpe möglich. Nach beendeter Reaktionszeit (je nach Produkt und Vorgaben des Herstellers) wird mit der Durchströmung der Säule begonnen.

Materialien zur Kanalsanierung durch Flutung (Weichgel, Hartgel) werden sukzessive über ein in den Sand eingebrachtes Rohr (bei oben geöffneter Säule) in die Sandfüllung gegossen. Nach beendeter Infiltration wird das Rohr mit einem Stopfen abgedichtet, die Säule wieder mit dem Deckel verschlossen und die Durchströmung begonnen.

Probenahme

Das Prüfwasser wird während der ersten 6 bis 8 Stunden nach Injektion/Infiltration, beendeter Reaktion und Start der Durchströmung kontinuierlich in Fraktionen von je 2 ($\pm 0,1$) Liter z. B. in Flaschen aufgefangen. An den darauffolgenden Tagen (2. bis 8. Tag) erfolgt dann jeweils nur eine zweimalige Probenahme.

Produkte:

Zur Untersuchung kamen folgende Produkte bzw. Systeme:

- 1 Weichgel aus Wasserglas mit anorganischem Härter zur Bau-sohlabdichtung (WG I)
- 2 Flutungssysteme zur Kanalsanierung auf Wasserglasbasis mit organischem Härter (HG I und HG II)
- 2 Polyacrylatsysteme zur Rissverpressung bzw. Schleierinjektion (PAC I und PAC II)
- 2 Produkte auf Isocyanat-Basis zur Rissverpressung (PUR I und PUR II)
- 1 System zur Kalkvernetzung zum der Boden-verfestigung / Abdichtung (KALK)

Prüfungsparameter: Das in Fraktionen aufgefangene Prüfwasser wurde auf folgende Parameter untersucht:

- pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Färbung, Trübung
- TOC-Werte
- bestimmte Anionen, Kationen (bei einigen Produkten)
- Algen-, Daphnien- und Leuchtbakterien-Toxizität

Ergebnisse: *1. Reproduzierbarkeit*

Die Wiederholbarkeit wird anhand der Variationskoeffizienten deutlich. Hierfür wurden für jedes der hier untersuchten Produkte die jeweiligen Maximalwerte bei der Elektrischen Leitfähigkeit und dem TOC-Gehalt der einzelnen Parallelversuche miteinander verglichen (s. Tabelle A, Seite 7). Die Maximalwerte der nur in drei Produkten (HG I, HG II und PUR II) bestimmten Natrium- und Siliciumdioxid-Gehalte werden in Tabelle B (Seite 7) verglichen.

Die Variationskoeffizienten für die einzelnen Parameter bei ein und demselben Produkt sind z. T. sehr unterschiedlich. Auch beim Vergleich der Produkte bezüglich ein und desselben Parameters ergeben sich recht unterschiedliche Variationskoeffizienten.

Mögliche Ursachen für die höheren Variationskoeffizienten bei einzelnen Produkten und einzelnen Parametern können u. E. sein:

- 1) In den Parallelansätzen sind unterschiedlich große und unterschiedlich geformte Injektionskörper entstanden (Beispiele: KALK, PUR II).
- 2) Zwischen den beiden Komponenten eines Produktes ergibt sich keine definierte Reaktion mit definiertem Endprodukt (HG I und HG II)

Bezüglich der Reproduzierbarkeit des Säulenversuchs kommen wir deshalb bei den einzelnen Produkten zu folgender Bewertung:

1) Polyacrylate

Hier kann die Reproduzierbarkeit als gut bewertet werden (Variationskoeffizienten zwischen 0,2 und 12,9 %). Bei diesen Produkten erfolgt die Reaktion zwischen den Komponenten i. d. R. am schnellsten und es entstanden die gleichmäßigsten Injektionskörper.

2) Polyurethane

Die beiden Polyurethan-Produkte ergaben hier höhere Variationskoeffizienten (zwischen 11,4 und 39 %). Ursache dafür kann das starke Aufschäumen nach der Injektion/Mischung der Komponenten

ten sein und die daraus sich ergebenden verschieden großen und verschieden geformten Injektionskörper. Die Injektionsmenge sollte aus diesem Grund auch auf insgesamt max. 500 ml begrenzt werden.

