

Was lernen wir aus Auslaugkurven?

Beim Eindringen von Niederschlagswasser in belastete Schüttgüter kommt es zur Ausbildung einer Sickerwasserfront, die sich in die Tiefe fortpflanzt. Dabei erfolgt ein Übertritt von Schadstoffen in die Bodenlösung. Nimmt man unter Fließbedingungen in einer definierten Bodentiefe deren Konzentration als Funktion der Zeit auf, so

erhält man sog. Auslaugkurven. Sie erlauben eine Abschätzung von Sickerwasseremissionen aus Reststoffen und kontaminierten Böden und damit z.B. die Ableitung technischer Sicherungsmaßnahmen.

Geeignete Versuchsanordnungen sind Säulenexperimente im Labor- oder Technikumsmaßstab sowie Lysimeterstudien. Gegenüber klassischen Elutionstests (z.B. DIN DEV S4), die eine Momentaufnahme der Bodenwasserzusammensetzung liefern, erfordern Säulenexperimente einen höheren Aufwand bei der Durchführung, Auswertung und begleitenden physikalisch-chemischen Analytik. Ihre Stärke liegt in der realistischeren Abbildung der natürlichen Gegebenheiten (Lagerungs- bzw. Schüttdichten, Feststoff/Lösungs-Verhältnis etc.). Der kontinuierliche Austausch des Bodenwassers durch das Elutionsmittel erlaubt zudem, die Ergebnisse z.B. anhand des Jahresniederschlags zur ‚Echtzeit‘ in Beziehung zu setzen.

Die Sickerwasserzusammensetzung bildet das kleinräumige Prozessgeschehen an der Grenzfläche Feststoff-Bodenwasser makroskopisch ab. Konzentrationsbestimmend wirken Sorptions-/ Desorptions-, Fällungs-/Lösungsprozesse sowie (im Fall organischer Schadstoffe) mikrobielle Abbaureaktionen. Sie werden maßgeblich durch das physikalisch-chemische Milieu (z.B. Mineralogie, pH-Wert, Ionenstärke) beeinflusst. I.d.R. ist daher die Sickerwasserkonzentration eng an die jeweilige Boden/Schadstoff-Kombination gekoppelt. Um bei diesen einzelfallspezifischen Gegebenheiten das Prozessverständnis zu vertiefen, ist es unser Ziel, den Informationsgehalt von Auslaugkurven durch eine geeignete experimentelle Herangehensweise zu maximieren.

Deshalb führen wir am Josef-Vogl-Technikum Auslaugversuche im kg- und Mg-Maßstab mit organisch und anorganisch belasteten Feststoffen durch. Ziel unserer Untersuchungen ist u.a. die Beantwortung folgender Fragen:

Welche bodenhydraulischen Eigenschaften charakterisieren das Schüttgut?

Um die unter Transportbedingungen eluierte Schadstofffracht mit den Ergebnissen gem. DIN DEV S4 vergleichen zu können, muss eine möglichst homogene Durchströmung des Festbetts gewährleistet sein. Zur Bestimmung von Fließfeldeigenschaften und bodenhydraulischen Kenngrößen führen wir Tracerexperimente durch. Die gleichmäßige Anfärbung des Bodens nach Durchströmung mit Erioglaucin (blauer Farbstoff) und die gute Übereinstimmung der Bromid-Durchbruchskurve mit dem Transportmodell (Abb. 5) belegen ein konvektiv-dispersives Fließregime. Anhand der Modellanpassung wurde der Dispersionskoeffizient (Maß für die Abweichung vom Pfropfenprofil) zu $0,04 \text{ cm}^2/\text{min}$ bestimmt.

Zeigt die Auslaugung belasteter Schüttgüter eine Skalenabhängigkeit?

Um repräsentative Untersuchungsergebnisse zur Sickerwasseremission belasteter Feststoffe zu erhalten, muss ein experimenteller Maßstab gewählt werden, der über die räumliche Variabilität der Schadstoffgehalte integriert und die Auslaugung eines repräsentativen Elementarvolumens erfasst. Ob dies der Fall ist, kann aus vergleichenden Untersuchungen im kg- und Mg-Maßstab gefolgert werden. Eine direkte Gegenüberstellung der Ergebnisse ist bei Auftragung der Konzentration gegen die Anzahl ausgetauschter Porenvolumina (dimensionslose Zeit) möglich. Die unterschiedlichen Emissionsniveaus in Abbildung 6 sind in der stärkeren Verdichtung des Festbetts bei der Untersuchung im Mg-Maßstab begründet (engeres Boden/Lösungs-Verhältnis). Werden die Auslaugkurven um die Lagerungsdichte korrigiert, resultieren annähernd deckungsgleiche Verläufe. Im vorliegenden Fall kann daher das Auslaugverhalten anhand von Untersuchungen im Labormaßstab (Festbettvolumen 2 l) hinreichend genau quantifiziert werden.

