

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der  
DBG – Kommission I  
Titel der Tagung: Böden – eine endliche  
Ressource  
Veranstalter: DBG, September 2009,  
Bonn  
Berichte der DBG (nicht begutachtete  
online Publikation)  
<http://www.dbges.de>

### **Prüfung von Perkulations- und Elutionsversuchen zur Schadstoff- freisetzung aus mineralischen Ersatzbaustoffen**

S. Sittig<sup>1,2</sup>, S.C. Iden<sup>1</sup>, W. Durner<sup>1</sup>, T.  
Pütz<sup>2</sup> und H. Vereecken<sup>2</sup>  
Kontakt: [s.sittig@fz-juelich.de](mailto:s.sittig@fz-juelich.de)

### **Zusammenfassung**

In einem groß angelegten Ringversuch wurden die DIN-Normen DIN 19528 und DIN 19529 verifiziert. In dieser Arbeit haben wir die darin vorgesehenen Experimente durchgeführt, das Versuchsprogramm erweitert und die Ergebnisse mittels verschiedener mathematischer Verfahren ausgewertet. Schüttelversuche, wie in DIN 19529 vorgesehen, haben wir durch Ansätze mit weiteren Wasser-/Feststoffverhältnissen erweitert. Diese Ergebnisse wurden zur Ermittlung der das Verteilungsverhalten bestimmenden Parameter mittels MuBaX (Iden und Durner, 2007) ausgewertet. Die Säulenversuche nach DIN 19528 wurden ebenfalls in ihrer zeitlichen Dauer erweitert und durch Fließunterbrechungen ergänzt. Für die Abschätzung der kurz- bis mittelfristigen Freisetzungen wurden reproduzierbare und zwischen den unterschiedlichen Methoden vergleichbare Ergebnisse erzielt.

---

<sup>1</sup>TU Braunschweig, Inst. für  
Geoökologie

<sup>2</sup>Forschungszentrum Jülich, Inst. für  
Chemie und Dynamik der Geosphäre (ICG-4)

**Schlüsselwörter:** Mineralische Ersatz-  
baustoffe, Schadstoffe, Schüttelver-  
suche, Säulenversuche, Modellierung,  
Bayes'sche Parameterschätzung

## **1. Einleitung**

In Deutschland fallen jährlich ca. 240 Mio. t mineralische Abfälle an. Dazu gehören Boden, Bauabfälle sowie Aschen und Schlacken. Die Abschätzung des Freisetzungsvermögens von organischen und anorganischen Schadstoffen aus mineralischen Abfallstoffen erfolgt durch verschiedene Labor- und Freilanduntersuchungen sowie Simulationsmodelle. Diese Arbeit war in einen Ringversuch zur Validierung der DIN Normen DIN 19528 und DIN 19529 integriert. Darin vorgesehen sind Säulen- und Schüttelversuche zur Charakterisierung des Elutionsverhaltens. Über die Vergleichbarkeit zwischen diesen beiden Methoden bestehen Unklarheiten. Den Einsatz als Füllmaterialien außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht regelt in Zukunft die ErsatzbauStoffV (2007). Die BBodSchV (1999) sieht in einer Novellierung im Zusammenhang mit Böden den Test mit Säulenperkolation nach DIN 19528 vor.

## **2. Material und Methoden**

Die Laborversuche wurden mit drei von der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung bereitgestellten Referenzmaterialien durchgeführt: Hausmüllverbrennungstasche (HMVA), Bauschutt (BS) und Bodenmaterial (BO).

Das gesamte Versuchsprogramm dieser Arbeit bestand aus unter gesättigten Bedingungen durchgeführten Säulenversuchen bis zu einem kumulativen W/F-Verhältnis (W/F) von etwa 6:1, Schüttelversuchen mit

unterschiedlichen W/F, einem modifizierten Bodensättigungsextrakt (BoSE; W/F 0,5:1) sowie einer Extraktion mit EDTA.

