

# Vergleich von Säulen- und Schüttel-elutionsverfahren zur Beurteilung der Bioverfügbarkeit von Schadstoffen im Pfad Boden-Grundwasser

Wagner, R., Schatten, R. - Freie Universität Berlin, FB Geowissenschaften, AG Organische Umweltgeochemie

## Einleitung

Die Kenntnis gelöster und mobilisierbarer Stoffe im Bodensickerwasser ist nach BBodSchG (1998) die Grundlage für die Beurteilung einer Grundwassergefährdung durch Schadstoffe in Böden. Zur Abschätzung von Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser legt die BBodSchV (1999) die Herstellung von Bodeneluat in Säulen- und Schüttelversuchen mit Wasser fest. Zur Überprüfung des ökotoxikologischen Potentials mobilisierbarer Schadstoffe werden diese Bodeneluate in aquatischen Testverfahren eingesetzt. Dies ermöglicht eine Aussage über die bioverfügbaren Schadstoffanteile und die Gefahr eines Schadstoffaustrages ins Bodensickerwasser. Einen Überblick über den dynamischen Prozess der Bioverfügbarkeit gibt Abbildung 1.

## Fragestellung

Sind beide Elutionsverfahren für die Beurteilung der Verfügbarkeit und Bioverfügbarkeit von organischen Schadstoffen im Pfad Boden-Grundwasser als gleichwertig zu betrachten?

## Vorgehensweise

Zur Überprüfung der Vergleichbarkeit beider Elutionsverfahren wurden mit PAK- und MKW-kontaminierte Böden auf ihr Freisetzungverhalten untersucht und anhand der erhaltenen Konzentrationen bei einem Wasser/Feststoffverhältnis von 2:1 verglichen. Die Säulen- und Schüttelversuche erfolgten nach DIN Entwurf 19528 und DIN Entwurf 19529 (abgewandelt für organische Stoffe). Die erhaltenen Eluate wurden chemisch analysiert und die Parameter DOC, Leitfähigkeit und Trübung wurden bestimmt. Zur Beurteilung der Bioverfügbarkeit der eluierten Schadstoffe wurden die Eluate ökotoxikologisch mit aquatischen Testverfahren (Leuchtbakterien- und Grünalgentest) untersucht (vgl. Abb. 2).

## Ergebnisse

Die Eluatkonzentrationen des Schütteltests lagen zum Teil erheblich über denen des Säulenversuchs (vgl. Tab. 1). Die PAK-Konzentrationen im Säulenversuch beliefen sich in den Eluat zwischen 0,8 und 5,9 µg/l, im Schüttelversuch hingegen zwischen 5,8 und 38,5 µg/l. Für die MKW-Konzentrationen zeigte sich ein ähnliches Bild. Hier lagen die Eluatkonzentrationen im Säulentest zwischen <100 (BG) und 237 µg/l, im Schütteltest jedoch mit 255 bis 824 µg/l deutlich höher.

Es hat sich gezeigt, dass die Art der Elution und die Aufbereitung der Eluate (Höhe der Trübung) die Konzentration im Eluat in hohem Maße beeinflusst (vgl. Abb. 5). Bei den untersuchten Eluat ist eine positive Korrelation zwischen Trübung und Schadstoffkonzentration zu beobachten. Die höhere Konzentration an Schadstoffen im Schütteltest ist im Vergleich zum Säulentest auf einen hohen partikulären Austrag zurückzuführen. Die mobilisierten Schadstoffe liegen nur teilweise gelöst vor.

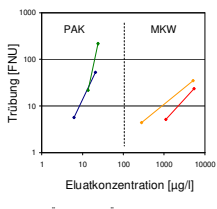


Abbildung 5: Abhängigkeit der Konzentration von der Trübung

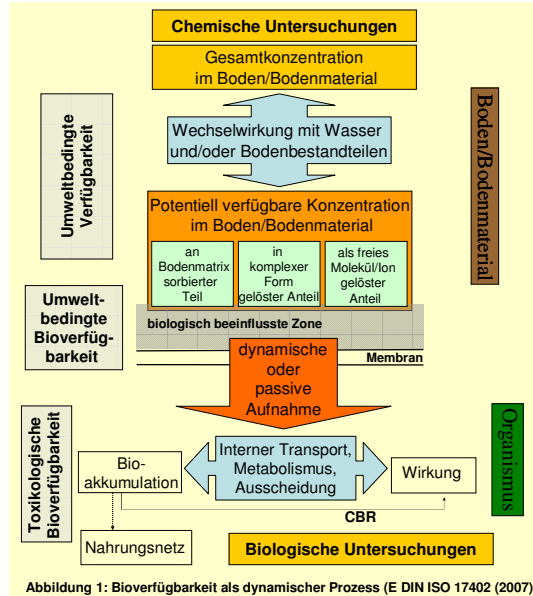


Abbildung 2: Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit/Verfügbarkeit von Schadstoffen

