

Untersuchungen über die Auswirkung kontaminierter Anmachwässer auf das Abbindeverhalten von Schmalwandmassen

(Zusammenfassung der Dissertation)

Heinz HÖRZENBERGER

Dichtwandsysteme werden seit mehreren Jahrzehnten als vertikale Abdichtung zur Unterbindung von Grundwasserströmungen im Wasserbau, bei Baugrubenumschließungen und in steigendem Umfang in der Umwelttechnik zur Sicherung von Altlasten eingesetzt. In der Umwelttechnik gelangen vor allem Schlitz- und Schmalwände aus Bentonit-Zement-Suspensionen bzw. Bentonit-Zement-Steinmehl-Suspensionen zur Ausführung.

Dichtwände bei Deponieumschließungen sind, anders als im Wasserbau, häufig einem chemischen Angriff durch verunreinigte Wässer im Untergrund ausgesetzt.

Im Rahmen von Forschungsprojekten des Institutes für Angewandte Geologie wurden von KNAAK B. (1995) und SCHWAIGHOFER B. et al. (1996) die Beständigkeit von Schmalwandmaterialien unter dem Einfluss von kontaminierten Wässern am Beispiel der Deponieumschließung am Rautenweg und der Altlastumschließung Lackenjochlgasse in Wien untersucht. Untersuchungen über die Langzeitauswirkung des Schadstofftransportes in Dichtwandmaterialien bei Umschließungen von Deponien und Altlasten wurden von KNAAK A. R. (1998) durchgeführt. Bei diesen Forschungsprojekten konnten Untersuchungen an ungestörten Bohrkernen bestehender intakter Schmalwände der Deponieumschließung bzw. der Altlastumschließung durchgeführt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde das Abbindeverhalten kontaminierter Schmalwandsuspensionen untersucht. Im Zuge von Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen ist meistens ein Durchfahren von bereits kontaminiertem Untergrund unumgänglich, wobei die im Untergrund präsente Kontamination die frische, noch nicht erhärtete Dichtwandmasse negativ beeinflussen kann. Die bei Sicherungsmaßnahmen bereits im Untergrund bzw. im Grundwasser vorliegende Verunreinigung wurde durch die Verwendung kontaminierter Anmachwässer bei der Herstellung von Dichtwandmassen simuliert.

Ziel der Studie war es, die Auswirkung kontaminierter Anmachwässer auf die Suspensionseigenschaften, das Abbindeverhalten sowie auf die Eigenschaften der erhärteten Schmalwandmasse zu untersuchen.

Für die Untersuchungen wurde eine Schmalwandrezeptur verwendet, wie sie in den 80-er Jahren zur Sicherung von Altlasten in Wien eingesetzt wurde. Die Mischung für 1 m³ Schmalwandmasse besteht aus 121 kg Calciumbentonit, 145 kg HOZ 275, 605 kg Kalksteinmehl und 678 kg Wasser.

Als Anmachflüssigkeit wurden neben dem Leitungswasser der Stadt Wien die in Tabelle 1 angeführten synthetischen Sickerwässer verwendet.

Die Herstellung der Schmalwandmassen im Labor erfolgte mit einer Chargengröße von mehr als 15 Liter. Der Bentonit wurde mit einer Dissolverschleibe bei 3000 U/min in den verschiedenen Anmachflüssigkeiten 10 Minuten lang dispergiert. Nach einer Quellzeit von 24 Stunden wurden die restlichen Feststoffkomponenten, zuerst das

hydraulische Bindemittel und anschließend das Kalksteinmehl, bei einer Rührgeschwindigkeit von 1800 U/min zugegeben. Die Mischzeit betrug 5 Minuten und als Mischwerkzeug wurde ein mehrflügeliger Propellerrührer verwendet.

