

Durch den extensiven Säureangriff wird eine SiO₂-reiche Oberfläche des Montmorillonites erzeugt. Die hier dargestellten Ergebnisse indizieren, dass sich die Kieselsäure ab einem bestimmten Zersetzungsgrad reorganisiert, was durch das bevorzugte Entstehen von 3-dimensionalen Si-O-Si-Verknüpfungen charakterisiert wird. Damit einher geht die Entstehung eines Mesoporensystems, das synthetischen Kieselgelen ähnelt.

Literatur

- Farmer, V.C., Russell, J.D. (1964): The infrared spectra of layer silicates. – *Spectrochimica acta*, **20**, 1149-1173.
- Janek M., Komadel P. (1999): Acidity of proton saturated and autotransformed smectites characterized with proton affinity distribution. *Geologica Carpathica*, **50**, 373-378.
- Kaufhold, S. (2001): Untersuchungen zur Eignung von natürlich alterierten sowie mit Oxalsäure aktivierten Bentoniten als Bleicherde für Pflanzenöle; Dissertation der RWTH-Aachen.

TONE IN DER UMWELTTECHNIK – DICHTWANDMATERIALIEN, 10 JAHRE FORSCHUNG

A. R. Knaak¹, B. Knaak², H. Hörzenberger³, B. Schwaighofer³, F. Ottner³

¹ *Amt der Burgenländischen Landesregierung, Abteilung 8 - Straßen-, Maschinen und Hochbau, Referat Bodenerkundung, Europaplatz 1, A-7000 Eisenstadt*

² *Amt der Burgenländischen Landesregierung, Abteilung 9 – Wasser- und Abfallwirtschaft, Europaplatz 1, A-7000 Eisenstadt*

³ *Institut für Angewandte Geologie, Universität für Bodenkultur Wien, Peter Jordan-Straße 70, A-1190 Wien*

1 Einleitung

Dichtwandmassen werden bei der Errichtung von Schmal- u. Schlitzwänden zur Sicherung von Altlasten eingesetzt. Dabei soll sowohl der Zutritt von Grundwasser in die Altlast unterbunden, wie auch der Austritt von kontaminiertem Sickerwasser minimiert werden.

Im Unterschied zur herkömmlichen Anwendungsweise der Dichtwände im Wasserbau werden in der Altlastensicherung die Dichtwandmassen mit unterschiedlichen Rezepturen und mit viel höheren Wasser/Feststoff-Verhältnissen hergestellt. Diese Dichtwandmassen sind teils aggressiven Sickerwässern und Schadstoffen ausgesetzt, sodass aufgrund von wasserbaulichen Erfahrungen nicht ohne Vorbehalt auf eine ausreichende Langzeitbeständigkeit geschlossen werden kann.

Am Institut für Angewandte Geologie der Universität für Bodenkultur Wien wurden unter der Projektleitung von Univ.Prof. Dr. B. Schwaighofer seit 1992 folgende Projekte durchgeführt:

- [1] Perkolationsversuche an Schmal- und Schlitzwandmassen der Hausmülldeponie St. Valentin (SOYOYE, 1994).
- [2] Untersuchungen über die Beständigkeit von Schmalwandmaterialien unter dem Einfluss von kontaminierten Wässern (KNAAK, 1995).
- [3] Untersuchungen über die Langzeitauswirkungen des Schadstofftransportes in Dichtwandmaterialien bei Umschließungen von Deponien und Altlasten (KNAAK, 1998).
- [4] Schmalwandmaterialien unter dem Einfluss kontaminierter Wässer (HÖRZENBERGER et al., 2002).

Bei der Umschließung der Hausmülldeponie St. Valentin in Niederösterreich wurden Rückstellproben der verwendeten Schmal- u. Schlitzwandmasse untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Schmalwandmasse sowohl von basischen wie auch sauren Prüfflüssigkeiten teilweise stark angegriffen wurde, während die Schlitzwandmasse weitgehend unbeeinträchtigt blieb (SOYOYE, 1994).

Für zwei Folgeprojekte konnten für die gegenständlichen Untersuchungen Versuchsproben direkt aus der seit 1986 bestehenden Umschließung der Abfalldeponie am Rautenweg in Wien und der 1990 errichteten Umschließung der Deponie „Lackenjöchel“ entnommen werden (KNAAK, 1995, KNAAK, 1998).