3) Wasserglas-Produkte

Die größten Abweichungen ergaben sich bei diesen Produkten. Gründe dafür können die sehr unterschiedlichen Einsickerzeiten und damit unterschiedlichen Reaktionszeiten zwischen den parallelen Versuchsansätzen sein. Die Injektionskörper fielen zwar immer ziemlich gleich aus, was aber hier nicht das entscheidende Kriterium zu sein scheint. Die unterschiedlich abgelaufenen Reaktionen hatten sicher einen unterschiedlichen Verlauf beim Eluieren der einzelnen Stoffe zur Folge.

In den Fällen, in denen sich ungleiche Injektionskörper ergaben und die Reaktion offensichtlich nicht ganz gleichmäßig abgelaufen ist, muss die Ursache hierfür festgestellt und der Versuch ggf. wiederholt werden.

Rahmenbedingungen für eine gute Reproduzierbarkeit sind u. E. folgende:

1) Sand

Für die Säulenfüllung haben sich Quarzsande (z. B. der Firma Frechen: F 36 oder Haltern: H 32) gut bewährt; die hier ausgebildeten Injektionskörper sind meist kugelsymmetrisch mit einer gleichmäßigen Oberfläche. Normensand nach DIN EN 196-1 neigt beim Einbringen in die Säule aufgrund seiner breiten Sieblinie zum Entmischen.

2) Produktmenge

Die anzuwendende Produktmenge sollte u. E. auf insgesamt 500 ml Injektionsmaterial begrenzt werden, da besonders Produkte auf Isocyanat-Basis meistens stark aufschäumen, was zu einer mehr oder weniger kräftigen Volumenvergrößerung und zur Gefahr des Verklebens mit der Säulenwand führt.

3) Durchflussgeschwindigkeit

Die Durchflussgeschwindigkeit durch die Säule wurde stets auf $4 \pm 0,2$ Liter pro Stunde mittels Schlauchpumpen eingestellt. Es haben sich 2-Liter-Fractionen (kontinuierliche Probenahme während der ersten 6 bis 8 Stunden, anschließend täglich eine Probenahme) als ausreichend differenzierend bewährt.

Toxizitätstests:

Bei allen Produkten ist eine deutliche Abnahme der toxischen Wirkung der Prüfwasser-Inhaltsstoffe vom Elutionsmaximum zur Abklingphase festzustellen (vergl. Diagramm 1 und Diagramm 2, Seite 8). Dabei ist eine gute Übereinstimmung der Wirkung auf Daphnien und der Hemmwirkung auf Algen festzustellen.

Für die einzelnen Produkte ergaben sich folgende Ergebnisse:

1. HG I, PAC I (Gieß- und Injektionsversuch), PAC II, PUR I, PUR II

Bei diesen Produkten und damit bei der Mehrzahl der hier getesteten Materialien reagieren die Daphnien leicht empfindlicher auf die toxische Wirkung der Prüfwasser-Inhaltsstoffe als die Algen (s. Diagramm 1, Seite 8). Die Leuchtbakterien dagegen zeigten in diesen Fällen keine oder nur geringe Empfindlichkeit. Die G-Werte bei allen drei Toxizitätstests liegen bei diesen Produkten unter 10. Eine Ausnahme ergab sich beim Polyacrylat II insofern, als die Daphnien hier überproportional empfindlich reagierten.

2. WAGL HGI, WAGL HG II

Bei den verdünnten Lösungen (3g / Liter) der reinen Wasserglas-komponenten der beiden Hartgele zeigten die Leuchtbakterien eine größere Empfindlichkeit. Die G-Werte liegen auch hier bei allen drei Toxizitätstests unter 10.

3. KALK

Dieses Produkt ergab als einziges eine etwas größere Empfindlichkeit bei den Algen. Die durchschnittlichen G-Werte der Algen- und Daphnientests sind hier allerdings beide überproportional hoch.