### 2.1 Säulenversuche

Nach einer Aufsättigung von unten nach oben, erfolgte die aufwärts gerichtete Perkolation mit einer Fließrate, die sich aus einer vorgegebenen Kontaktzeit von 5 h ergab – Fließraten zwischen 1,79 und 2,39 cm h<sup>-1</sup>. Zur Charakterisierung des Austragsverhaltens wurden die Eluate zu verschiedenen Zeitpunkten im Verlauf des Experiments analysiert. Um eine Vergleichbarkeit mit den Schüttelversuchen zu ermöglichen, wurden die durchschnittlichen Konzentrationen seit Beginn der Perkolation berechnet.

### 2.2 Schüttelversuche

Die Batchversuche wurden mit insgesamt fünf verschiedenen W/F durchgeführt. Die Eluate wurden 24 h im Rotationsschüttler bei 7 Umdrehungen min<sup>-1</sup> geschüttelt. In Übereinstimmung mit DIN 19529 wurden 2,5 kg der größeren Materialien

(HMVA und BS) sowie 250 g des feineren Materials (BO) verwendet

### 2.3 Untersuchungsparameter

Die Konzentrationen der Elemente Antimon, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink wurden mittels ICP-MS analysiert. Die Konzentrationen der Anionen Chlorid und Sulfat mit Ionen-Chromatographie.

Der Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit sowie des pH-Wertes wurde über die gesamten Verlaufsabläufe beobachtet.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Schüttelversuche

Abbildung 1 zeigt eine Auswahl der Ergebnisse der Schüttelversuche für das Element Kupfer. Auf der linken Seite sind die Konzentrationsverläufe bei den fünf unterschiedlichen W/F zu sehen. Als rote Linien sind die Ergebnisse der Modellanpassungen, als graue Bereiche die 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle dargestellt.

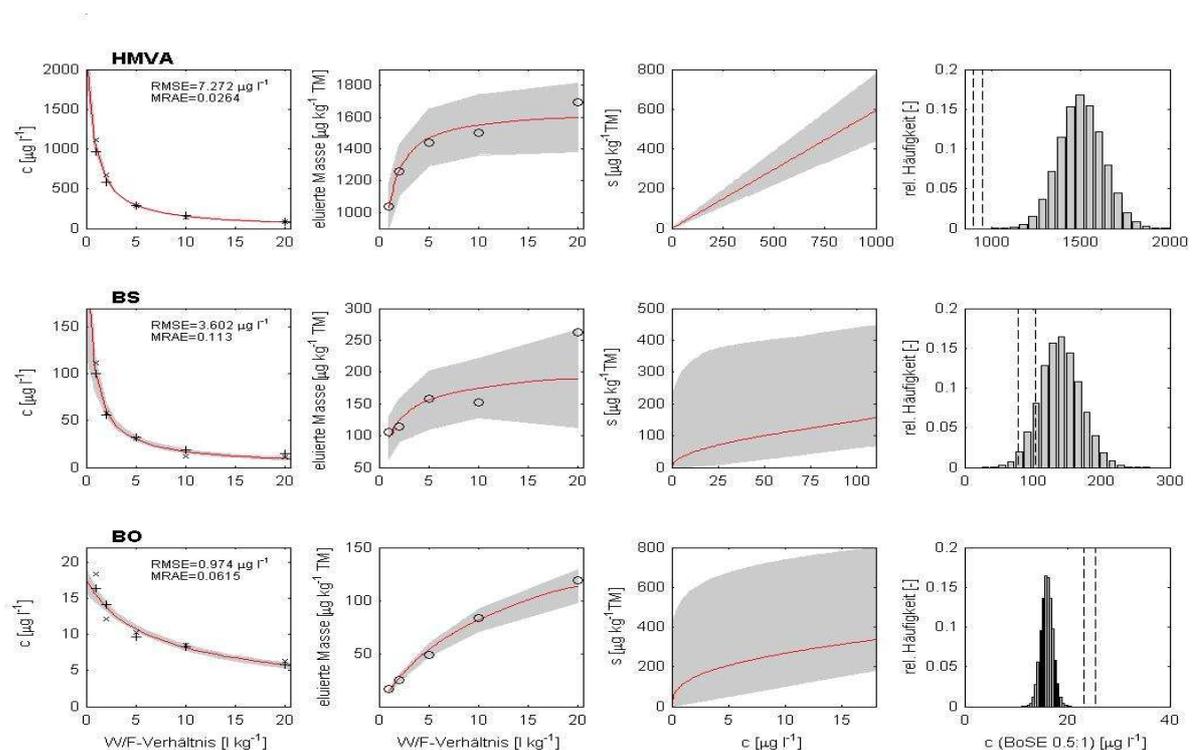


Abb. 1: Ergebnisse der Schüttelversuche für das Element Kupfer.