Die ungestörten Proben wurden hinsichtlich ihrer physikalischen und mineralogisch-chemischen Parameter untersucht und - unter Einsatz verschiedener Prüflüssigkeiten - Lagerungs-, Perkolations-, Batch- und Diffusionsversuchen unterzogen. Die Untersuchungsergebnisse zeigen die gute Beständigkeit der verwendeten Dichtwandmaterialien (KNAAK, 1995, SCHWAIGHOFER et al., 1996, KNAAK et al., 1996 und KNAAK et al., 1997) und geben Aufschluß über den möglichen Schadstoffaustrag durch ein Umschließungsbauwerk unter verschiedenen Randbedingungen (KNAAK, 1998).

Im Gegensatz zu diesen Projekten befasste sich die letzte Arbeit (HÖRZENBERGER et al., 2002) nicht mehr mit Rückstell- und Sonderproben von Dichtwänden, sondern es wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes das Abbindeverhalten kontaminierter Schmalwand-suspensionen untersucht. Ziel der Studie war es, die Auswirkung kontaminierter Anmach-wässer auf die Suspensionseigenschaften, das Abbindeverhalten sowie auf die Eigenschaften der erhärteten Schmalwandmasse zu untersuchen.

2 Material und Untersuchungsmethodik

Bei der Umschließung der Hausmülldeponie St. Valentin wurden Fertigmischungen eingesetzt. Es handelte sich um eine Mischung aus einem Fertigprodukt der Fa. Dyckerhoff, Wiesbaden, mit der Bezeichnung SOLIDUR® 274c.

Die Schmalwandmasse besteht aus Solidur® 274c, einem Dolomitsteinmehl und Leitungswasser.

Schmalwandmasse: 150-170kg Solidur® 274c
500kg Steinmehl
760kg Wasser

Die Schlitzwandmasse besteht gänzlich aus dem Fertigprodukt der Fa. Dyckerhoff, Wiesbaden, mit der Bezeichnung SOLIDUR® 274 sowie Leitungswasser.

Schlitzwandmasse: 250kg Solidur® 274
912 l Wasser

SCHWEITZER, 1991 gibt für Solidur® 274 folgende Inhaltsstoffe an:

10 - 60 Gew.% Natriumbentonit
36 - 81 Gew.% Hüttensand
2 - 4,5 Gew.% Anreger insbesondere Portlandzementklinker
2 - 4,5 Gew.% Kieselsäure (dispers)

Die zu untersuchenden Proben wurden direkt der Mischmaschine entnommen, in Styroporzylinder gegossen und bis zur Bearbeitung unter Wasser gelagert.

Die Deponie am Rautenweg in Wien wurde 1986 durch die Herstellung einer Umschließung mit dem „Wiener Dichtwandkammersystem“ gesichert, wobei sowohl die Schlitzwand- wie auch die Schmalwandbauweise zur Anwendung kamen.

Bei der Errichtung bzw. für die Herstellung der untersuchten Dichtwände wurden sogenannte „konventionelle“ Materialmischungen verwendet, deren Rezepturen in Tabelle 1 zusammengestellt sind.

Tab.1.: Mischungsverhältnisse der Schmal- bzw. Schlitzwandmasse bei der Herstellung [Masse-Anteil %], (KNAAK, 1995)

	Schmalwand	Schlitzwand
Kalziumbentonit [% Feststoffmasse]	13,9	52,7
Hochofenzement [% Feststoffmasse]	16,6	46,1
Kalksteinmehl [% Feststoffmasse]	69,5	
Dynagrout [% Feststoffmasse]		1,2
Wasser [% Gesamtmasse]	43,8	72,5

Bei der Umschließung der Deponie Lackenjöchel im Jahre 1990 wurde folgende Schmalwandmischung verwendet (je m³):

2% Kalziumbentonit
3% Natriumbentonit
18,4% HOZ 275
76,5% Kalksteinmehl

Für die Probenahme wurden entlang der Umschließungen bis zu 10 m Tiefe Schürfe hergestellt und Bohrkern aus beiden Ausführungsvarianten gewonnen.

