

- Horvath, G., Kavazoe, K., 1983: A method for calculation of effective pore size distribution in molecular sieve carbon. - J. Chem. Eng. Japan, **16-6**, 470-475.
- Komodromos, A., Göttner, J.J., 1988: Beeinflussung von Tonen durch Chemikalien. - Teil 1: Durchlässigkeit. Müll und Abfall, **3**, 102-108.
- Langguth, H.R., Voigt, R., 1980: Hydrogeologische Methoden. - 468 S., 156 Abb., 72 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- Lawrence, G.P., 1977: Measurement of pore sizes in fine textured soils: a review of existing techniques. J. Soil Sci., **28**, 527-540.
- Madsen, F.T., Mitchell, J.K., 1988: Chemical effects on clay fabric and hydraulic conductivity. In: Baccini, P. [Hrsg.] (1988): The landfill, reactor and final storage, 201-251; Berlin, Heidelberg (Springer).
- Mitchell, J.K., 1976: Fundamentals of soil behavior; New York (Wiley).
- Nüesch, R., 1991: Das mechanische Verhalten von Opalinuston. Diss. ETH Zürich Nr. 9349.
- Seiffert, J., Emig, G., 1987: Mikrostrukturuntersuchungen an porösen Feststoffen durch Physisorptionsmessungen. Chem. Ing. Tech., **59**, 475-484.
- Sloane, R.L., Kell, T.R., 1966: The fabric of mechanically compacted kaolin. Clays and Clay Minerals, **14**, 289-296.
- Smart, P., Tovey, N.K., 1982: Electron microscopy of soils and sediments: techniques. Oxford (Clarendon Press).
- Sridharan, A., Rao, V.G., 1974: Géotechnique, **24** (4), 627-640.
- Washburn, E.W., 1921: Proc. nat. Acad. Sci. USA., **7**, 115-116.

## Desorption von zinkbeladenen Bentoniten durch die Umbelegung mit Diocetadecyldimethylammoniumbromid

K. Kruse \*) und F.T. Madsen\*\*)

\*) Ingenieurgesellschaft Prof. Dr.-Ing Jessberger + Partner GmbH, Am Umweltpark 5, D-44793 Bochum

\*\*\*) Institut für Geotechnik, Tonmineralogisches Labor, ETH-Zentrum/NO, Sonneggstr.5, CH-8092 Zürich

### 1. Einleitung

Tone zeichnen sich durch gute Sorptionseigenschaften aus, die u.a. bei der Adsorption von Schwermetallionen genutzt werden können. Um diese adsorbierten Schwermetallionen aufzukonzentrieren, kann neben einer Säure- oder EDTA-Behandlung auch eine Umsetzung mit organischen Kationen erfolgen (KRUSE, 1992). Diese organophilisierten Tone werden in der Industrie benötigt, um z.B. organisch belastete Abwässer zu reinigen oder um Deponiebarrieren zu vergüten (Diffusionssperre für organische Schadstoffe) (STOCKMEYER, 1991).

### 2. Materialien

Als Untersuchungsmaterial wurden drei verschiedene Bentonite und ein Opalinuston (Opalit mit einem höheren Wechsellagerungsmineralanteil) verwendet.

Beim Bentonit Montigel (Mo) handelt es sich um ein Produkt der SÜDCHEMIE AG, München. Der Montigel wird unter anderem als Deponiebarrierenmaterial eingesetzt und wurde im Rahmen verschiedener Projekte am Institut für Geotechnik (ehemals Institut für Grundbau und Bodenmechanik) der ETH Zürich ausgiebig untersucht (MÜLLER-VONMOOS et al., 1983, 1985; HASENPATT, 1988).

Als MX-80 wird ein aus Wyoming stammender, natürlicher Na-Bentonit bezeichnet, der ebenfalls am Institut für Geotechnik eingehend untersucht wurde (MÜLLER-VONMOOS, 1983, 1985).

Beim Opalit (Op) handelt es sich um einen Jura-Ton (Opalinuston), der in der Schweiz sehr verbreitet ist und vornehmlich bei der Herstellung von Ziegeln und Zement sowie für mineralische Deponiebarrieren Verwendung findet. Dieser Ton enthält Wechselagerungsminerale (Illit/Smectit), die eine erhöhte Austauschkapazität bewirken.

