

- Street, G.B., White, D., 1963b: Adsorption by organo-clay derivatives. *J. appl. Chem.*, **13**, 288-291.
- Weiss, A., 1989: About sealing of waste disposals by clays with special consideration of organic compounds in percolation water. *Applied Clay Science*, **4**, 193-209.

Einsatz von Stickstoff- und Quecksilberporosimetrie zur Ermittlung der Porenverteilung in kohlenwasserstoffkontaminierten Böden

R. Haus und K.A. Czurda

Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Universität (TH) Karlsruhe

Zusammenfassung

Veränderungen im Mikrogefüge schluffiger Tone nach dem Kontakt mit unpolaren Kohlenwasserstoffen wurden mit porosimetrischen Methoden erfaßt und resultierende Permeabilitätsunterschiede dokumentiert. 100- bis 500-fach höhere Durchlässigkeiten von verdichteten tonigen Böden für die Kontaminanten i-Oktan und o-Xylol im Vergleich zur konventionellen Durchlässigkeit mit Aqua dest. können nicht ausschließlich auf rein viskositätsbedingte Unterschiede der Perkolate zurückgeführt werden, sondern stehen auch in direktem Zusammenhang zum neuen Porenspektrum.

1. Einleitung

Die Sanierung von Schadensfällen mit Mineralölen und deren flüssigen Verarbeitungsprodukten ist heutzutage ein wichtiges Aufgabengebiet in der Umwelttechnik. Tankstellenleckagen, Raffineriealtlasten und eine Vielzahl von Altlasten in der lösungsmittelverarbeitenden chemischen Industrie (DVWK, 1991) sind nur einige Beispiele für die umweltgefährdende Verunreinigung des Bodens und des Grundwassers.

Die große Zahl der Schadensfälle ist nicht erstaunlich, da diese Stoffe in großen Mengen transportiert, gelagert und eingesetzt werden.

Das Rückhaltevermögen und die Durchlässigkeit eines Bodens wird von mehreren physikochemischen Faktoren beeinflusst. Dominierende Größen sind hierbei die spezifische Oberfläche und die Porenverteilung.

Aufgrund der geringen Löslichkeiten unpolarer Schadstoffe in Wasser und des oftmals massiven Auftretens der Kontaminanten ist deren Verbreitung im Untergrund nicht immer in gelöstem Zustand, sondern auch in Phase zu beobachten. Zudem ist häufig mit einer erheblichen Residualsättigung des Bodens gerade in schluffig-tonigen Sedimenten zu rechnen.

Nachfolgende Untersuchungen verdeutlichen den Einfluß dieser Schadstoffe auf das Mikrogefüge toniger Böden am Beispiel zweier Modellkontaminanten, i-Oktan und o-Xylol.

2. Probenmaterial und Kontaminanten

I-Oktan ist ein Hauptbestandteil von Vergaserkraftstoffen und durch die "Oktanzahl" zugleich ein beschreibender Normwert für deren Klopffestigkeit. In diesen Untersuchungen dient i-Oktan als Modellsubstanz für unpolare aliphatische Kohlenwasserstoffe.

Die Auswirkungen unpolarer aromatischer Kohlenwasserstoffe werden durch das BTX-Aromat o-Xylol, einem in Lacken, Pestiziden, Kraftstoffen und gaswerksspezifischen Altlasten weit verbreiteten Schadstoff, vertreten.

Der semiquantitative Mineralbestand der hier untersuchten schluffigen Tone ist in Tab. 1 aufgelistet.

Tab. 1: Semiquantitativer Mineralbestand der untersuchten Probenmaterialien

Probenmaterial	Mineralgehalt [%]						
	Quarz	Calcit	Dolomit	Smektit	Illit	Kaolinit	Glühverlust
Illitischer Ton	65	1	1	6	25	-	2
Kaolinitischer Ton	15	2.6	-	2	-	80	0.4