Die zweite Spalte zeigt die freigesetzten Masse (pro TM eingesetzten Materials), die dritte den Verlauf der angepassten Sorptionsisothermen. Auf der rechten Seite sind die Ergebnisse der (modifizierten) BoSE zu sehen, zusammen mit den aus dem Vorhersagemodell berechneten Konzentrationen für dieses W/F.

### 3.2 Säulenversuche

Die Ergebnisse lassen sich verschiedene Arten auswerten: als Verlauf der tatsächlich bei jeder Probennahme im Eluat gemessenen Konzentrationen oder als kumulativer Verlauf des Schadstoffaustrags. Abbildung 2 zeigt diese beiden Ansätze am Beispiel von Sulfat. Die Darstellung erfolgt jeweils bezogen auf die kumulativ perkolierten W/F.

### 3.3 Vergleiche

Für eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Verfahren lassen sich die bei identischen W/F pro Trockenmasse Substrat freigesetzten Stoffmengen gegenüberstellen. Abbildung 3 zeigt diesen Vergleich zwischen Säulen- und Schüttelversuchen sowie

einem BoSE für das Element Kupfer.

## 4. Diskussion

Die Anforderungen u. a. an die hier untersuchten Materialien zum Einsatz als mineralische Ersatzbaustoffe regelt in Zukunft die ErsatzbaustoffV (2007). Dort und in einer Ergänzung zur BBodSchV (1999) werden mit Säulenversuchen gemäß DIN 19528 (2007) zu ermittelnde Eluatwerte vorgegeben.

Diese Tests liefern u. a. Erkenntnisse über den Quellterm in einer Sickerwasserprognose. Elutionstests sind nach Susset und Leuchs (2008) für die Abschätzung des Quellterms im Rahmen einer Sickerwasserprognose geeignet, wenn sich die mit ihnen ermittelten Konzentrationen reproduzierbar zu einer Abschätzung von *in-situ* Konzentrationen eignen. Dies kann entweder durch direkte Übertragung der Ergebnisse oder durch Umrechnungsverfahren erfolgen.

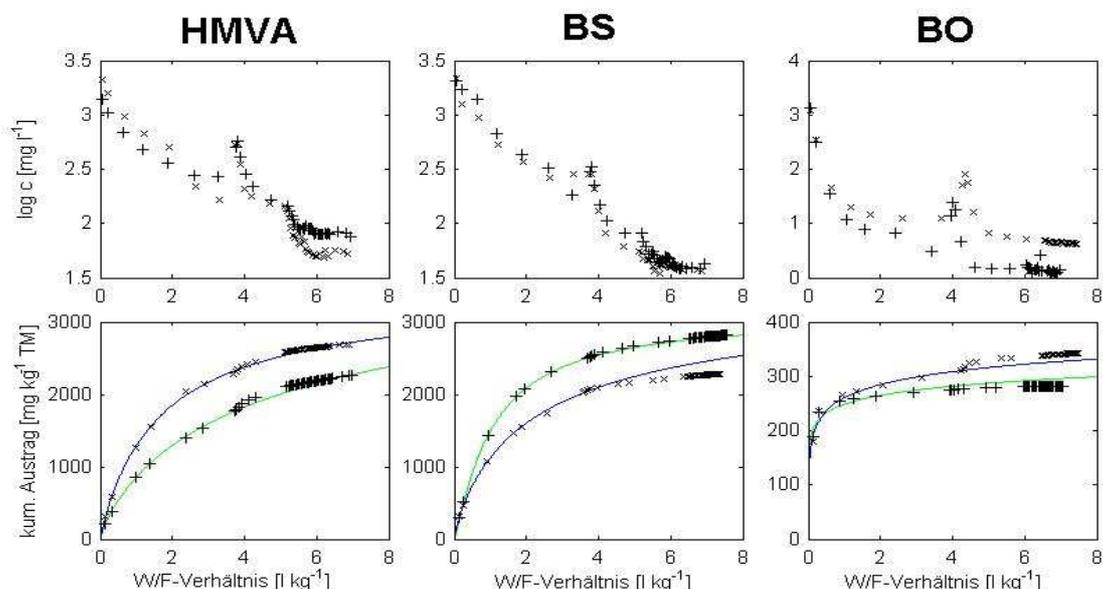


Abb. 2: Ergebnisse der Säulenversuche für das Element Kupfer.