Beim Silitonit (Si) handelt es sich um einen Ca-Bentonit (Montigel), bei dem die austauschbaren Calciumionen gegen S-Trimercaptotriazin in Form des Natriumsalzes ( $C_3H_3N_3S_3^{3-}Na_3^{3+}$ ) ausgetauscht worden sind. Diese Mercaptanverbindung wird schon seit längerem bei der Aufbereitung von kupfer-, cadmium-, silber-, quecksilber- und bleihaltigen Lösungen sowie Abwässern eingesetzt. Dabei kann auch bei der Anwesenheit von starken Komplexbildnern eine gute Schwermetallabtrennung erfolgen (Angaben der Degussa). Dieser modifizierte Bentonit besitzt durch diese Umbelegung ein erhöhtes Schwermetalladsorptionsvermögen.

Tab. 1: Kennwerte der verwendeten Ausgangsmaterialien (n.n. = nicht nachweisbar) nach KRUSE (1992).

Physikalische Daten				
	Mo	MX-80	Op	Si
Carbonatgehalt [%]	1	1	5,1	12,4
N <sub>2</sub> -BET[m <sup>2</sup> /g]	72	35	36	15
KAV[mval/100g]	62,4	72,8	13,5	48,2
Dichte[g/cm <sup>3</sup> ]	2,8	2,7	3,1	2,7

Kornverteilung				
	Mo	MX-80	Op	Si
Behandlung	Pipett.			Entcar.
>64 µm[%]	1,5	4,2	2,1	0,02
<20 µm[%]	94,9	91,8	92,3	79
<2 µm[%]	76,4	77,6	53,2	77

Minerale				
	Mo	MX-80	Op	Si
Montmorillonit [%]	54,8	67,2	n.n.	50,9
Wechselagerung[%]	n.n.	n.n.	5,9	n.n.
Kaolint [%]	27	7,1	35,5	12,1
Illit [%]	5,2	3,7	25,9	25
Chlorit [%]	n.n.	n.n.	17,3	n.n.
Feldspat [%]	n.n.	8,8	3,5	6
Carbonat [%]	1	2	5	5
Quarz [%]	12	10	22	38

### 3. Methoden

Zur Bestimmung der ad- und desorbierten Zinkmengen wurden Batch-Versuche durchgeführt, bei denen ein Verhältnis von 2 g Ton zu 100 ml Lösung festgelegt wurde. Die Schüttelzeiten betragen bei der Adsorption eine Stunde und bei der Desorption fünf Minuten (Überkopfschüttler 20 U/min). Anschließend wurde die Suspension zentrifugiert und die klare, überstehende Lösung abdekantiert und auf ihren Gehalt an Zinkionen mittels Atomabsorptionsspektrometer (AAS) analysiert. Der schwermetallhaltige Bentonit wurde dann zweimal mit dest. Wasser gewaschen und danach der Gehalt an austauschbaren Zinkionen auf den Tonmineraloberflächen bestimmt (Umbelegung mit Dialkylammoniumionen) oder es wurde eine neuerliche Sorption durchgeführt.

Durch die Behandlung mit Dioctadecyldimethylammoniumbromid sollten die Schwermetallionen mobilisiert und gleichzeitig die Tone zu organophilen Bentoniten umgewandelt werden. Bei diesen Untersuchungen sollte auch der Opalit eingeschlossen werden, der einen Anteil an Wechselagerungsminerale aufweist. Als Konzentrationen für die Veredelung zu Organobentonit (Umbelegung mit Dialkylammoniumionen) wurde eine 0,001m (50mval/100g Ton) und 0,002m (100mval/100g Ton) Dioctadecyldimethylammoniumbromidlösung verwendet. Die 0,002m Lösung enthält wesentlich mehr Dialkylammoniumionen als austauschbare Plätze bei den Tönen vorhanden sind. Bei der 1mmol Lösung trifft dies noch für Silitonit und Opalit zu.

