

E 1-11 Vergleichende Bewertung der Sperr- und Rückhaltewirkung mineralischer Abdichtungen

Stand: Bautechnik 2002

1 Allgemeines

Die Sperr- und Rückhaltewirkung einer mineralischen Abdichtungsschicht wird von komplexen chemischen und physikalischen Prozessen bestimmt. In Tabelle 1 sind diese zusammengestellt, wobei in der rechten Spalte wichtige Einflüsse aufgeführt sind, die bei der fallspezifischen Beschreibung der Prozesse zu berücksichtigen sind.

Tabelle 1-11.1: Für das Rückhaltevermögen eines Bodens gegenüber wasserlöslichen Stoffen relevante Prozesse

Prozess	zu berücksichtigende Einflüsse
<ul style="list-style-type: none"> - advektiver Stofftransport - molekulare Diffusion - Filtration - Fällung (bei Konzentrationen oberhalb des Löslichkeitsproduktes) - Adsorption (bei niedrigen Konzentrationen) hauptsächlich Ionenaustausch - Desorption - Einbau (im inneren der Strukturen) (langsamer Prozess von untergeordneter Bedeutung) - chemischer und biologischer Abbau (aerob, anaerob) 	<ul style="list-style-type: none"> Hydraulischer Gradient Konzentration Schadstoff pH-Wert Temperatur Redoxbedingungen Oberfläche des Bodens (KAK) Porenraumstruktur Wasserhaushalt zeitliche Entwicklung der Einflüsse

Eine quantitative Beschreibung der aufgeführten Prozesse unter Berücksichtigung der realen, standortspezifischen Gegebenheiten ist schwierig. Advektion, Diffusion, Dispersion, Sorption und auch Abbauvorgänge, die sich als Reaktion 1. Ordnung beschreiben lassen, können zwar vergleichsweise einfach mathematisch modelliert werden (E1-10), es ist jedoch nur unter Annahme idealisierter Bedingungen möglich, die für die Modellierung benötigten Einflüsse und Parameter der Modelle entsprechend den standortspezifischen Gegebenheiten, insbesondere für Stoffgemische, zu bestimmen.

Aus diesem Grund bietet es sich an, eine vergleichende Bewertung der Sperr- und Rückhaltewirkung vorzunehmen. Als Vergleichsmaßstab zu dem Verhalten der gewählten tonmineralogischen Kombination kann dabei beispielsweise die Abdichtungs- und Sperrwirkung der Regelabdichtungssysteme unter Berücksichtigung der jeweils gleichen, maßgeblichen Einflüsse und Lastfälle verwendet werden. Ausführliche Hinweise zur Ableitung der zu berücksichtigenden Lastfälle finden sich in den Grundsätzen für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen des DIBt (1995), siehe Anhang GDA-Empfehlungen, 3. Auflage 1997 und bei Jessberger/ Heibrock (1995).

2 Quantitativer Vergleich der Rückhaltewirkung

Sind die maßgeblichen Einflüsse zusammengestellt und die für diese Einflüsse und die vorgesehenen Materialien maßgeblichen Prozesse für die Rückhaltung beschrieben, so kann das in E1-10 dargestellte Stofftransportmodell für die Bewertung der Barrierewirkung verwendet werden. Mögliche, durch die Einwirkungen bedingte Änderungen in den Materialeigenschaften sind dabei zu berücksichtigen.

Da entsprechend ausgewählte Kombinationen von Tonmineralen beträchtliche Mengen an organischen und anorganischen Schadstoffen zurückhalten können, wird im folgenden, ergänzend zu den Ausführungen in E1-10 die Möglichkeit aufgezeigt, die Rückhaltewirkung einer mineralischen Abdichtungsschicht auf Grundlage der in E 3-3 skizzierten tonmineralogischen Untersuchungen und der in E 1-10 gegebenen Hinweise zur Bestimmung der Parameter und Koeffizienten zu bewerten.