3. Versuchsaufbau

3.1 Durchströmungsversuche

Die tonigen Böden wurden mit verschiedenen Wassergehalten, zum Teil aber auch direkt mit dem Schadstoff befeuchtet und verdichtet in neu entwickelte Durchströmungszellen eingebaut. Eine Zelle (rigid wall permeameter) besteht aus einem eloxierten Aluminiumboden mit doppeltem Eluatablaß und konzentrischer Teilung der Aufstandsfläche, einem Glaszylinder mit 10 cm Durchmesser und einem Zellendeckel mit Kugelhahn, dem sich eine beidseits schließende Kupplung für die Verbindung des Zelleninneren zum darüber installierten Molekularsieb und der Druckluftanlage anschließt. Beim Einbau wurde die konzentrische Schneide des Zellenbodens bis in eine Tiefe von 0,5 cm in den Probenkörper eingedrückt, um eine Ausflußtrennung im äußeren und inneren Bereich des Zellenbodens zu erreichen. Dadurch konnte bei einer späteren Durchströmung eine evtl. auftretende Randumläufigkeit sofort festgestellt und die Messung abgebrochen werden.

Nach dem Einbau wurden die Bodenproben über einen Zeitraum von mehreren Monaten sowohl mit Aqua dest. als auch mit den Schadstoffen durchströmt.

Nach Durchströmung der Bodenproben wurde das Mikrogefüge, das Porenvolumen, das Porenspektrum und die spezifische Oberfläche mittels Stickstoff- und Quecksilberporosimetrie sowie rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen genauer analysiert.

Die Proben wurden hierzu im flüssigen Stickstoffbad schockgefroren und bei minus 30°C in einem Vakuum von 1E-2 Torr mehrere Tage gefriergetrocknet (SMART & TOVEY 1982).

3.2 Stickstoffporosimeter

Porenvolumen und Porenverteilung im Mikro- und Mesoporenbereich (< 2 nm bis 50 nm Porenradius) wurden mit Hilfe eines vollautomatisierten Stickstoffporosimeters der Fa. COULTER-OMICRON (OMNISORP 360) nach dem dynamischen Meßverfahren (SEIFERT & EMIG, 1987) durchgeführt. Im Anschluß an die Gefrierdrying wurde das Probenmaterial bei 105 °C und einem Hochvakuum von 5E-6 Torr nochmals entgast. Anschließend wurde die Ad- und Desorptionsisotherme mit einer Auflösung von max. 2000 Datenpunkten ermittelt. Die Mesoporenverteilung wurde nach BARRETT et al. (1951) aus der Desorptionsisotherme ermittelt. Die Adsorptionsisotherme wurde zur Bestimmung des Mikroporenvolumens nach HORVATH & KAWAZOE (1983) und der spezifischen Oberfläche nach B.E.T. (BRUNAUER et al., 1938) herangezogen.

3.3 Quecksilberporosimeter

Der Meso- und Makroporenbereich wurde mit einem Quecksilberporosimeter der Fa. CARLO-ERBA (PO 4000) analysiert. Hierbei wurde in einem Druckbereich zwischen 0,01 und 4000 bar gearbeitet, wonach sich aus der WASHBURN-Gleichung (1921) die Grenzgrößen zu 75000 und 2 nm Porenradius ergeben.

4. Ergebnisse

4.1 Permeabilitäten

Den Vergleich der spezifischen Permeabilitäten zeigt Tab. 2. Die Durchlässigkeiten der Bodenproben gegenüber den verschiedenen Perkolaten unterscheiden sich erheblich.

Tab. 2: Permeabilitäten der Probenmaterialien mit den Kontaminanten und Aqua dest.

Probenmaterial	Permeabilität [darcy] für Perkolat		
	Aqua dest.	o-Xylol	i-Oktan
Kaolinitischer Ton	9E-05	2E-02	9E-03
Illitischer Ton	5E-05	3E-03	6E-03

Die Durchlässigkeiten der Kontaminanten sind im Vergleich zur konventionellen Durchlässigkeit mit Aqua dest. um das 100- bis 500-fache erhöht. Die spezifische Permeabilität ist im Gegensatz zur Berechnung der Durchlässigkeit nach Darcy ein Materialparameter des durchströmten Mediums, unabhängig von den physikalischen Eigenschaften (Dichte, Viskosität) der Flüssigkeit, die es durchströmt (LANGGUTH & VOIGT, 1980).

Die gezeigten Unterschiede sind somit materialspezifisch und müssen direkt auf die chemischen Wechselwirkungen sowie das veränderte Porenspektrum zurückzuführen sein.