Die Umbelegung der zinkbeladenen Tone erfolgte mit einer Dioctadecyldimethylammoniumbromidlösung (DODM). Um das pulverförmige Alkylammoniumpräparat in Lösung zu bringen, wurde es mit 50 ml reinem Alkohol aufgenommen und durch Erwärmen gelöst. Anschließend wurden 150 ml dest. Wasser zugegeben. Diese Lösung wurde zum abzentrifugierten Ton gegeben und 10 Minuten im Überkopfschüttler vermischt. Nach dem Abzentrifugieren konnte die abdekantierete Lösung auf ihren Zinkgehalt analysiert werden.

Im Anschluß daran wurde der umbelegte Ton noch zweimal mit dest. Wasser gewaschen und dann erneut zur Desorption eingesetzt. Bei dieser zweiten Desorption wurde eine 0,01m EDTA Lösung verwendet. Diese Suspension wurde anschließend wie bei der DODM Behandlung zehn Minuten im Überkopfschüttler gemischt und die nach dem Zentrifugieren überstehende, klare Lösung wurde dann auf ihren Zinkgehalt untersucht. Zum Vergleich dieser kombinierten Desorption (Dialkylammoniumionen + EDTA Behandlung) wurde eine Desorption der zinkbeladenen Tone mit einer 0,01m und 0,1m EDTA Lösung durchgeführt.

Zur Qualitätsbeurteilung der hier hergestellten Organotone mit einem handelsüblichen Produkt (Tixogel, Südchemie AG) wurden Perkulationsversuche durchgeführt. Aus versuchstechnischen Gründen (Volumen der Perkulationssäule) wurde generell ein Feststoff-Lösungsverhältnis von 10g Ton zu 80ml Lösung verwendet. Dabei wurde auf die Methode nach

STOCKMEYER (1991) zurückgegriffen, der in Perkolationsäulen den Organobentonit mit einer Testlösung mehrfach perkolierte, bis sich ein Gleichgewicht einstellte. 10g Organoton wurden in einer Perkolationsäule mit 80ml einer 1%igen Diethylketon-Lösung in Kontakt gebracht und nach einer Woche abgelassen. Von diesem Eluat wurden 1 ml zur Analyse mit dem HPLC entnommen. Der Organoton in der Perkolationsäule wurde dann mit der restlichen Lösung erneut benetzt. Diese Vorgehensweise wurde insgesamt sechs Mal durchgeführt. Die Entnahme der einzelnen Eluatproben kann als vernachlässigbarer Fehler angesehen werden. Die verbleibenden Restkonzentrationen sind in der Abb. 5 graphisch dargestellt.

#### 4. Ergebnisse

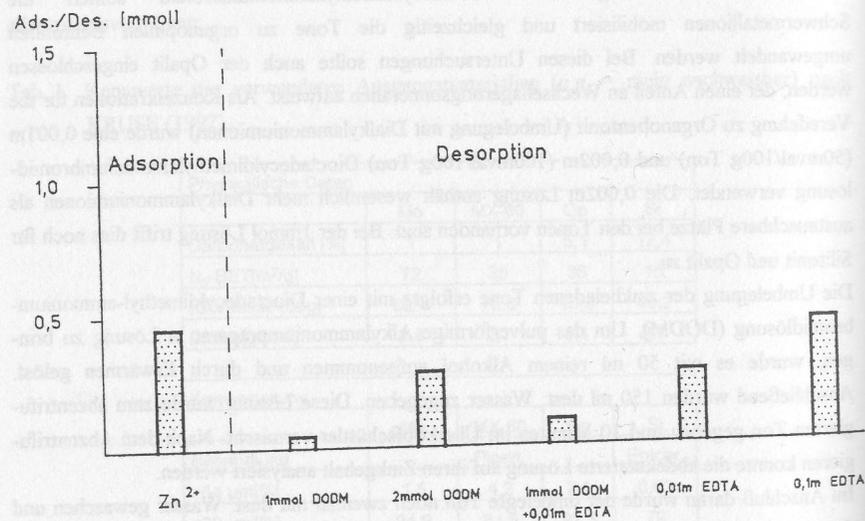


Abb. 1: Adsorbierte Menge an Zn<sup>2+</sup> in [mmol] durch 2g Montigel (Ausgangskonzentration 1,529 mmol) sowie die Zn<sup>2+</sup> Mengen in [mmol], die nach der anschließenden Desorption mit einer Dialkylammoniumionen- und/oder einer EDTA-Lösung freigesetzt wurden.