ANMACHFLÜSSIGKEIT	KONTAMINATION
S I	0,15 mol Natriumacetat (CH_3COONa) pro Liter; 0,15 mol Essigsäure (Eisessig) (CH_3COOH) pro Liter; 0,05 mol Glycin ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$) pro Liter; 0,007 mol Salicylsäure ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$) pro Liter
S II	8093 mg Chlorid (Cl) pro Liter; 1500 mg Sulfat (SO_4) pro Liter; 500 mg Ammonium (NH_4) pro Liter; 350 mg Calcium (Ca) pro Liter; 3500 mg Natrium (Na) pro Liter; 2000 mg Kalium (K) pro Liter; 300 mg Mangan (Mn) pro Liter
S ZN-1000	1000 mg Zink (Zn) pro Liter; 1896 mg Nitrat (NO_3) pro Liter
S ZN-3000	3000 mg Zink (Zn) pro Liter; 5689 mg Nitrat (NO_3) pro Liter
S ZN-6000	6000 mg Zink (Zn) pro Liter; 11379 mg Nitrat (NO_3) pro Liter
S PN-1000	1000 mg Blei (Pb) pro Liter; 598 mg Nitrat (NO_3) pro Liter
S PN-6000	6000 mg Blei (Pb) pro Liter; 3591 mg/l Nitrat (NO_3) pro Liter
S PN-9506	9506 mg Blei (Pb) pro Liter; 5689 mg Nitrat (NO_3) pro Liter

Tabelle 1: Zum Anmachen der Schmalwandmassen verwendete synthetische Sickerwässer.

Die Kontamination des Anmachwassers mit den Schwermetallen Zink und Blei verursachte bei den Schmalwandsuspensionen eine deutliche Verschlechterung der Filtratwasserabgabe. Das Absetzmaß der Schmalwandsuspension nach 2 Stunden blieb bei allen durchgeführten Versuchen innerhalb des von der ÖNORM B 4452 (1998) geforderten Bereiches von ≤ 2 Vol.-%.

Zur Untersuchung des Abbindeverhaltens wurden Eindringversuche mit dem Nadelgerät nach Vicat und Versuche mit der Laborflügelsonde durchgeführt. Dabei konnte der negative Einfluß einer steigenden Kontamination des Anmachwassers mit dem essigsäurehaltigen Sickerwasser S I auf das Abbindeverhalten der Schmalwandmasse gezeigt werden.

Die Kontamination der Anmachwässer mit den in Tabelle 1 angeführten synthetischen Sickerwässern führte zu Verschlechterungen der einaxialen Druckfestigkeit nach 28 Tagen und zu einer Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit (Bild 1).

Die Kontamination des Anmachwassers mit 6000 mg Zink pro Liter (Sickerwasser S ZN-6000) verursachte eine derart starke Beeinträchtigung der Festigkeitsentwicklung der Schmalwandmasse, dass eine Herstellung von Prüfkörpern für die einaxialen Druckversuche und die hydraulischen Durchlässigkeitsversuche nach einer Hydrationsdauer von 28 Tagen nicht möglich war. Nach 28-tägiger Lagerung bei hoher Luftfeuchte wiesen die Prüfkörper bei den Eindringversuchen mit dem Tauchstab (Vicat-Gerät) noch immer die volle Eindringtiefe von 40 mm auf.

In den Untersuchungen war zu sehen, dass die Belastung des Anmachwassers mit 6000 mg Zink pro Liter (Zinknitrat) zu einer wesentlich stärkeren Beeinträchtigung des Abbindeverhaltens führte als die Kontamination mit 6000 mg Blei pro Liter (Bleinitrat). Vergleicht man jedoch die einaxiale Druckfestigkeit nach 28 Tagen der beiden mit Zinknitrat (3000 mg Zink pro Liter) und Bleinitrat (9506 mg Blei pro Liter) belasteten Schmalwandmassen unter dem Gesichtspunkt gleicher molarer Belastung an unterschiedlichen Schwermetallen im Anmachwasser, so liegt die Beeinträchtigung

der einaxialen Druckfestigkeit in etwa der gleichen Größenordnung. Die hydraulische Durchlässigkeit wurde durch die Kontamination des Anmachwassers mit Bleinitrat etwas stärker erhöht, als durch die Belastung mit Zinknitrat.