4.2 Porenspektren

Das Porenspektrum eines Bodens wird am vollständigsten durch die Kombination von Stickstoff- und Quecksilberporosimetrie ermittelt (LAWRENCE, 1977). Die Klassifikation der Porentypen, ihre mögliche Zuordnung im Gefüge sowie die zum Nachweis geeigneten Meßverfahren zeigt Abb. 1.

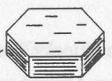
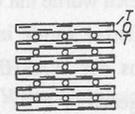
Aggregat	Schichtpaket (doman, bookhouse)	Tonmineral (Kristall)	Elementar-schicht
 Mikro-aggregat		 TO - Tonminerale (Kaolinit)	 TOT - Tonminerale (Smektit, Illit)
50 nm	2-50 nm	0,02-0,1 nm	
Interaggregat- intraaggregat- poren	Interkristalline Poren	Intrakristalline Poren	Zwischengitter- raum
Makroporen	Mesoporen	Mikroporen	
	Stickstoff-Parosimetrie		Diffraktometrie
Quecksilber-Parosimetrie			

Abb. 1: Schematische Klassifikation der Porentypen in Tonen (nach NÜESCH, 1991).

Es ergeben sich deutliche Zusammenhänge zwischen den Polaritäten der Perkolate und den ermittelten Porenspektren.

4.2.1 Kaolinitischer Ton

Anhand des kaolinitischen Tones soll der von vielen Autoren mittlerweile beschriebene, jedoch porosimetrisch nicht vollständig ausgewertete Effekt der Schrumpfung und Gefügeänderung von tonigen Böden nach Kontakt mit organischen Schadstoffen niedriger Polarität

(KOMODROMOS & GÖTTNER, 1988; FERNANDEZ & QUIGLEY, 1985) analysiert werden.

Das Probenmaterial wurde hierzu mit dem Wassergehalt der Ausrollgrenze (DIN 18 122 T1) in Anlehnung an das Proctorverfahren (DIN 18 127) in die Durchströmungszellen eingebaut. Anschließend wurde es mit den Schadstoffen überstaut bzw. mit Aqua dest. perkoliert. Mit Hilfe der Druckluftanlage wurde ein hydraulischer Gradient von 30 angelegt. Während sich bei der mit Aqua dest. durchströmten Säule nach etwa 14 Tagen eine konstante Durchlässigkeit einstellte, war innerhalb eines Zeitraumes von 4 Wochen in den mit den Modell-Kontaminanten beaufschlagten Zellen kein Durchfluß zu beobachten. Nach diesem Zeitraum kam es zum plötzlichen Durchbruch der Kontaminanten. Deutliche Makrorisse und Randumläufigkeiten infolge Schrumpfung der Proben waren zu beobachten.

Die Verteilung hydratisierter Ionen mit zunehmender Entfernung von einer negativ geladenen Tonmineraloberfläche beschreibt die Theorie der diffusen Doppelschicht (DDL) von GOUY (1910) und CHAPMAN (1913). Die Dicke der DDL variiert in Abhängigkeit von der Dielektrizitätskonstante des Perkolates zwischen > 100 nm (Aqua dest.) und < 15 nm (o-Xylol, i-Octan). Somit ist die Schrumpfung auf die Erniedrigung der Dielektrizitätskonstante infolge Diffusion der unpolaren Schadstoffe in den Haftwasserfilm der Tonminerale und einer daraus resultierenden Reduzierung der diffusen Doppelschicht (MADSEN & MITCHELL, 1988) zurückzuführen.

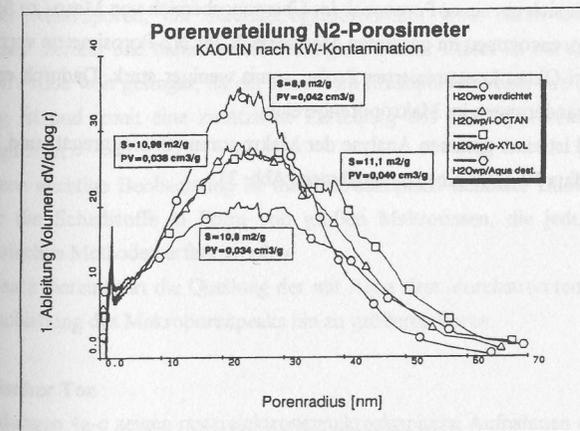


Abb. 2: Mesoporenverteilung von verdichtetem Kaolin nach Durchströmung mit Aqua dest. und den Kontaminanten (wp = Einbauwassergehalt Ausrollgrenze).