Montigel besitzt eine Austauschkapazität von 62,4mval/100g und konnte 10% bzw. 62% der zuvor adsorbierten Zinkionen 0,453mmol gegen Dialkylammoniumionen freisetzen (Abb.1). Dies entsprach aber nur 7% bzw. 45% der zur Verfügung stehenden Austauschkapazität. Versucht man anschließend die restlichen Zinkionen, die nicht durch die Dialkylammoniumumsetzung erfaßt wurden, durch EDTA zu desorbieren, so wird dabei die gleiche Menge an

Zinkionen mobilisiert wie zuvor durch Dialkylammonium (10%). Bei der Desorption des zink-beladenen Montigel mit der 0,01m EDTA Lösung konnten 60% der zuvor adsorbierten Zinkionen desorbiert werden und mit der 0,1m EDTA Lösung wurde sogar eine vollständige Desorption erzielt. Demnach werden die adsorbierten Zinkionen durch die organischen Ionen noch stärker an die Tonmineraloberflächen gebunden, so daß die Desorption durch eine weitere Umsetzung mit EDTA kaum gesteigert werden konnte.

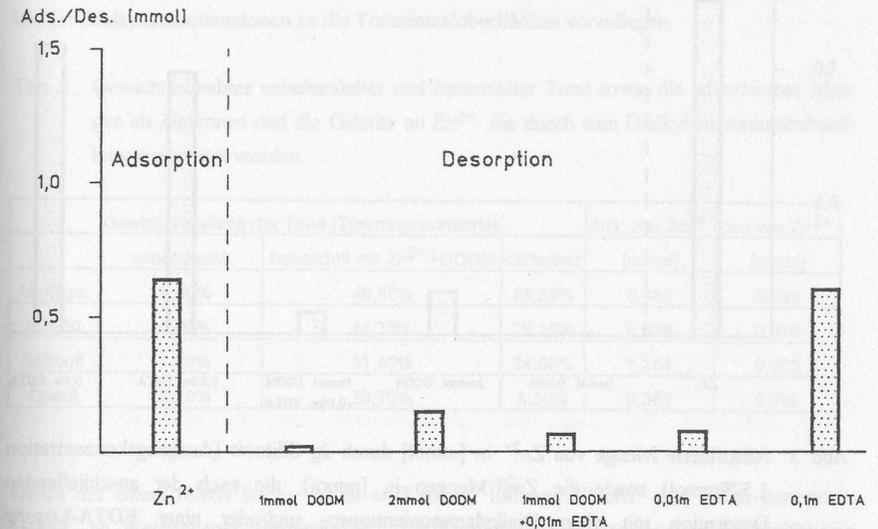


Abb.2: Adsorbierte Menge von Zn<sup>2+</sup> in [mmol] durch 2g MX-80 (Ausgangskonzentration 1,529 mmol) sowie die Zn<sup>2+</sup> Mengen in [mmol], die nach der anschließenden Desorption mit einer Dialkylammoniumionen- und/oder einer EDTA-Lösung freigesetzt wurden.

Bei MX-80 mit einer Austauschkapazität von 72,8mval/100g Ton konnte 25% der adsorbierten Zinkionen mit der 2mmol bzw. 3% mit der 1mmol Dialkylammoniumlösung der zuvor adsorbierten Zinkionen (0,639 mmol) umgesetzt werden. Diese Werte liegen deutlich unter den Werten von Montigel. Dies könnte darin begründet sein, daß der MX-80 als Granulat vorliegt und vorher nicht beschallt wurde, da ein Na-Bentonit normalerweise bevorzugt Alkylammoniumionen eintauschen müßte. Eine anschließende Umsetzung mit der 0,01m EDTA Lösung ergab bei der mit 1mmol DODM behandelten Probe eine Mobilisierung der Zinkionen von 6%. Dies entspricht einer Zinkfreisetzung aus der kombinierten Umsetzung von (Dialkylammonium + EDTA) von 9%. Bei der Desorption mit EDTA im Anschluß an die Zn<sup>2+</sup>-Adsorption konnten mit der 0,01m EDTA-Lösung 11% der zuvor adsorbierten Zinkionen mobilisiert wer-

den. Bei der 0,1m EDTA-Lösung wurde fast eine vollständige Extraktion erreicht (94%). Vergleicht man die kombinierte Behandlung (Dialkylammonium + EDTA) mit der reinen EDTA-Umsetzung, so konnte die Zinkmobilität nur um 2% heruntergesetzt werden (Abb.2).