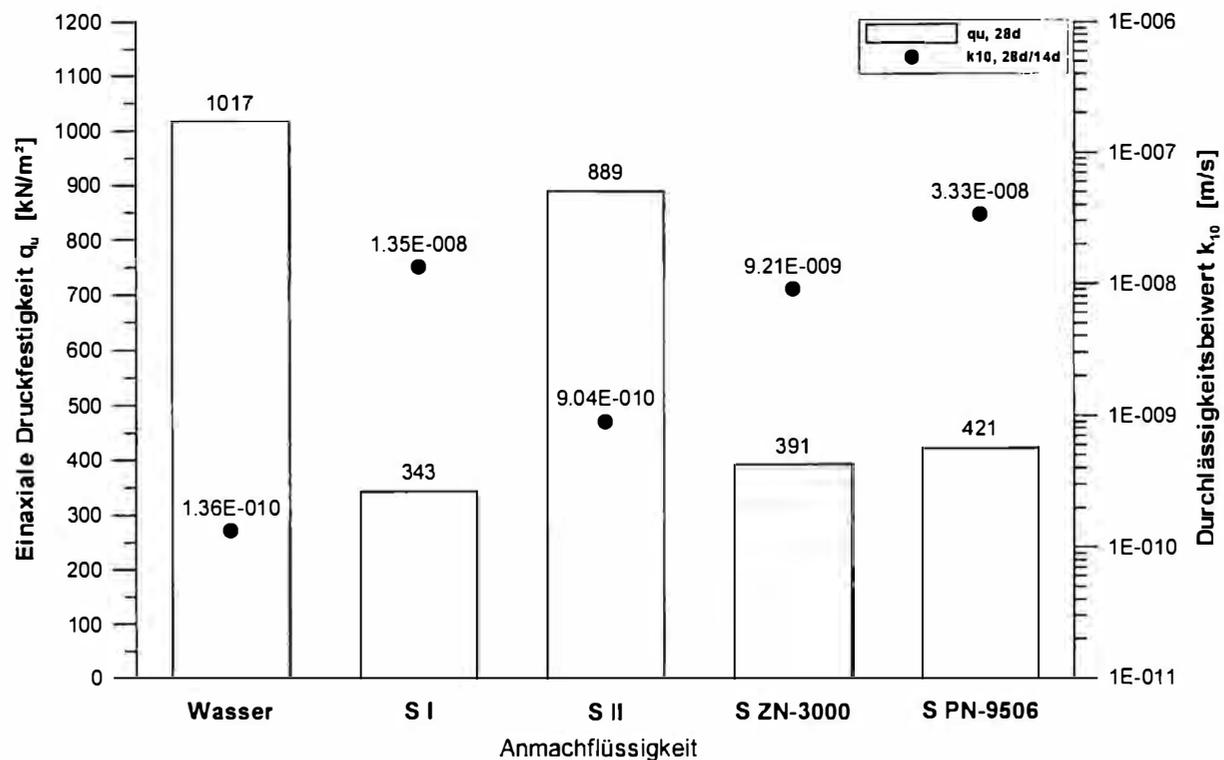


Bild 1: Einaxiale Druckfestigkeit nach 28 Tagen und hydraulische Durchlässigkeit der mit verschiedenen Anmachflüssigkeiten hergestellten Schmalwandmassen. Die hydraulische Durchlässigkeit wurde an 28 Tage hydratisierten Proben (Einbaualter) nach 14-tägiger Durchströmung mit Leitungswasser ermittelt.

Erosionsversuche wurden an den kontaminierten Schmalwandmassen bei einem hydraulischen Gefälle von $i = 60$ und $i = 100$ durchgeführt. Als kontaminierte Anmachwässer wurden das Essigsäure haltige Sickerwasser S I, das chlorid- und sulfathaltige Sickerwasser S II und das Zinknitrat haltige Sickerwasser S ZN-3000 (3000 mg Zink pro Liter) verwendet. Die Erosionsbeständigkeit bei einem hydraulischen Gefälle von $i = 100$ war bei der mit Sickerwasser S II angemachten Schmalwandmasse nach 28-tägiger Durchströmung mit Leitungswasser gegeben. Die Erosionsbeständigkeit der Schmalwandmassen bei einem hydraulischen Gefälle von $i = 60$ wurde bei einer Belastung des Anmachwassers mit dem Essigsäure haltigen Sickerwasser S I und dem Zinknitrat haltigen Sickerwasser S ZN-3000 geprüft. Die Erosionsbeständigkeit war gegeben.

Mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie wurden die mit kontaminierten Anmachwässern hergestellten Schmalwandmassen hinsichtlich kontaminationsbedingter Veränderungen im Gesamtmineralbestand untersucht. Der Nachweis neu gebildeter Mineralphasen wurde bei der röntgendiffraktometrischen Phasenanalyse durch den hohen Feststoffgehalt der Schmalwandmassen, im Besonderen durch den hohen Calcitgehalt, erschwert. Phasenneubildungen, die in der Schmalwandmasse nur in sehr geringen Anteilen (Spuren) auftreten, sind röntgendiffraktometrisch kaum oder nicht erfassbar, da sie in den Röntgendiffraktogrammen vom Calcit überdeckt werden. Ein röntgendiffraktometrischer Nachweis der bei der Hydratation von Zement entstehenden Calciumsilicathydratphasen ist auf Grund ihrer geringen Phasengröße nicht möglich –