Die Veränderungen im Mikrogefüge werden in Abb. 2 veranschaulicht.

Nach der Kontamination nimmt das Porenvolumen im Mesoporenbereich deutlich ab. Die Peaklage im Mesoporenbereich bleibt jedoch konstant. Es handelt sich hierbei um interkristalline Poren mit einem dominanten Porenradius von 10 bis 40 nm. Diese finden sich innerhalb von Tonmineralstapeln, wie sie für illitische und kaolinitische Tone in Form von "domains" (DIAMOND 1970) oder "bookhouses" (SLOANE & KELL, 1966) typisch sind. Sie konnten mit Hilfe rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen (10.000-fache Vergrößerung) identifiziert werden. Somit ist die Verminderung des Porenvolumens bei gleichbleibender Peaklage auf den Zerfall von "bookhouses" zurückzuführen. Diese Auflockerung vollzieht sich jedoch nicht vollständig, da aufgrund der gleichbleibenden Peaklage, nach wie vor interkristalline Poren vorhanden sein müssen, jedoch in geringerer Zahl. Zerfällt ein "bookhouse", so entstehen größere Poren, die außerhalb des Messbereiches der N₂-Porosimetrie liegen.

Verdeutlicht wird dies durch den Vergleich dieser Ergebnisse mit der Aqua dest. durchströmten und gequollenen Probe, bei der die "bookhouses" fast vollständig zerfallen sind. Hier zeigt sich eine noch stärkere Verminderung des Mesoporenvolumens. Der Grund für das Zerfallen ist hierbei nicht eine Verringerung, sondern die zunehmende Dicke der diffusen Doppelschicht aufgrund der geringen Elektrolytkonzentration in der Porenlösung.

Die mit o-Xylol kontaminierte Probe dokumentiert darüber hinaus den Übergang von partiellem Ablösen und vollständigem Zerfall im interkristallinen Bereich. Infolge des partiellen AblöSENS entwickelt sich ein neuer Porenpeak im Übergangsbereich von Meso- zu Makroporen (40-50 nm). Das Porenvolumen im gesamten Messbereich der N₂-Porosimetrie verringert sich, verglichen mit der i-Oktan kontaminierten Probe, somit weniger stark. Dadurch ergeben sich auch geringere Veränderungen im Makroporenbereich.

Dieser Unterschied ist einer genauen Analyse der Makroporen (Interaggregat- und Intraaggregatporen, Porenradius 50-1000 nm) zu entnehmen (Abb. 3).

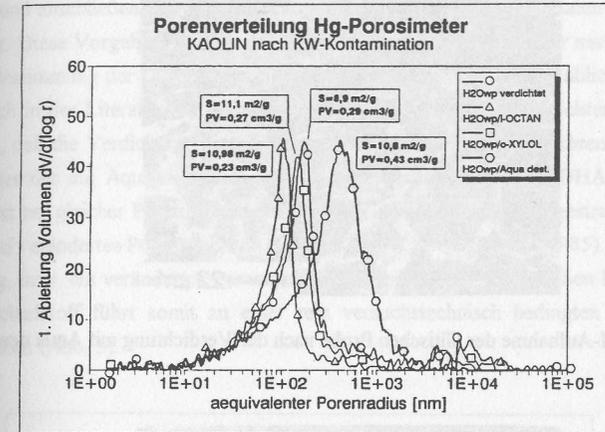


Abb. 3: Meso- und Makroporenverteilung von verdichtetem Kaolin nach Durchströmung mit Aqua dest. und den Kontaminanten (wp = Einbauwassergehalt Ausrollgrenze).