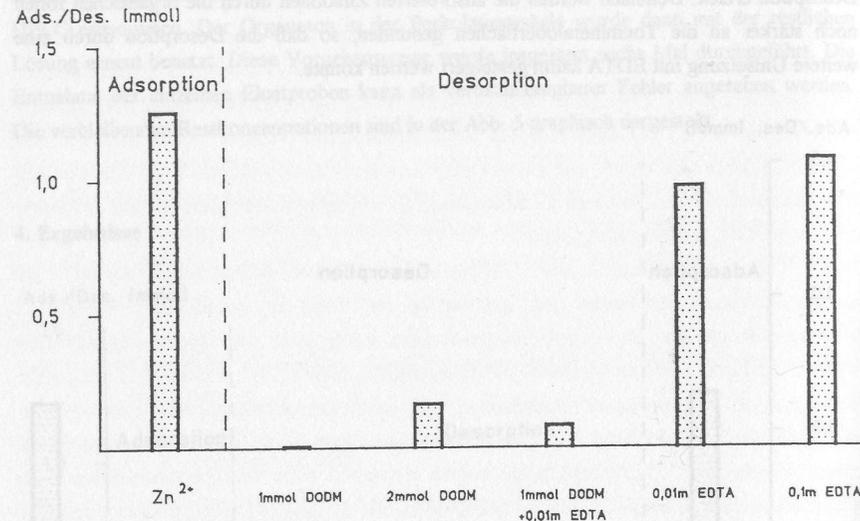


Abb. 3: Adsorbierte Menge von Zn<sup>2+</sup> in [mmol] durch 2g Silitonit (Ausgangskonzentration 1,529mmol) sowie die Zn<sup>2+</sup>-Mengen in [mmol], die nach der anschließenden Desorption mit einer Dialkylammoniumionen- und/oder einer EDTA-Lösung freigesetzt wurden.

Der Silitonit besitzt die größte Adsorptionskapazität (Faktor 1,5 gegenüber Montigel und MX-80) und weist eine Austauschkapazität von 40mval/100g Ton auf. Mit der 2mmol Dodecyltrimethylammoniumbromidlösung werden 1,7% und mit der 1mmol Lösung 0,4% der zuvor adsorbierten Zinkionen freigesetzt. Für die geringe Umsetzung der Dialkylammoniumionen gegen Zinkionen dürften die Mercaptanionen verantwortlich sein. Bei der darauffolgenden zweiten Umsetzung mit der 0,01m EDTA-Lösung konnten weitere 5,4% der adsorbierten Zinkionen freigesetzt werden, die nicht von der Dialkylammoniumbehandlung erfaßt wurden (Abb.3). Diese desorbierte Zinkmenge liegt damit bedeutend höher als die, die nach der Umsetzung mit den Dialkylammoniumionen erzielt wurde. Mit reiner 0,1m bzw. 0,01m EDTA-Lösung wurden dagegen 85% bzw. 77% der Zinkionen desorbiert. Die desorbierte Zinkmenge von 6% aus der Umsetzung mit Dialkylammoniumionen + EDTA-Lösung ist als sehr gering zu betrachten. Man konnte hier wie beim Montigel von einer Art "schützenden Wirkung" der Dialkylammoniumionen für die Zinkionen sprechen. Mit der reinen EDTA-Be-

handlung wurden 71% mehr Zinkionen freigesetzt als durch die kombinierte Behandlung von Dialkylammonium + EDTA.

Die umgesetzte Menge an Dialkylammoniumionen läßt sich durch die Thermogravimetrie nachweisen. Die Gewichtsabnahme des unbehandelten Silitonit war niedriger als bei dem mit Zink- und Dialkylammoniumionen behandeltem Ton (Tab. 2). Gegenüber Montigel, MX-80 und Opalit, wurde beim Silitonit die größte Gewichtsabnahme bei einer sehr geringen Freisetzung an Zinkionen bestimmt. Beim Silitonit scheint deshalb ein anderes Bindungsverhalten der Dialkylammoniumionen an die Tonmineraloberflächen vorzuliegen.