sie sind röntgenamorph. Bei der Verwendung der in Tabelle 1 angeführten Anmachflüssigkeiten war bei den gesamtmineralogischen Untersuchungen an 28 Tage alten Dichtwandmassen in Folge der kontaminierten Anmachwässer keine Veränderung im Mineralbestand der Schmalwandmatrix erkennbar (Bild 2). Wie sich bei den chemischen Untersuchungen herausstellte, wurde ein erheblicher Anteil der Schwermetalle vom Bentonit immobilisiert. Die in der Matrix der Schmalwandmasse in Form von Carbonaten gebundenen Schwermetalle lagen aufgrund ihres geringen Massenanteiles (an der Feststoffmasse der Schmalwandsuspension) unterhalb der Nachweisgrenze der röntgendiffraktometrischen Analytik. An den Oberflächen der Prüfkörper der unter schwermetallkontaminierten Sickerwässern gelagerten Schmalwandmassen wurden jedoch Schwermetallcarbonate (Hydrozinkit und Hydrocerussit) nachgewiesen. Bei der Lagerung der Schmalwandmasse unter dem Essigsäurehaltigen Sickerwasser S I wurde in Oberflächennähe eine Abnahme des Calcitgehaltes gemessen.

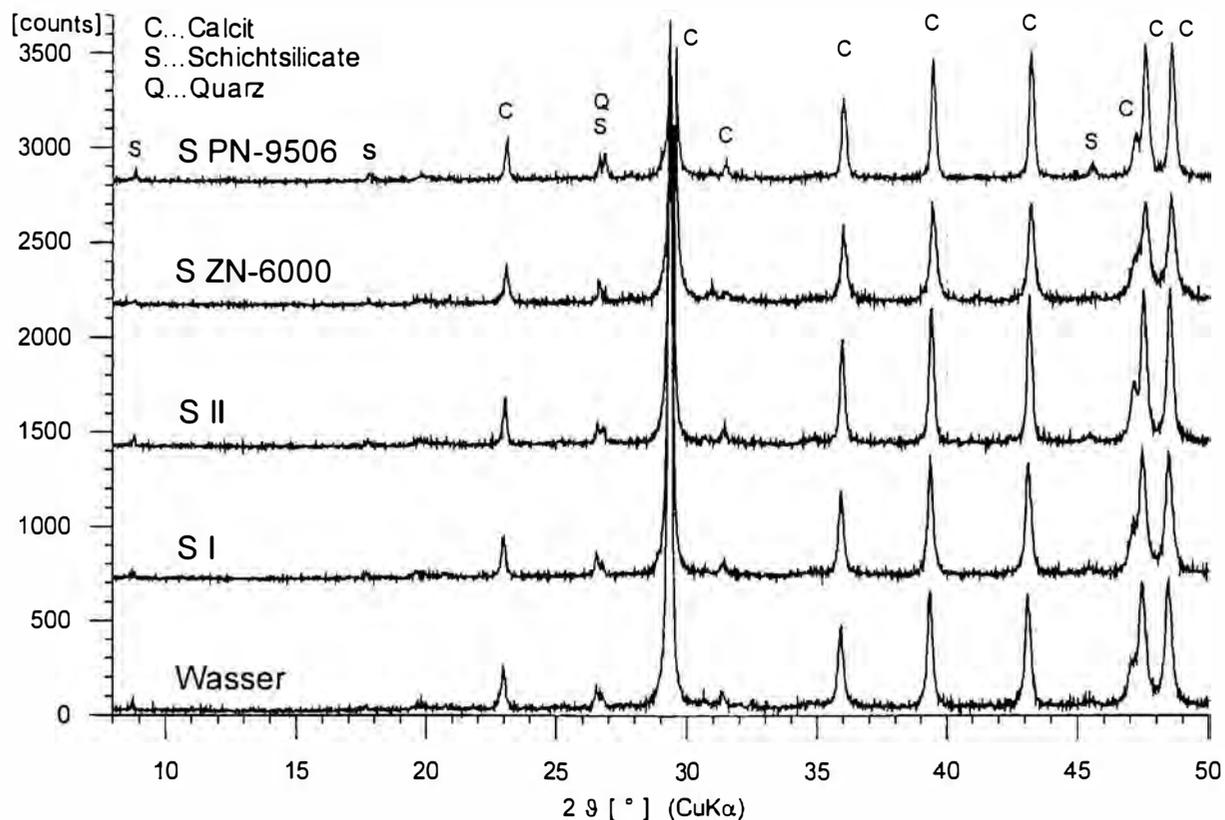


Bild 2: Röntgendiffraktogramme der Schmalwandmassen.