Ist der für die Rückhaltung maßgebliche Prozess die Ionenbindung, so bietet die Kationenaustauschkapazität (KAK) eine Möglichkeit der Bewertung. Diese kennzeichnet die Summe der austauschbaren Kationen bzw. Anionen in (mmol/z)/kg (ehemals Milliäquivalent je 100 g Substanz - mval/100 g). Milliäquivalent errechnen sich mittels Division des Molgewichtes durch die Wertigkeit des vorliegenden Ions. Das Molgewicht kann dem Periodensystem der Elemente entnommen werden. Für einen Boden, der z.B. einen Illitgehalt von 30 % aufweist, wobei man dem Illit eine durchschnittliche Kationenaustauschkapazität von 25 mval/100 g zuordnen kann und der eine Trockendichte von 2 t/m³ aufweist, ergibt sich gemäß Gleichung (1) eine Sorptionskapazität für 2-wertige Zinkionen von ca.4,9 kg/m³ Boden.

$$\begin{aligned}
 & \text{Dichte Boden} \\
 & (0,3 \cdot 250(\text{mmol/z})/\text{kg} \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3 = \{150000 (\text{mmol/z})\}/\text{m}^3 \quad (1) \\
 & \begin{array}{|c|} \hline \text{Tonmineralanteil} \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline \text{Kationenaustauschkapazität für Illit} \\ \hline \end{array} \\
 & \approx \{ (65,39 \cdot 10^{-3}) \cdot 150000 / (2) \} \text{ g}/\text{m}^3 \text{ sorbierte Masse Zink} \\
 & \begin{array}{|c|} \hline \text{Molgewicht Zink} \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline \text{Wertigkeit Zink} \\ \hline \end{array}
 \end{aligned}$$

Dieser Wert stellt jedoch eine obere Grenze für die Sorptionskapazität bezogen auf einen pH-Wert von 8,2 dar (potentielle KAK), da bei der Bestimmung der KAK der Einfluss der Struktur des Bodens nicht berücksichtigt wird und die tatsächliche (effektive) KAK mit sinkendem pH-Wert kleiner wird. In Bild 1 (Blume 1990) sind Anhaltswerte für die KAK in Abhängigkeit von der Bodenart zusammengestellt. Je nach dem, welche Tonminerale im Boden überwiegen, sind die KAK-Werte mit einem Faktor zu multiplizieren (Illit: Faktor 1; Smectit: Faktor 2,5; Kaolinit: Faktor 0,3).

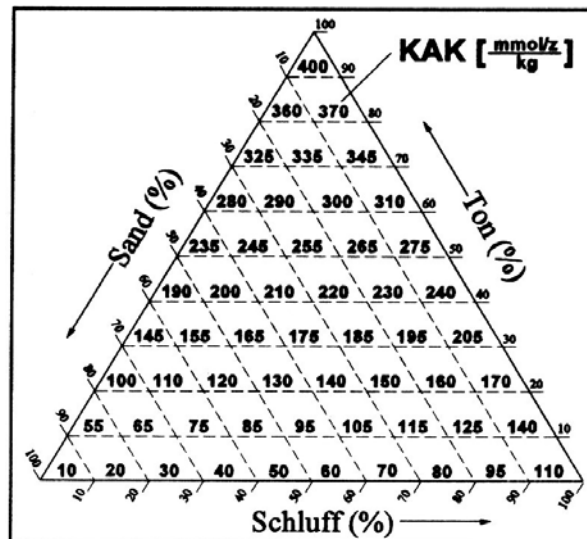
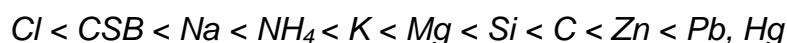


Bild 1-11.1.: Kationenaustauschkapazität in Abhängigkeit von der Bodenart (nach Blume 1990)

Unterschiedliche Kationen bzw. Anionen werden unterschiedlich stark sorbiert. Höherwertige Kationen werden stärker sorbiert als niederwertige. Für einige Ionen lässt sich folgende Rangfolge bezüglich der Sorption an Tonmineralen aufstellen:



Zu erkennen ist eine relativ starke Sorption der Schwermetalle, bzw. eine minimale Sorption von Chlorid. Chlorid wird aus diesem Grund als perserveranter Stoff bezeichnet. Insbesondere für Schwermetalle lässt sich damit das potentielle Rückhaltevermögen tonmineralogisch unterschiedlich zusammengesetzter mineralischer Abdichtungsschichten anhand der KAK quantitativ vergleichen.