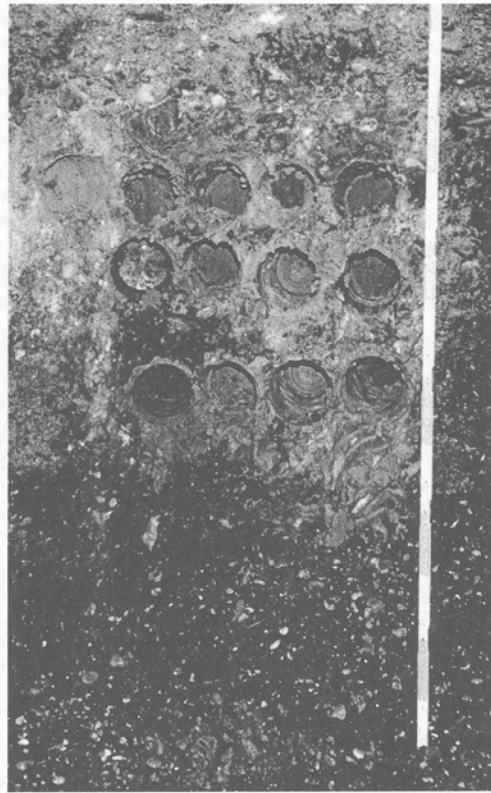


Abb.1.: Beprobte Schlitzwand (KNAAK, 1995)

Bei der Freilegung der untersuchten Dichtwände für die Probenahme wurden im besonderen zunächst folgende Aspekte visuell beurteilt:

- Die Eindringzone der Suspension in das Material des anstehenden Untergrundes, innerhalb der - während der Dichtwandherstellung - ein Filterkuchen gebildet wird, über den der hydrostatische Druck der frischen Suspension in den Untergrund übertragen werden kann und deren Ausmaß für die maßgebende Wanddicke bedeutend ist.
- Die Homogenität des Wandmaterials, die Hinweise auf die Stabilität der Suspension bzw. etwaige Entmischungerscheinungen liefert.
- Eventuell vorhandene Fehlstellen in der Dichtwand, sei es durch "ausgewichene" Bohlenstiche oder erst später aufgetretene Ursachen, wie Erosion oder auch Brüche im Untergrund.

- Erkennbare Veränderungen der Materialeigenschaften - wie etwa Färbung oder Festigkeit - die aus dem Kontakt mit kontaminierten Grundwässern oder Deponiesickerwässern abzuleiten sind.

Die Proben wurden aus den inneren Dichtwänden und zwar aus dem kontaminierten Grundwasserbereich wie auch oberhalb des Grundwasserspiegels entnommen.

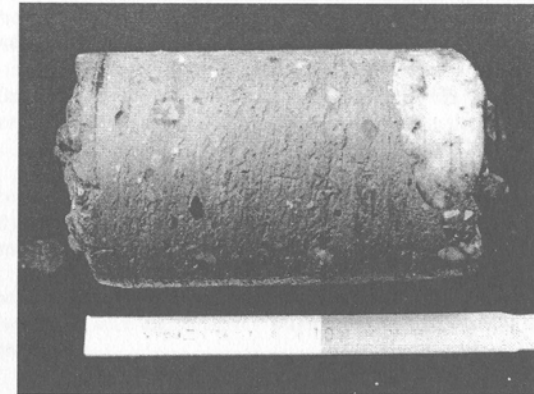


Abb.2.: Bohrkernprobe aus der Schmalwand (KNAAK, 1995)

Bekanntlich kommt es bei der Herstellung von Dichtwänden zu einer unterschiedlichen Durchmischung mit den im Untergrund anstehenden Sanden und Kiesen. Diese Durchmischung zeigt sich bei Schlitzwänden deutlich geringer als bei Schmalwänden, was nicht nur aus einem Vergleich der Korngrößenverteilungen (Abb.3.), sondern auch aus der mineralogischen Zusammensetzung der Proben ersichtlich ist.