Die Verminderung der diffusen Doppelschicht führt weiterhin zu einer Annäherung von Tonmineralaggregaten. Der Zerfall der "bookhouses" im Mikrogefüge verringert zusätzlich den Radius der Makroporen; der Interaggregatporenraum wird durch die sich auflösenden "bookhouses" zerteilt und damit weiter verringert. Dieser Effekt ist bei der mit o-Xylol kontaminierten Probe weit geringer, da der Zerfall im Mesoporenbereich wie beschrieben weniger vollständig ist und somit eine zusätzliche Zerteilung des Makroporenraumes in geringeren Maße möglich ist.

Eine weitere wichtige Beobachtung ist die makroskopisch sichtbare Bildung neuer Wegsamkeiten für die Schadstoffe in Form von großen Makrorissen, die jedoch von keiner der porosimetrischen Methoden erfaßt werden.

Im Gegensatz hierzu führt die Quellung der mit Aqua dest. durchströmten Probe eindeutig zu einer Verschiebung des Makroporenpeaks hin zu größeren Poren.

4.2.2 Illitischer Ton

Die Abbildungen 4a-c zeigen rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen des illitischen Tones nach der Verdichtung mit Aqua dest. sowie nach der Durchströmung mit i-Oktan und o-Xylol. Die mit Wasser verdichtete Probe (Abb. 4a) bildet ein dichtes, aus großen Aggregaten aufgebautes Gefüge mit ausgedehnten Fläche/Fläche-Kontakten. Im Gegensatz hierzu zeigt sich in den Abb. 4b und 4c ein lockeres, aus deutlich kleineren Aggregaten und einzelnen, abgespaltenen Kristalliten bestehendes Gefüge der kontaminierten Proben.

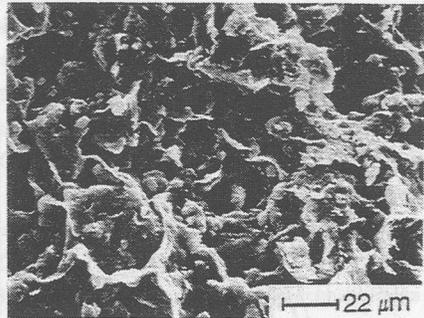


Abb. 4a: REM-Aufnahme der illitischen Probe nach der Verdichtung mit Aqua dest.

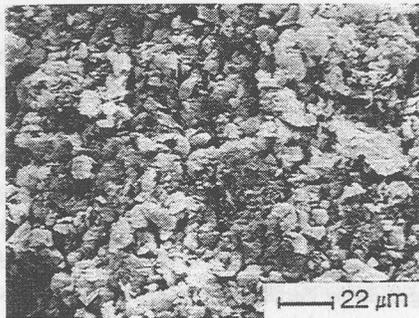


Abb. 4b: REM-Aufnahme der illitischen Probe nach Durchströmung mit i-Octan.

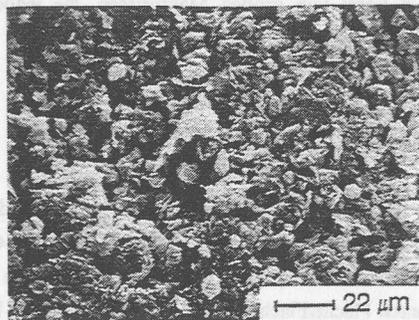


Abb. 4c: REM-Aufnahme der illitischen Probe nach Durchströmung mit o-Xylol

Es handelt sich hierbei um "Reinproben", d.h. das Probenmaterial wurde zuerst bei 105°C getrocknet und anschließend für die Verdichtung mit den jeweiligen Perkolaten befeuchtet und durchströmt. Diese Vorgehensweise ist bei der Verdichtung der Proben für nachfolgende Versuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit mit reinen unpolaren Organika üblich. In der Regel fehlen jedoch in der Literatur Hinweise auf die somit erzielten Trockendichten. Es ist davon auszugehen, daß die Verdichtbarkeit mit abnehmender Polarität der befeuchtenden Flüssigkeit deutlich unter der mit Aqua dest. erreichbaren Trockendichte liegt (SRIDHARAN & RAO, 1974). Selbst bei gleicher Porenzahl zeigen sich deutlich veränderte Gefügestrukturen und ein entsprechend verändertes Porenspektrum (FERNANDEZ & QUIGLEY, 1985). Eine geringere Verdichtung, bzw. ein verändertes Porenspektrum schon vor der eigentlichen Durchströmung mit dem Schadstoff führt somit zu einer rein versuchstechnisch bedingten Erhöhung der Durchlässigkeit (Abb. 5).