Tab. A: Maxima und Variationskoeffizienten der EL- und TOC-Werte der Produkte im Vergleich

Produkt	EL [$\mu\text{S}/\text{cm}$]				TOC [mg/l]			
	Max. 1	Max. 2	Max. 3	Var. koeffizient [%]	Max. 1	Max. 2	Max. 3	Var. koeffizient [%]
WG	-	-	-	-	-	-	-	-
HG I	2840	3860	2130	29,5	199,0	3025,0	256,0	139,3
HG II	955	872	1052	9,4	102,0	220,0	379,0	59,5
PAC I (Gießv.)	1330	1486	1459	5,9	633,0	689,0	647,0	4,4
PAC I (Inj.v.)	1543	1285		12,9	710,0	712,0		0,2
PAC II	652	658	592	5,8	472,0	449,0		3,5
PUR I	729	673	841	11,4	57,5	63,4	44,1	18,0
PUR II	864	1180	811	21,0	12,4	(33,9)	7,0	39,4
KALK	38800	33000	16910	38,4	748,0	702,0	421,0	28,4
KALK (pro 1 dm^2)					59,6	58,2	45,3	14,5

Tab. B: Maxima und Variationskoeffizienten der Natrium- und Siliciumdioxid-Werte der Produkte im Vergleich

Produkt	Na^+ [mg/l]				SiO_2 [mg/l]			
	Max. 1	Max. 2	Max. 3	Var. koeffizient [%]	Max. 1	Max. 2	Max. 3	Var. koeffizient [%]
WG	422,0	402,0	413,0	2,4	776,0	662,0	750,0	8,2
HG I	764,0	1120,0	377,0	49,3	203,0	171,0	170,0	10,4
HG II	203,0	171,0	170,0	10,4	180,0	141,0	150,0	13,0
PUR II	132,0	226,0	123,0	35,6	58,3	145,0	22,8	83,4

Diagramm 1: Durchschnittliche G-Werte der Algen-, Daphnien- und Leuchtbakterien-Toxizitäts-Tests von den Fraktionen mit TOC_{max} aller Produkte