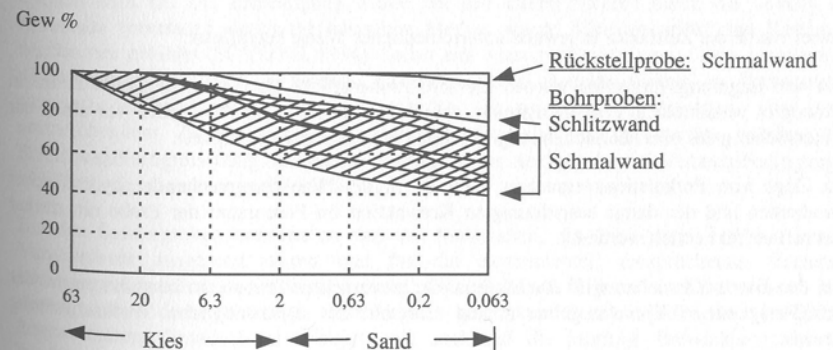


Abb. 3.: Vergleich der Korngrößenverteilung der Rückstellprobe aus einer Schmalwand mit Bohrproben aus Schmal- bzw. Schlitzwand

Die tatsächliche Zusammensetzung der Wände unterscheidet sich von jener der verwendeten Dichtwandmassen

- durch den geringeren Wassergehalt, was auf die Filtratwasserabgabe zurückzuführen ist und
- durch den Gehalt an Quarz, Feldspäten und z.T. auch Karbonaten, der durch die Sedimenteinnischung während der Wandherstellung verändert wird (KNAAK, 1995).

Bei den Rückstell- und Sonderproben wurden zuerst folgende Parameter ermittelt:

- Physikalische Parameter

- Feststoffdichte
- Trockendichte
- Porenanteil
- Wassergehalt
- Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert)
- Druckfestigkeit

- Mineralogische Zusammensetzung

- Chemische Zusammensetzung

Um die Möglichkeiten der Veränderungen in den Dichtwandmaterialien durch verschiedene kontaminierte Wässer zu untersuchen, wurden

- an den Rückstellproben der Umschließung St. Valentin Batch- und Perkolationsversuche, und
- an ungestörten Proben aus den Umschließungen Rautenweg und Lackenjöhchel Lagerungsversuche, Perkolationsversuche und Batch-Versuche und schließlich Diffusionsversuch durchgeführt.

Dabei wurde der Zeitfaktor in jeweils unterschiedlicher Weise beeinflusst:

Bei den Lagerungsversuchen werden kleinere Probenstücke über einen längeren Zeitraum hinweg in verschiedene Prüflüssigkeiten eingelagert. Diese Versuche dienen vor allem zur Untersuchung des oberflächlichen Angriffs durch die Lagerungslüssigkeit.

Im Zuge von Perkolationsversuchen kann durch die Wahl entsprechender hydraulischer Gradienten und der damit beschleunigten Konvektion im Porenraum der Probe ein starker Zeiträffereffekt erzielt werden.

Bei den Batch-Versuchen wird das Material der untersuchten Proben am intensivsten mit der Prüflüssigkeit in Kontakt gebracht und dadurch die stärkstmögliche Wechselwirkung bewirkt.

Als Prüflüssigkeiten wurden für alle drei Arten von Versuchen jeweils das kontaminierte Grundwasser aus dem untersuchten Deponiestandort, zwei synthetische Sickerwässer (SIWA 1 und SIWA 2) und zu Vergleichszwecken Wiener Leitungswasser verwendet. Die synthetischen Sickerwässer wurden nach der Rezeptur laut GDA (Geotechnik der Deponien

und Altlasten", 1993) hergestellt „SIWA 1“, bzw. einem betonangreifenden Originalsickerwasser nachempfunden „SIWA 2“ nach HERMANN, 1993.

Zur Beobachtung des Diffusionsverhaltens von Schadstoffen durch die Dichtwandmaterialien wurden Diffusionsversuche an ungestörten Bohrkernen aus Schlitzwand und Schmalwand in einer eigens entwickelten Versuchsanordnung durchgeführt.