Tab. 2: Gewichtsabnahme unbehandelter und behandelter Tone sowie die adsorbierten Mengen an Zinkionen und die Gehalte an Zn<sup>2+</sup>, die durch eine Dialkylammoniumbehandlung freigesetzt wurden.

	Gewichtsabnahme der Tone (Thermogravimetrie)			Ads. von Zn <sup>2+</sup>	Des. von Zn <sup>2+</sup>
	unbehandelt	behandelt mit Zn <sup>2+</sup> +DODM	Differenz	[mmol]	[mmol]
Montigel	18,00%	46,80%	28,80%	0,453	0,045
MX-80	15,60%	44,70%	29,10%	0,639	0,019
Silitonit	17,40%	51,40%	34,00%	1,254	0,005
Opalit	12,20%	20,70%	8,50%	0,283	0,003

Opalit mit einem relativ hohen Anteil an Kaolinit, Illit und Chlorit und einem geringeren Gehalt an Wechsellagerungsmineralien (Illit/Smectit) besitzt eine Austauschkapazität von 13,5mval/100g Ton. Die Menge an Dialkylammoniumionen, die zur Umsetzung der adsorbierten Zinkionen verwendet wurde, liegt bei der 2mmol (100mval/100gTon) und der 1mmol Lösung (50mval/100g Ton) deutlich über der zur Verfügung stehenden Austauschkapazität des Opalit. Dadurch kann es zu einer besonders starken Rückhaltung der Zinkionen durch die Dialkylammoniumionen kommen (Extrahierete Menge liegt für beide Konzentrationen bei 1%). Die anschließende Desorption der 1mmol Probe mit einer 0,01m EDTA-Lösung kann die Extraktionsmenge auf 20% steigern (Abb.4). Durch Desorption mit reiner 0,01m EDTA-Lösung wird eine größere Menge an Zinkionen (110%) mobilisiert als zugegeben war. Dies ist auf den erhöhten Gehalt an Zinkcarbonat im Opalinuston zurückzuführen.

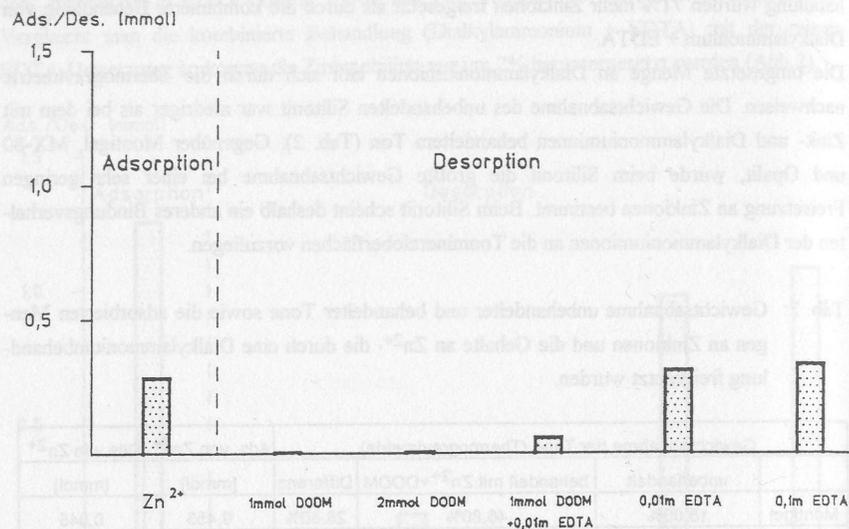


Abb. 4: Adsorbierte Menge von  $Zn^{2+}$  in [mmol] durch 2g Opalit (Ausgangskonzentration 1,529 mmol) sowie die  $Zn^{2+}$ -Mengen in [mmol], die nach der anschließenden Desorption mit einer Dialkylammoniumionen- und/oder einer EDTA-Lösung freigesetzt wurden.