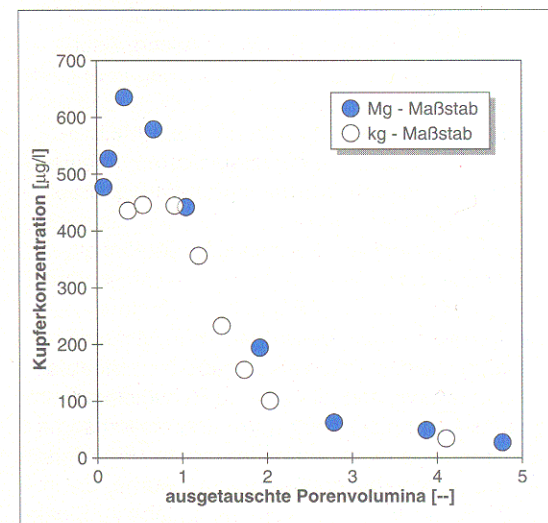
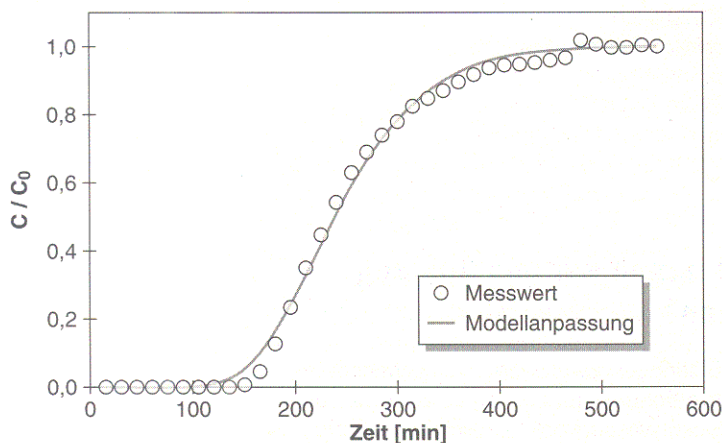


Abb. 5: Ergebnisse von Tracerexperimenten (C/C_0 = normierte Konzentration) im Labormaßstab: Bromid-Durchbruchskurve

Abb. 6: Kupferkonzentration bei der Auslaugung von Müllverbrennungsschlacke im kg- und Mg-Maßstab

Ist die Schadstofffreisetzung abhängig von der Verweilzeit des Elutionsmittels?

Die maximale Schadstoffemission wird dann beobachtet, wenn das Konzentrationsgleichgewicht zwischen Festphase und Elutionsmittel erreicht ist. Unter natürlichen Bedingungen hängt dies in erster Linie von der Kinetik des Stoffübergangs fest/flüssig, der Fließgeschwindigkeit und der vertikalen Ausdehnung der Kontamination ab. Experimentell kann eine Verweilzeitabhängigkeit von Schadstoffkonzentrationen anhand gezielter Flussunterbrechungen geprüft werden. In Abbildung 7 wird dies am Beispiel eines chromkontaminierten Bodens dargestellt. Die Konzentration nimmt mit der Verweilzeit (Dauer der Flussunterbrechung) zu. In solchen Fällen resultieren in Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität stark fluktuierende Sickerwasserkonzentrationen.

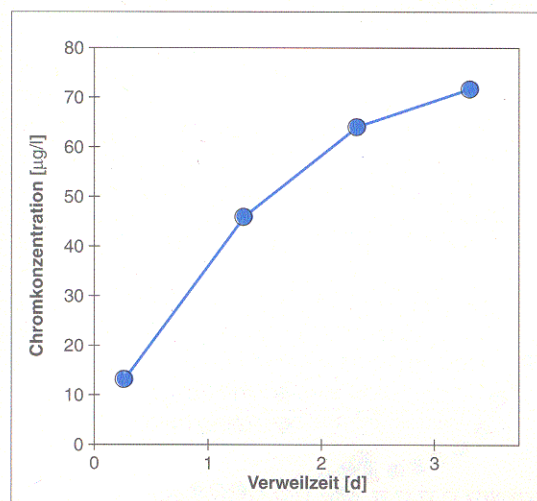


Abb. 7: Chromfreisetzung aus dem Boden eines ehemaligen Holzimprägnierwerks als Funktion der Verweilzeit; das Gleichgewicht wurde im Rahmen der Flussunterbrechung nicht erreicht

Unsere bisherigen Erfahrungen zeigen, dass es bei entsprechender Versuchsdurchführung gelingt, wesentliche umweltrelevante Eigenschaften eines Abfalls, Bodens oder einer Altlast anhand des Verlaufs von Auslaugkurven qualitativ und quantitativ zu beschreiben.

Diese Ergebnisse dienen uns sowohl zur Identifikation von Freisetzungsprozessen (z.B. Desorption vs. Lösung) als auch zur Bewertung des Erfolgs von Immobilisierungsmaßnahmen.

Dr. Harald Weigand
Tel.: 0821/7000-283,
josef-vogl-technikum@lfu.bayern.de

Silke Müller
Tel.: 0821/7000-284,
josef-vogl-technikum@lfu.bayern.de