Tonmineralogische Untersuchungen wurden an vier kontaminierten sowie an einer unbelasteten Schmalwandmasse durchgeführt. Als kontaminierte Anmachwässer wurden das Essigsäurehaltige Sickerwasser S I, das chlorid- und sulfathaltige Sickerwasser S II, das mit Bleinitrat belastete Sickerwasser S PN-6000 (6000 mg Blei pro Liter) und das mit Zinknitrat belastete Sickerwasser S ZN-6000 (6000 mg Zink pro Liter) verwendet. Die Quellfähigkeit der Tonminerale (Aufweitung der Zwischenschichten) gegenüber Ethylenglykol wurde durch die verschiedenen Kontaminationen der Anmachwässer nicht beeinträchtigt. Selbst die Tonfraktionen der mit den Schwermetallen Blei und Zink belasteten Schmalwandmassen zeigten die für Smectit typischen Aufweitungen.

Das Hydratationsverhalten kontaminierter Ca-Bentonitschmalwandmassen wurde mit Hilfe eines atmosphärischen Rasterelektronenmikroskops (ESEM) an trockenen und feuchten Dichtwandmassen untersucht. Als Anmachwasser wurde Leitungswasser, das Essigsäure hältige Sickerwasser S I, das Chlorid - und Sulfat hältige Sickerwasser S II, das Zinknitrat hältige Sickerwasser S ZN-3000 (3000 mg Zink pro Liter), das Zinknitrat hältige Sickerwasser S ZN-6000 (6000 mg Zink pro Liter) und das Bleinitrat hältige Sickerwasser S PN-6000 (6000 mg Blei pro Liter) verwendet. Bei der Hydratation von Portlandzement gebildete Calciumsilicathydratphasen (CSH-Phasen) weisen generell eine sehr geringe Kristallinität auf. Aufgrund der geringen Kristallgröße der CSH-Phasen war es bei den Untersuchungen mit dem atmosphärischen Rasterelektronenmikroskop nicht möglich, diese zu erkennen bzw. sie als CSH-Phasen zu identifizieren. An Hand der elektronenmikroskopischen Aufnahmen waren bei den kontaminierten Schmalwandmassen keine wesentlichen Veränderungen im Gefüge ersichtlich. Ettringitbildungen konnten bei der unbelasteten sowie bei allen untersuchten kontaminierten Schmalwandmassen festgestellt werden. Die Bildung von Ettringitkristallen (Bild 3) konnte auch bei der mit 6000 mg Zink pro Liter Anmachwasser belasteten Schmalwandmasse, welche nach 28 Tagen Hydratationsdauer noch eine Eindringtiefe mit dem Tauchstab (Vicat-Gerät) von 40 mm aufwies, festgestellt werden.