Die bei der Umsetzung mit Dioctadecyldimethyldiammoniumbromid gebildeten Organotone sollen mit einem handelsüblichen Produkt (Tixogel) verglichen werden, um die Qualität der hergestellten Organotone zu beurteilen. Ein zweckmäßiges Verfahren wird von STOCKMEYER (1991) angegeben, der verschiedene Organobentonite in einer Perkolationsssäule mehrmals mit einer 1%igen Diethylketonlösung perkolierte, bis sich ein Gleichgewichtszustand einstellte. Auf dieses Verfahren wurde hier auch zurückgegriffen. Nach der ersten Perkolations konnte bei allen Organotonen eine maximale Adsorption von Diethylketon beobachtet werden, die bei dem organophilten Montigel am stärksten ausfällt und bei Tixogel am schwächsten. Bei Tixogel ändert sich die Eluatkonzentration nach den weiteren Perkolationschritten kaum noch. Bei den übrigen Organotonen konnte erst nach der vierten Perkolations eine nahezu konstante Eluatkonzentration erreicht werden. Bei Silitonit bleibt die starke Adsorptionsfähigkeit bis zum dritten Schritt erhalten und nimmt dann stärker ab (Abb.5).

Die bei der Umsetzung mit Dialkylammoniumionen entstandenen organophilen Tone sind aufgrund der vorliegenden Untersuchungen mit Diethylketon vergleichbar mit dem handelsüblichen Produkt Tixogel.

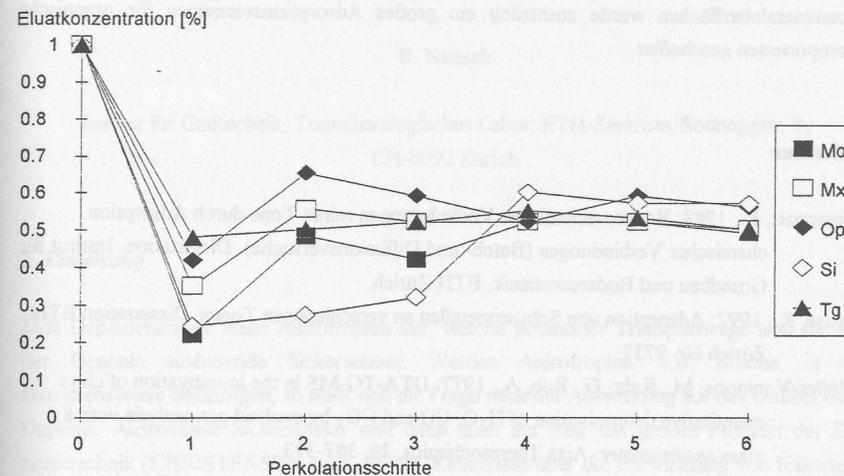


Abb. 5: Eluatkonzentrationen von Diethylketon nach der Adsorption an den verschiedenen Organotonen in Abhängigkeit der Perkolationszyklen.

## 5. Diskussion

Die hier verwendeten Tone  $Ca^{2+}$ -Bentonit,  $Na^{+}$ -Bentonit, Opalit und einem mit syn. Trimercaptotriazin veredelten  $Ca^{2+}$ -Bentonit besitzen ein hohes Adsorptionsvermögen für Zinkionen. Die angelagerten Zinkionen wurden durch eine 0,01m EDTA-Lösung weitgehend mobilisiert. Mit einer 2mmol Dioctadecyldimethylammoniumbromid-Lösung werden dagegen nur sehr geringe Mengen an Zinkionen freigesetzt. Schließt man dieser Umsetzung mit Dialkylammonium eine zweite 0,01m EDTA-Behandlung an, so wird die Menge der desorbierten Zinkionen wesentlich gesteigert. Die Zinkionenmenge, die durch die zweifache Extraktion (Dialkylammoniumionen + EDTA-Behandlung) freigesetzt wurde, war bedeutend geringer als die Gehalte an Zinkionen, die mit einer reinen 0,01m EDTA-Behandlung erzielt worden sind.

Das Adsorptionsvermögen der durch die Umsetzung mit Dioctadecyldimethylammoniumbromid-Lösung entstandenen organophilen Tone war gegenüber Diethylketon vergleichbar mit einem handelsüblichen Produkt (Tixogel).