Für die Bewertung des Adsorptionsvermögens gegenüber organischen Schadstoffen kann häufig die in E1-10 beschriebene lineare Adsorptionsisotherme verwendet werden. Die Vergleichsgröße ist in diesem Fall der Adsorptionskoeffizient K_d . Je größer der K_d – Wert eines Stoffes ist, desto mehr Schadstoffmoleküle werden adsorbiert. Da der Adsorptionskoeffizient stark boden- und substanzabhängig ist und eine große Streubreite aufweist wird vielfach eine auf den Kohlenstoffgehalt bezogene Adsorptionskonstante K_{OC} für die Beschreibung des

Adsorptionsvermögens herangezogen:

$$K_{OC} = K_d / C_{Org} \quad \text{mit } C_{Org} \text{ organischer Kohlenstoffgehalt [-].}$$

Weitere wichtige Eigenschaften für die Bewertung der Sperr- und Rückhaltewirkung sind die Wasserlöslichkeit der organischen Schadstoffe und die Stärke der hydrophoben Eigenschaften, d.h. der Polarität. Letztere lässt sich durch den n-Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizienten K_{OW} charakterisieren, der nicht von den Eigenschaften des Bodens abhängig ist. Je höher der K_{OW} - Wert, desto stärker lagert sich der Schadstoff an den Huminstoffen des Bodens an. In Tabelle 1-11.2 sind die entsprechenden physikalisch-chemischen Eigenschaften ausgewählter organischer Schadstoffe zusammengestellt (Lewandowski et al 1997). Die K_{OC} - Werte sind dabei als Anhaltswerte zu Vergleichszwecken für den Fall zu sehen, dass keine genaueren Untersuchungen zum Adsorptionsverhalten und zur Bodenart vorliegen.

Tabelle 1-11.2: Physikalisch-chemische Eigenschaften ausgewählter organischer Stoffe (aus Lewandowsky et al 1997)

Schadstoff		Dampfdruck P^0 bei 25 °C [Pa]	Wasserlöslichkeit C_w bei 25 °C [mg/L]	n-Octanol-Wasser/Verteilungskoeffizient K_{ow} bei 25 °C [-] ^a	K_{OC} -Wert [L/kg]	Mobilität im Boden
BTX	Benzol	12.700	1790	135	83	gut mobil
	Toluol	3.850	520	490	95	gut bis mäßig mobil
	Xylol	175	800 ^b	1.600	210	mäßig mobil
PAK	Naphthalin	10	31,7	2.300	870	ziemlich immobil, je höher die Ringzahl, desto stärker festgelegt
	Anthracen	$8 \cdot 10^{-4}$	0,07	35.000	26.000	
	Pyren	$6 \cdot 10^{-4}$	0,14	135.000	62.700	
	Benzo(a)pyren	$7 \cdot 10^{-7}$	0,003	3.200.000	4.510.650	
PCB (Cl ₁ - Cl ₁₀)		$5 \cdot 10^{-8} - 2$	$1,4 \cdot 10^{-5} - 5$	12.300 - 170.000.000	3.300 - 195.000	ziemlich immobil, höherchlorierte PCB sind stärker festgelegt
Dioxine	2,3,7,8-TCDD	$9 \cdot 10^{-8}$	$200 \cdot 10^{-6}$	50.000.000	8.000.000	sehr immobil
Phthalate	Di-(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP)	$6 \cdot 10^{-6b}$	0,34 ^b	100.000 ^b	87.420	wenig mobil; Mobilisierung durch gelöste Fulvosäuren möglich
LCKW	Dichlormethan	47.000	14.000 ^b	18	7 - 36	relativ gut mobil, abhängig vom Chlorgehalt
	1,1,1-Trichlorethan	13.300	300	300	55 - 178	
	Trichlorethen	9.900	1200	265	50 - 360	
	Tetrachlorethen	2.500	150	750	100 - 220	
Aliphatische Kohlenwasserstoffe (C ₅ - C ₁₈ , ≈ MKW)		0,0217 - 70.000	0,002 - 40	4.200 - 150.000	k. A. ^c	je nach Kettenlänge der Alkane mehr oder weniger mobil

Literatur zu E 1-11:

- [1] BLUME, H. P. (HRSG.): Handbuch des Bodenschutzes, Bodenökologie und Bodenbelastung; vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. (1990)

- [2] JESSBERGER, H.L.; HEIBROCK, G.: Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes für Deponieabdichtungssysteme. Forschungsbericht BMBF 1440 569 A5 – 01 (1995)

- [3] LEWANDOWSKI, J.; LEITSCHUH, J.; KOß, V.: Schadstoffe im Boden, Berlin, Heidelberg, New York : Springer-Verlag 1997

- [4] DIBT: Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen, Anhang GDA-Empfehlungen, (1995). 3. Auflage 1997