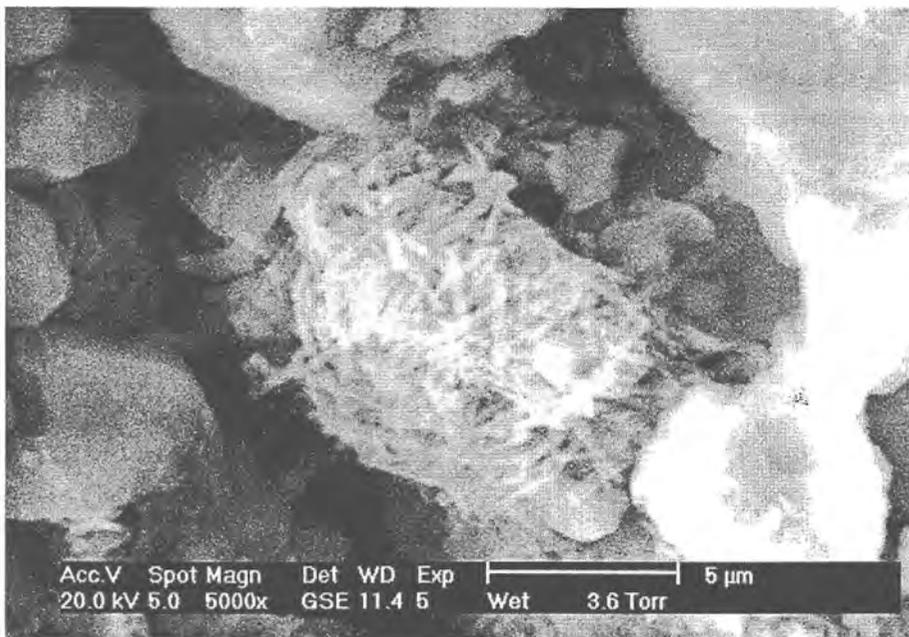


Bild 3: Mit Sickerwasser S ZN-6000 angemachte, ca. 24 Stunden hydratisierte Schmalwandmasse (ESEM-Aufnahme, Sekundärelektronenbild).

Die Bindung bzw. Immobilisierung der Schwermetalle des kontaminierten Anmachwassers durch die Feststoffkomponenten der Ca-Bentonitschmalwandmasse wurde ebenfalls untersucht. Nach der Dispergierung des Bentonits und nach der Zugabe von Kalksteinmehl und Hochofenzement wurden Suspensionsproben gezogen, diese zentrifugiert und anschließend die überstehende Flüssigkeit auf Schwermetalle analysiert. Als Anmachwässer wurden bei den Untersuchungen zwei zinknitratbelastete Sickerwässer (3000 mg Zink pro Liter, 6000 mg Zink pro Liter) und ein bleinitratbelastetes Sickerwasser (9506 mg Blei pro Liter) verwendet. Es zeigte sich, daß in der fertigen Schmalwandsuspension beinahe 100 % der mit dem Anmachwasser eingebrachten Schwermetalle in immobilisierter Form vorliegen. Ein großer Teil der Schwer-

metallbelastung wurde bereits vom Bentonit immobilisiert. Unter dem Gesichtspunkt gleicher molarer Belastung an unterschiedlichen Schwermetallen im Anmachwasser wurde Blei vom Bentonit besser immobilisiert als Zink. Nach der Zugabe des Hochofenzementes trat eine starke Erhöhung des pH-Wertes und eine rasche Immobilisierung der Schwermetalle ein.

Eine sequentielle Extraktion von schwermetallkontaminierten Schmalwandmassen wurde bis zur carbonatischen Phase durchgeführt. Als Anmachwasser wurden die mit Zinknitrat kontaminierten Sickerwässer S ZN-3000 (3000 mg Zink pro Liter) und S ZN-6000 (6000 mg Zink pro Liter) und die mit Bleinitrat kontaminierten Sickerwässer S PN-6000 (6000 mg Blei pro Liter) und S PN-9506 (9506 mg Blei pro Liter) verwendet. Im ersten Extraktionsschritt, der Bestimmung der austauschbaren Kationen, konnte bei keiner kontaminierten Schmalwandmasse eine nennenswerte Freisetzung der Schwermetalle festgestellt werden. Bei der Bestimmung des carbonatischen Anteiles hingegen war ein starker Anstieg der Schwermetalle im Extrakt zu beobachten. Mittels Röntgenfluoreszenzanalyse konnten Schwermetallanteile im festen Rückstand des zweiten Extraktionsschrittes nachgewiesen werden.

Die wichtigste Anforderung an erhärtete Dichtwandmassen ist die hydraulische Undurchlässigkeit. Die Kontamination der Schmalwandsuspension mit den Schwermetallen Blei bzw. Zink, aber auch mit verschiedenen anderen Stoffen, verursachte eine Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit. Da Sicherungen von Deponien und Altlasten meist durch hydraulische Maßnahmen unterstützt werden, ist bei einer höheren hydraulischen Durchlässigkeit der Schmalwand mit höheren Betriebskosten zu rechnen, da zur Aufrechterhaltung des niedrigeren Wasserspiegels innerhalb der Umschließung eine größere Menge kontaminierten Wassers abzupumpen und zu entsorgen ist.

Bei zukünftigen Planungen von Sanierungs- bzw. Sicherungsarbeiten sollte auch immer der Chemismus des anstehenden Bodens sowie des Grundwassers im Bereich der Umschließung erkundet werden. Aufgrund dieser Kenntnisse kann dann mittels Laborversuchen eine für die vorliegende Kontamination geeignete Schmalwandrezeptur ermittelt werden.

Literatur:

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.

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, Schriftenreihe Abfallwirtschaft, Band 34, Wien.

Autor:

Dipl.Ing. Dr. Heinz Hörzenberger
4320 Perg, Lanzenberg 13