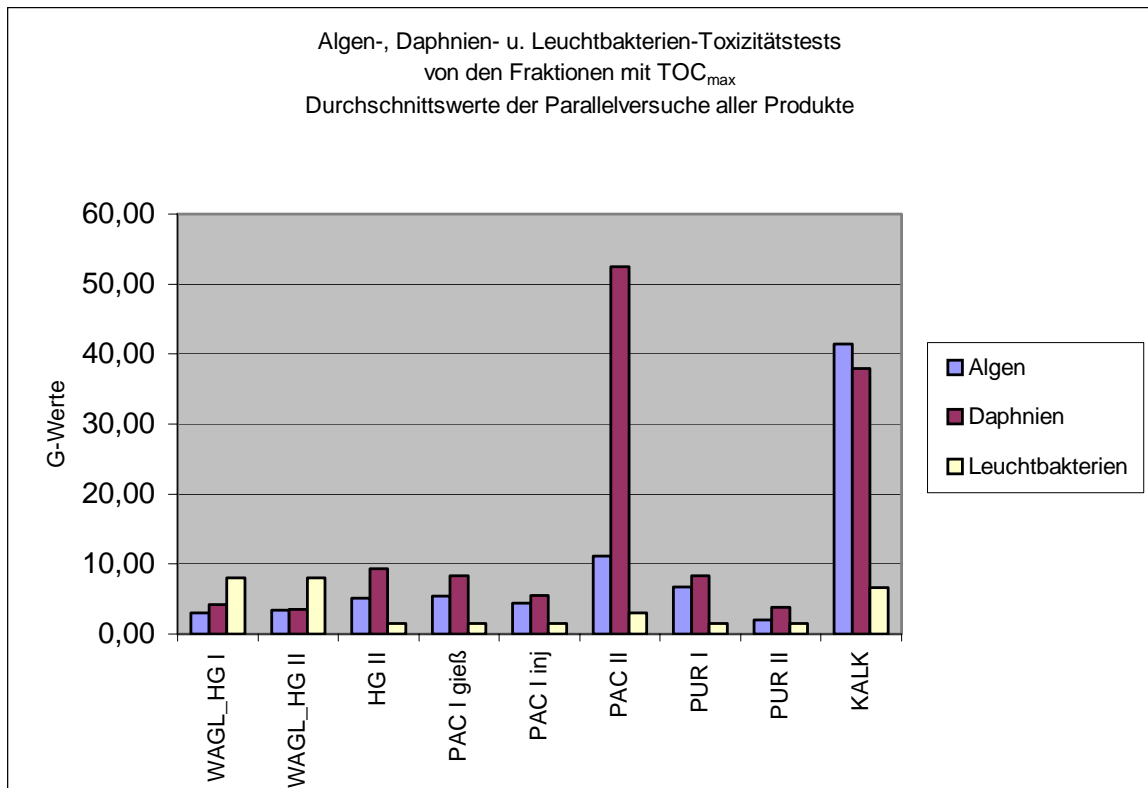
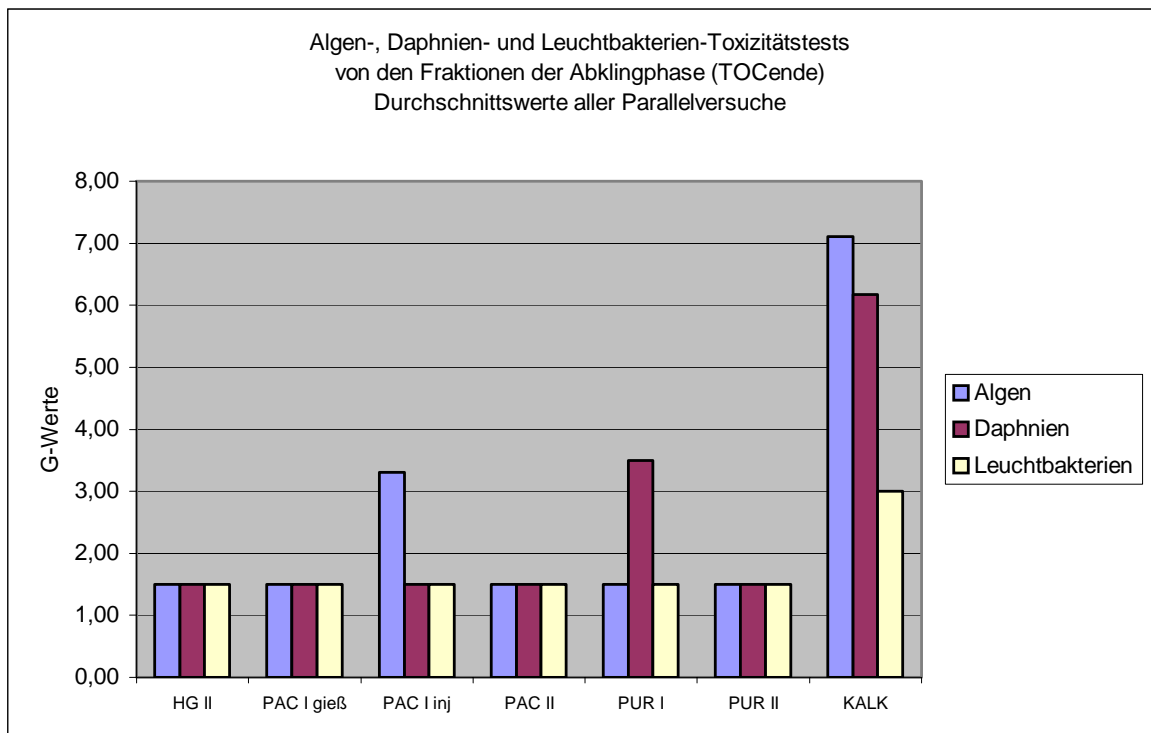


Diagramm 2: Durchschnittliche G-Werte der Algen-, Daphnien- und Leuchtbakterien-Toxizitäts-Tests von den Fraktionen der Abklingphase mit TOC_{ende} aller Produkte



Abschließende
Beurteilung:

Der Säulenversuch mit umgekehrter Fließrichtung ist für die ökologische Prüfung homogener Mischungen geeignet. Flutungssysteme, bei denen nacheinander unterschiedliche Flüssigkeiten infiltriert werden, ergeben keine reproduzierbaren Ergebnisse, da eine „stöchiometrische“ Vermischung nicht zu erwarten ist.

Die Methode erscheint auch geeignet zur Überprüfung von Relining-Systemen, z. B. Epoxidharz-getränkten Filzschläuchen.