Dabei wurde die Versuchsprobe in einen beidseitig offenen Glaszylinder an dessen Basis eingebaut und dieser mit der Prüflüssigkeit angefüllt. Der Zylinder mit der Probe befand sich wiederum in einem Behälter, der mit entionisiertem Wasser gefüllt wurde. Zwischen der Prüflüssigkeit innerhalb und dem Wasser außerhalb des Glaszylinders wurde dabei kein hydraulischer Gradient eingestellt. Der Ionentransport durch die Poren der Versuchsprobe wurde daher nur infolge des Konzentrationsgefälles zwischen deren Ober- und Unterseite bewirkt.

Die Lagerungsbehälter wurden mit leicht abhebbaren Deckeln verschlossen und Proben für chemische Analysen konnten sowohl aus der Innenlösung wie auch aus der Außenlösung jederzeit von oben her entnommen werden.

Für diese Versuche wurden die synthetischen Sickerwässer „SIWA 1“, und „SIWA 2“ und - zu Vergleichszwecken - auch entionisiertes Wasser mit einer Reihe von Schwermetallen und mit Phenol angereichert.

3 Ergebnisse der Untersuchungen

Die Rückstellproben der Schmalwandmasse der Umschließung der Deponie St. Valentin (SOYOYE, 1994) wurden von demineralisiertem Wasser, Bleichchloridlösung (0,005molar) und Natronlauge (1molar) praktisch nicht beeinträchtigt. Jedoch griffen sowohl basische (kontaminiertes Grundwasser und Sickerwasser) wie saure Prüflüssigkeiten (synthetisches Sickerwasser und 1molare Salzsäure) die Schmalwandmasse bis zu 2/3 der Gesamtprobe überaus stark an. Die Entfestigung wurde bei den sauren Medien durch die Lösung der Karbonate verursacht, durch die basischen Medien wurde Silizium gelöst und Karbonate wurden neu gebildet (SOYOYE, 1994). Selbst eine massive Entfestigung führte nicht immer unmittelbar zu erhöhten k_f -Werten, da die gelösten Anteile vorerst in Porenräumen darunterliegender Bereiche ausgefällt wurden. Es ist aber zu erwarten, dass nach entsprechendem Zeitraum auch die untersten Bereiche zerstört werden würden. Die Schlitzwandfertigmischung *Solidur@274* wurde unter den gegebenen Versuchsbedingungen nicht bzw. deutlich geringer beeinträchtigt.

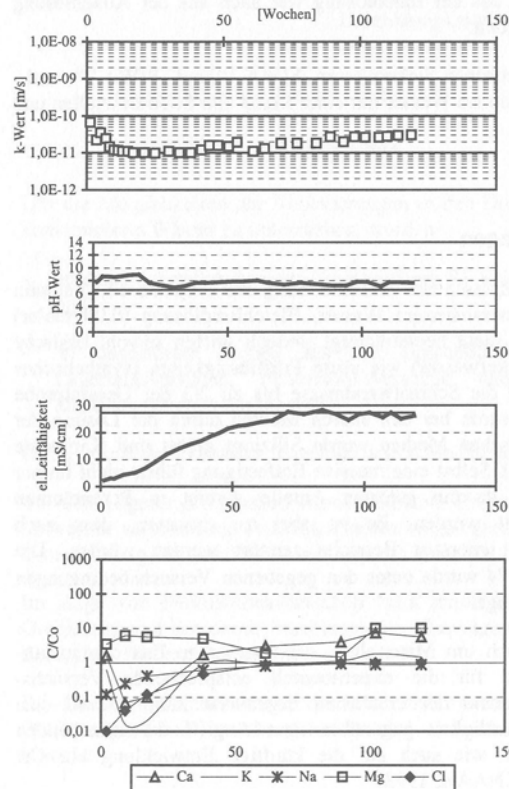
Bei den Sonderproben handelte es sich um Materialien, die über lange Zeit den in situ-Verhältnissen ausgesetzt waren und für die experimentell entsprechende Versuchsbedingungen geschaffen wurden. Anhand der erhaltenen Ergebnisse kann sowohl eine Aussage über deren bisherige Beständigkeit gegenüber dem Angriff der anstehenden kontaminierten Grundwässer erfolgen, wie auch auf die künftige Entwicklung vor Ort geschlossen werden (KNAAK, 1995, KNAAK, 1998)