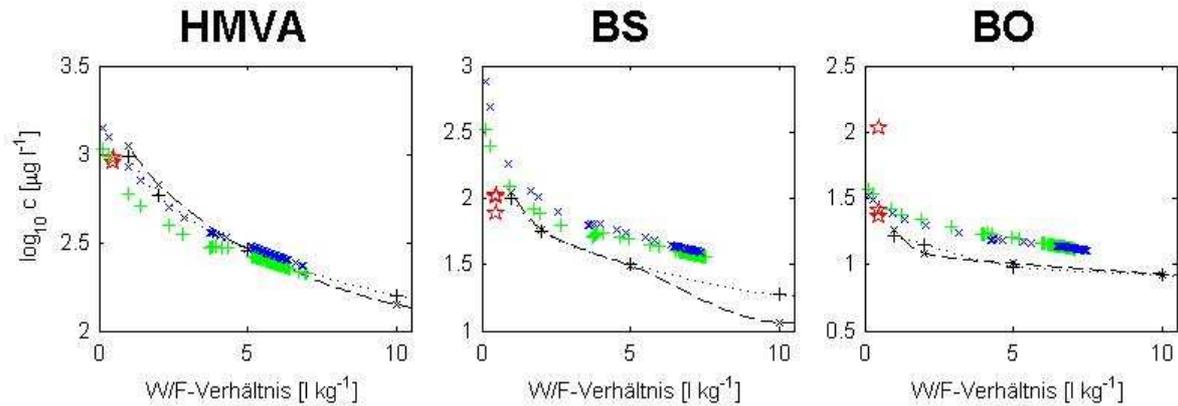


Abb. 3: Vergleich zwischen den verschiedenen Säulen- und Schüttelversuchen für das Element Kupfer.

Das bedeutet, dass sie mit den Resultaten eines ausführlichen Säulenversuchs in einem systematischen Zusammenhang stehen.

Die Vergleiche der Konzentrationen in den Batchversuchen mit den Säulenversuchen bei identischen W/F zeigten meist gute Übereinstimmungen. Damit scheint die Möglichkeit der Abschätzung des kurz- bis mittelfristigen Freisetzungspotenzials mit gutreproduzierbaren Resultaten bei Säulenversuchen und Schüttelversuchen gegeben. Die besten Vergleichbarkeiten zeigten sich bei dem feinkörnigsten der drei Materialien, dem Boden. Inwieweit es sich dabei insgesamt eher um zufällige Übereinstimmungen handelte, konnte hier nicht überprüft werden. Die Vergleiche mit den ebenfalls durchgeführten EDTA-Extrakten freigesetzten Metallen zeigten bei allen RM ein um Größenordnungen höheres Freisetzungspotenzial.

## Literatur

**BBodSchV** (1999). Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 16. Juli 1999, BGBl, S. 1554.

**DIN 19528** (2007). Elution von Feststoffen - Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen. Berlin: Beuth Verlag.

**DIN 19529** (2007). Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen Stoffen mit einem Wasser-Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg. Berlin: Beuth Verlag.

**ErsatzbaustoffV** (2007). Verordnung über den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken. Arbeitsentwurf - Stand: 13.11.2007.

**Iden, S. C. und Durner, W.** (2007). Multiple batch extraction test to estimate contaminant release parameters using a Bayesian approach. *Journal of Contaminant Hydrology* 95, 168-182.

**Susset, B. und Leuchs, W.** (2008). Ableitung von Materialwerten im Eluat und Einbaumöglichkeiten mineralischer Ersatzbaustoffe - Umsetzung der Ergebnisse des BMBF-Verbundes „Sickerwasserprognose“ in konkrete Vorschläge zur Harmonisierung von Methoden. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes. Förderkennzeichen 205 74 251.