Neben einer Art "schützenden Wirkung" der Dialkylammoniumionen auf die Zinkionen an den Tonmineraloberflächen wurde zusätzlich ein großes Adsorptionsvermögen für organische Komponenten geschaffen.

#### Literatur

- Hasenpatt, R., 1988: Bodenmechanische Veränderungen reiner Tone durch Adsorption chemischer Verbindungen (Batch- und Diffusionsversuche). Dissertation, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, ETH Zürich.
- Kruse, K., 1992: Adsorption von Schwermetallen an verschiedenen Tonen. Dissertation ETH Zürich Nr. 9737.
- Müller-Vonmoos, M., Kahr, G., Rub, A., 1977: DTA-TG-MS in the investigation of clays quantitative determination of H<sub>2</sub>O, CO and CO<sub>2</sub> by evolved gas analysis with a mass spectrometer. *Acta Thermochemica*, **20**, 387-393.
- Müller-Vonmoos, M., Kahr, G., 1983: Mineralogische Untersuchungen von Wyoming Bentonit MX-80 und Montigel. *Nagra NTB* 83-12.
- Müller-Vonmoos, M., Kahr, G., 1985: Langzeitstabilität von Bentoniten unter Endlagerbedingungen. *Nagra NTB* 85-25.
- Stockmeyer, M.R., 1991: Adsorption of organic compounds on organophilic bentonites. *Appl. Clay Sci.*, **6**, 39-57.
- Stockmeyer, M.R., Kruse, K., 1991: Adsorption of Zn and Ni ions and phenol and Diethylketones by bentonites of different organophilicities. *Clay Minerals*, **26**, 431-434.

## Heilungs- und Zerstörungsprozesse in Deponiebarrieren

R. Nüesch

Institut für Geotechnik, Tonmineralogisches Labor, ETH-Zentrum, Sonneggstr. 5,  
CH-8092 Zürich

### 1. Einleitung

Jede Deponiebarriere weist Anisotropien auf, welche potentielle Transportwege sind für aus der Deponie austretende Sickerwässer. Werden Anisotropien, z.B. Brüche, in ein Barrierensystem einbezogen, so stellt sich die Frage nach der Auswirkung auf das Umfeld einer Deponie. Austretende Sickerwässer sind dann auch zur Zeit das größte Problem der Deponietechnik (CHRISTENSEN et al., 1992). Kenntnisse über die Entwicklung von bisherigen und die mögliche Entstehung von neuen Fließwegen erlauben Aussagen, ob ein Austreten kontaminierter Wässer aus der Deponie in Zukunft zu- oder abnehmen wird und sind daher wichtig für das Langzeitverhalten und die Qualität von Deponiebarrieren. Die Entwicklung von Fließwegen hängt von der Art des Sickerwassers, des Barrierenmaterials und den dazwischen stattfindenden Interaktionen ab.

Den selbstheilenden Rissen (z.B. Trockenrisse) stehen Risse gegenüber ohne Selbstheilung. Für solche Risse und für jene, bei der die Selbstheilung sehr langsam ist, sind Fremdheilungen durch Mineralausfällung und Verstopfen (Kolmation) erhoffte Prozesse. Lösungsprozesse durch Sickerwässer, welche sich auf die Barriere nachteilig auswirken, sind jedoch auch denkbar.

In einer mineralischen Basisabdichtung wurde Illitisierung der Smectite, sowie partielle Auflösung des karbonatischen Bindemittels nach 8-jährigem Betrieb festgestellt (ECHLE et al., 1988). Andererseits wurden in Tongesteinen der geologischen Basisbarrieren von 3 Deponien bis auf eine Ausnahme keine chemischen und physikalischen Änderungen festgestellt (PETERS, 1993). Die Ausnahme beschränkte sich auf die obersten 5 cm einer 25 Jahre alten Probe, in der die Tonminerale zerstört wurden.

### 2. Als Transportweg wirksame Anisotropien

Als Anisotropien werden in natürlichen Deponiestandorten die Sedimentstrukturen der Ablagerung wie beispielsweise siltige Schichten und fossile Spuren wie Grab- oder Wurzelgänge verstanden. Weiters gehören dazu Strukturen der Diagenese und Tektonik, welche vorwiegend