Bei der Freilegung zeichneten sich die Wände als fester Körper deutlich gegen das in ihrer Umgebung anstehende Material ab. Der Querschnitt ist mit dem sandigen Kies des Quartärs durchmischt, im Kern schwächer als in den Randbereichen. Besondere Inhomogenitäten, die auf Entmischungserscheinungen schließen lassen, können nicht festgestellt werden. Ebenso

zeigen sich keinerlei Fehlstellen (weder durch Herstellungsfehler, noch durch Erosion oder Grundbrüche). Entfestigungen oder Aufweichungen des Dichtwandmaterials konnten weder oberhalb, noch unterhalb des Grundwasserspiegels festgestellt werden.

Im Zuge der durchgeführten Lagerungsversuche wurden die Materialien aller untersuchten Dichtwände für Zeiträume bis zu einem Jahr den genannten Prüfflüssigkeiten ausgesetzt. Innerhalb dieses Beobachtungszeitraumes zeigten sich keine Veränderungen der Dichtwandmaterialien. Durch die Perkolationsversuche, die bis zu drei Jahre andauerten, konnten z.T. Veränderungen der Probenmaterialien durch die verwendeten Prüfflüssigkeiten festgestellt werden.

Bei den ausgebauten Probekörpern, die zerteilt und anschließend auf Veränderungen gegenüber dem Ausgangsmaterial untersucht wurden, zeigten die Materialien eine deutliche Änderung der Färbung. Die Festigkeit der perkolierten Bohrkerns hatte in der Mehrzahl der Fälle abgenommen, wenngleich deren Durchlässigkeit weitgehend noch unverändert geblieben war.



Für die Versuchsdurchführung wurden hydraulische Gradienten von $i = 30 - 210$ gewählt. Die beobachteten Durchlässigkeitsbeiwerte liegen in der Größenordnung von $k_f = 1,2 \cdot 10^{-12} - 5,7 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$, wobei einige Versuche in der k_f -Wert-Entwicklung eine kontinuierliche Zunahme zeigten. Beispielhaft für die durchgeführten Versuche ist der Perkolationsverlauf einer Schlitzwandprobe mit dem synthetischen Sickerwasser SIWA 2, in Abbildung 4 dargestellt.

In ihrer mineralogischen Zusammensetzung hatten sich die Proben durch die Perkolations mit dem örtlichen, kontaminierten Grundwasser nicht signifikant verändert.

Bei den Proben aus den Vergleichsversuchen mit Wiener Leitungswasser zeigten sich keine mineralogischen Veränderungen der Materialien und die Festigkeit der Proben war etwas höher als bei den mit Grundwasser perkolierten.

Abb. 4: Schlitzwandprobe mit SIWA 2 perkoliert

Den stärksten Einfluss auf die untersuchten Materialien hatte erwartungsgemäß die Perkolations mit dem sauren SIWA 1: Die Schmalwandmaterialien waren von der Perkolationsstromseite her deutlich aufgehellt und es zeigte sich eine signifikante Reduzierung der Karbonate im oberen Bereich. Die Schlitzwandprobe war nach etwa dreijähriger Perkolations gänzlich entkarbonatisiert und auch die Probenabmessungen hatten infolge des Prüfflüssigkeitsangriffes messbar abgenommen.

Die Durchströmung mit SIWA 2 bewirkte bei keiner der Proben Änderungen in der mineralogischen Zusammensetzung.

Die Ergebnisse der Perkolationsversuche zeigen, dass bei ausreichend langer und intensiver Durchströmung der Dichtwandmaterialien Änderungen in deren mineralogischer Zusammensetzung und somit auch in deren Festigkeits- und Durchlässigkeitseigenschaften hervorgerufen werden können; ein hydraulisches Versagen der untersuchten Materialien konnte trotz der extremen Versuchsbedingungen (hohe hydraulische Gradienten) in keinem der Versuche beobachtet werden.

Die Diffusion von Chlorid erfolgte in allen Versuchen - unbeeinflusst vom pH-Wert der verschiedenen Lösungen - gleich: Sowohl für die Schmalwand- wie auch für die Schlitzwandproben ergab sich ein effektiver Diffusionskoeffizient von $D_{eff} = 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Tortuosität kann somit bei beiden Materialien mit $\tau = 4,9 \cdot 10^4$ angegeben werden.