Tabelle 1: Ergebnisse der Elutionsversuche mit MKW- und PAK-belasteten Böden

	KU-1	KU-2	FZ-3	HO-1	HO-3	WO-2
<b>Bodencharakterisierung</b>						
C-org. [%]	1,1	0,5	1,0	0,2	1,9	3,5
Bodenart*	Ss	Ss	Ss	Ss	Ss	Su2
<b>MW Feststoffanalytik [mg/kg TM]</b>						
	MKW C10-C40 ("mobiler" Anteil C10-C22)			PAK 16 nach EPA		
	2212 (351)	4526 (3983)	634 (496)	74,1	98,8	536,4
<b>Eluatkonzentrationen [µg/l]</b>						
	MKW C10-C40			PAK 16 nach EPA		
Schütteltest	255	824	278	5,75	36,1	38,5
Säulentest	<100	<100	154	5,89	2,73	0,79
<b>Parameter Trübe [FNU] / DOC [mg/l]</b>						
Schütteltest	Trübe	35,2	29,5	4,4	4,1	14,0
	DOC	28	48	19	35,8	40,5
Säulentest	Trübe	3,3	4,9	4,4	4,8	1,9
	DOC	28	26	25	31,8	38,0
<b>Ökotoxikologische Tests (G-Werte, rot: Gefahr eines Austrages von Schadstoffen gegeben)</b>						
G <sub>L</sub> Schütteltest	2	6	4	2	2	2
G <sub>L</sub> Säulentest	2	6	4	2	2	2
G <sub>A</sub> Schütteltest	1	1	1	1	4	4
G <sub>A</sub> Säulentest	1	1	1	1	4	1

Bodenart: Ss – reiner Sand, Su2 – schwach schluffiger Sand  
 G<sub>A</sub>: G<sub>L</sub>wert; G<sub>L</sub>: G<sub>L</sub>wert; G<sub>A</sub>: G<sub>A</sub>wert; G<sub>A</sub>: G<sub>A</sub>wert  
 G<sub>A</sub>: G<sub>A</sub>wert; G<sub>L</sub>: G<sub>L</sub>wert; G<sub>L</sub>: G<sub>L</sub>wert  
 G<sub>A</sub>: G<sub>A</sub>wert; G<sub>L</sub>: G<sub>L</sub>wert; G<sub>L</sub>: G<sub>L</sub>wert

## Vergleich Methodik Elutionsverfahren

Bei Säulenversuchen werden Bodenmaterialien mit einer abhängig vom Porenvolumen und Wassergehalt berechneten Fließgeschwindigkeit gleichmäßig durchströmt (vgl. Abb. 3). Im Schüttelversuch erfolgt hingegen über 24 h eine ständige Durchmischung aller Bodenteilchen der Probe (vgl. Abb. 4). Beide Elutionen ermöglichen eine Beprobung bei einem Wasser/Feststoffverhältnis von 2:1, was die Grundlage eines Vergleiches bildet. Der Vorteil eines Säulenversuches liegt in der Gewinnung von dynamischen Ergebnissen durch eine zeitlich kontinuierliche Eluatbeprobung unter meist real ablaufenden Bedingungen. Ein Schüttelversuch indes eluiert die Maximalkonzentration und weicht in der Regel von den Freilandbedingungen im hohen Maße ab.

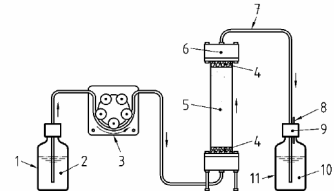


Abbildung 3: Schematischer Aufbau des Säulenversuches, 1 Vorratsgefäß des Elutionsmittels, 2 Elutionsmittel, 3 Peristaltikpumpe, 4 Filterschicht aus Quarzsand, 5 Glassäule mit zu untersuchender Bodenprobe, 6 Säulenverschlusskappe, 7 Edelstahlleitungen, 8 Entlüftungskanüle oder -öffnung, 9 Sammelgefäßabdeckung, 10 Eluat, 11 Eluatsammelgefäß (nach DIN 19528: 2009-01)

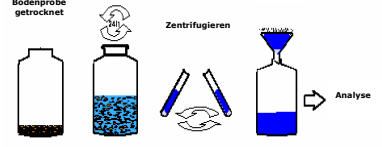


Abbildung 4: Ablauf des Schüttelversuches

Im Leuchtbakterientest blieben alle Eluate unter dem Grenzwert (GL) von 8 und zeigten somit kein ökotoxikologisches Potenzial. Im Algentest weisen die Eluate Werte auf, die gleich oder kleiner des Grenzwertes (GA) von 4 sind. Trotz verschiedener Konzentrationen in Säulen- und Schüttel-eluat stimmen die Ergebnisse der aquatischen Ökotoxizitätstest für beide Elutionsmethoden gut überein und zeigen keine Gefahr eines Schadstoffaustrages an.

**Fazit:** Elutionsart und Trübe haben einen großen Einfluss auf die Ergebnisse. Der Schüttelversuch bringt höhere Elutionskonzentrationen und wäre somit aus Sicht der Risikominimierung günstiger („worst-case-Szenario“). Es tritt jedoch häufiger das Problem der Trübung der Eluate auf, wobei sich der Einfluss bei höherem Anteil von bindigen Bestandteilen in den Böden erhöht. Der Säulenversuch ermöglicht eine realitätsnähere Abbildung, es ist jedoch keine Einbeziehung von „Risikofaktoren“ mehr möglich. Die Schadstoffe aus den Bodenproben sind geringfügig mobilisierbar und nur in geringem Maße biologisch wirksam. Obwohl die Schadstoffgehalte im Feststoff hoch sind, konnten nur teilweise Effekte auf die Testspezies nachgewiesen werden.