Dies bedeutet, dass der volumenreichere Porenraum des Schlitzwandmaterials die Diffusion von Ionen durch "Geometrieeffekte" in derselben Größenordnung beeinträchtigt, wie dies beim Schmalwandmaterial - mit wesentlich geringerem Porenanteil - der Fall ist.

Beim diffusiven Transport von Phenol war ein wesentlich rascherer Konzentrationsausgleich zwischen Diffusions- und Auffanglösung zu beobachten als bei den Schwermetallen. Die festgestellten Diffusionskoeffizienten liegen im Bereich von $D_a = 2,9 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ beim Schmalwandmaterial und von $D_a = 1,5 - 4,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ beim Schlitzwandmaterial.

Für die Schwermetalle wurden Diffusionsbeiwerte von $D_a = 9,57 \cdot 10^{-13} - 2,30 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ festgestellt und die bestimmten Retardationskoeffizienten liegen mehrheitlich in der Größenordnung von $R = 1,04 - 1,25$ (für Nickel) und $R = 3,59$ (für Kupfer).

Obwohl für die Proben aus der Schmalwand vielfach Diffusionskoeffizienten in derselben Größenordnung ermittelt wurden wie für jene aus der Schlitzwand, ergeben sich aufgrund der größeren Dicke einer Schlitzwand längere Diffusionszeiten für die Durchdringung solcher Konstruktionen mit Schwermetallionen. Eine Übersicht über die zu erwartenden Zeiträume für den diffusiven Transport von Chlorid- und Schwermetallionen durch Dichtungswände zeigt Abbildung 5. In der Berechnung wurde dabei für Schmalwände eine Dicke von 10 cm und für Schlitzwände eine von 60 cm angenommen.

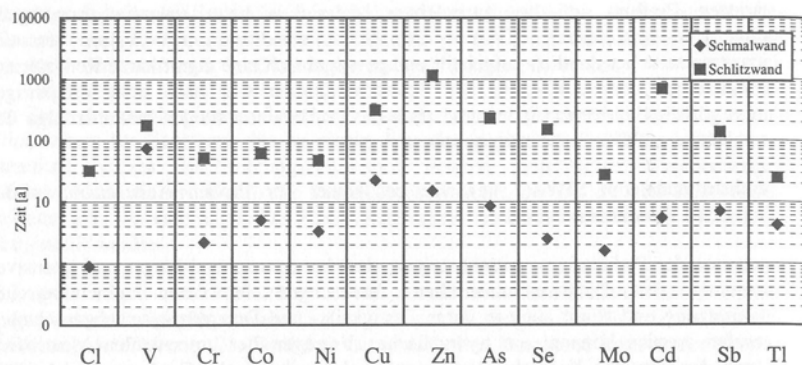


Abb.5.: Zusammenstellung der Diffusionszeiten für die Durchdringung von Schmal- und Schlitzwänden mit Chlorid- und Schwermetallionen (nach KNAAK, 1998)

Den Ergebnissen nach werden Schmalwände - bei Entfallen der Inversionsströmung in einem Umschließungsbauwerk - überwiegend nach einem bis zehn Jahren von den angeführten Schwermetallen infolge Diffusion "überwunden". Merklich längere Diffusionszeiten wären nur bei drei der in den Versuchslösungen eingesetzten Schwermetallionen (nämlich bei V, Cu und Zn) zu erwarten.

Im Falle von Schlitzwänden wäre dafür ein bedeutend größerer Zeitraum erforderlich: Hier liegen die ermittelten Diffusionszeiten für ca. die Hälfte der Schwermetalle im Bereich von Jahrzehnten, und für ebenfalls fast die Hälfte dieser Ionen in der Größenordnung von Jahrhunderten bzw. in einzelnen Fällen (z.B. Zn) von Jahrtausenden (KNAAK, 1998).

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse lassen darauf schließen, dass die untersuchten Schmalwände der Deponieumschließung am Rautenweg und der Altlastumschließung Lackenjöchel gegenüber den anstehenden kontaminierten Grundwässern mineralogisch-chemisch beständig sind. Bei den - in die Zeit extrapolierten - Analysen zeigten sich keine relevanten, die Dichtigkeitseigenschaften beeinflussenden Auswirkungen der angewandten Prüflüssigkeiten. Es ist davon auszugehen, dass die untersuchten Bauwerke seit ihrer Herstellung in Hinblick auf die an sie gestellten Anforderungen - durch einen eventuellen Einfluss der in situ anstehenden Grundwässer - keinen Schaden genommen haben.

4 Zusammenfassung

Für die Herstellung von Dichtwänden, die i.F.v. Schlitz- oder Schmalwänden zur Sicherung von Altlasten eingesetzt werden, stehen bei der Wahl der Baustoffe unterschiedliche Konzepte zur Verfügung. Je nach Art und Schwere der Kontamination eines Untergrundes zeigen sich völlig unterschiedliche Suspensionseigenschaften, die einen entscheidenden Einfluss auf die Eigenschaften der jeweiligen Dichtwand haben. Dieses Ergebnis ist im Bericht zum betreffenden Posterbeitrag im vorliegenden Tagungsband ausführlich publiziert (HÖRZENBERGER et al., 2002) und zeigte sich auch an den Rückstellproben aus einem neu errichteten Bauwerk (SOYOYE, 1994). Erfolgreich eingesetzte Dichtwandmaterialien haben u.a. in einer Fülle von Langzeitversuchen sehr gute Eigenschaften hinsichtlich Dichtheit und Schadstoffrückhaltevermögen bewiesen (KNAAK, 1995, KNAAK, 1998).

5 Literatur

- Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten" 1993: [Hrsg.]: Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau; Verlag Ernst und Sohn, Berlin.
- HERMANN, R., 1993: Sicherung von Altlasten mit vertikalen mineralischen Barriersystemen im Zweiphasen-Schlitzwandverfahren. - Institut für Geotechnik der ETH Zürich, 204, Zürich.
- HÖRZENBERGER, H., KNAAK, A.R., KNAAK, B., SCHWAIGHOFER, B., OTTNER, F., 2002: Schmalwandmaterialien unter dem Einfluss kontaminierter Wässer. In: OTTNER, F., GIER, S. [Hrsg.]: Berichte der DTTG 2002, Bd. 9, S.57-66, Wien.
- KNAAK, A.R., KNAAK, B., H., OTTNER, F., SCHWAIGHOFER, B., 1997: Long-term resistance of mineral sealing compounds. - Sixth International Landfill Symposium, Sardinien
- KNAAK, A.R., 1998: Untersuchungen über die Langzeitauswirkungen des Schadstofftransportes in Dichtwandmaterialien bei Umschließungen von Deponien und Altlasten. Diss. Univ. für Bodenkultur, Wien.
- KNAAK, B., 1995: Untersuchungen über die Beständigkeit von Schmalwandmaterialien unter dem Einfluss von kontaminierten Wässern am Beispiel der Deponieumschließung am Rautenweg und der Altlastumschließung Lackenjöchelgasse in Wien. Diss. Univ. für Bodenkultur, Wien.
- KNAAK, B., KNAAK, A.R., OTTNER, F., FRÖSCHL, H., SCHWAIGHOFER, B., 1996: Untersuchung der Dichtwände einer 10 Jahre alten Deponieumschließung, Berichte der DTTG 1996, Bd. 4, Freiberg.
- ÖNORM B 4452 (1998): Erd- und Grundbau; Dichtwände im Untergrund, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- SCHWAIGHOFER, B., KNAAK, B., OTTNER, F., FRÖSCHL, H., 1996: Untersuchungen über die Beständigkeit von Schmalwandmaterialien unter dem Einfluß von kontaminierten Wässern. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Sektion III, Wien, Schriftenreihe Abfallwirtschaft, 34.
- SCHWEITZER, F., 1991: Eignung von Fertigmischungen für Dichtungsschlitzwände. Wasserwirtschaft 81 (1991) 5, S.222-231.
- SOYOYE, H., 1994: Perkolationsversuche an Schmal- und Schlitzwandmassen der Hausmülldeponie St. Valentin. Dipl. Arbeit; Univ. für Bodenkultur Wien.