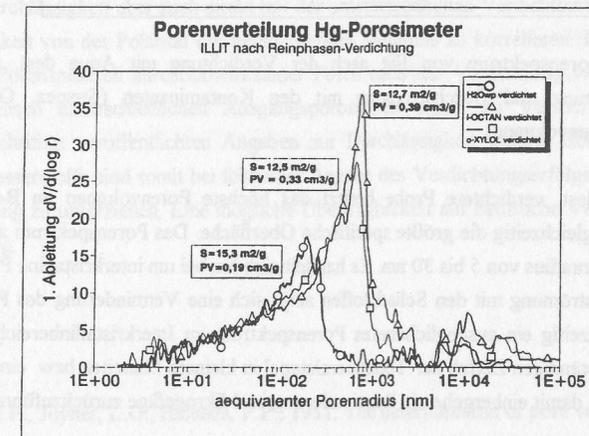


Abb. 5: Meso- und Makroporenspektrum von Illit nach der Verdichtung mit Aqua dest. und nach Verdichtung mit den Kontaminanten (S=spez. Oberfläche, PV=Porenvolumen).

Die Porenanalyse nach der Durchströmung der Probe gibt Aufschluß über die Veränderungen des Mikrogefüges infolge des mehrmonatigen Kontaktes der Proben mit den Kontaminanten (Abb. 6).

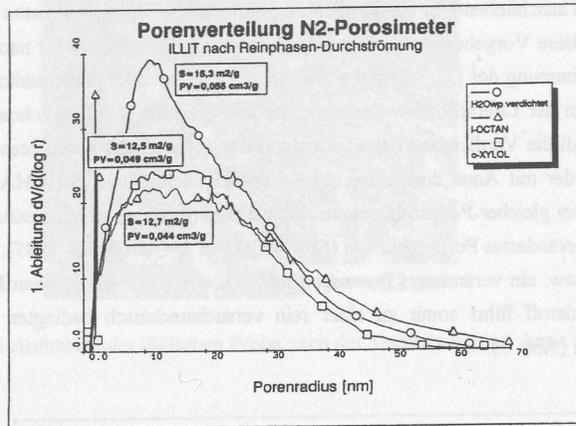


Abb. 6: Mesoporenspektrum von Illit nach der Verdichtung mit Aqua dest. und nach Verdichtung und Durchströmung mit den Kontaminanten (S=spez. Oberfläche, PV=Porenvolumen).

Die mit Aqua dest. verdichtete Probe besitzt das höchste Porenvolumen im Bereich der Mesoporen und gleichzeitig die größte spezifische Oberfläche. Das Porenspektrum zeigt einen dominanten Porenradius von 5 bis 30 nm. Es handelt sich hierbei um interkristalline Poren. Nach der Durchströmung mit den Schadstoffen zeigt sich eine Verminderung des Porenvolumens und gleichzeitig ein ausgeglicheneres Porenspektrum im Interkristallinbereich. Dies ist auf den fast vollständigen Zerfall der Tonmineralstapel in kleinere Einheiten bzw. einzelne Illitkristalle und eine damit einhergehende Reorientierung im Mikrogefüge zurückzuführen.

Tab. 3: Porenanalyse eines illitischen Tones vor und nach Durchströmung mit den Kontaminanten (Hg-Pososimetrie).

Zeitpunkt der Porenanalyse	Kontaminant	dominierender Porenradius [nm]	Porenvolumen [cm ³ /g]	Trockendichte [g/cm ³]	Porosität [%]
nach der Verdichtung	o-Xylol	650	0,33	1,41	47
nach der Durchströmung	o-Xylol	590	0,30	1,46	45
nach der Verdichtung	i-Oktan	730	0,39	1,31	51
nach der Durchströmung	i-Oktan	630	0,32	1,42	46

Die damit verbundene Verdichtung des Mikrogefüges wird in der Verteilung der Poren im Aggregatbereich (50-1000 nm) sowie in einer Abnahme der Porosität sichtbar. Der Zerfall größerer Aggregate in kleinere aggregierte Einheiten führt zur Bildung größerer Interaggregatporen, die somit einen deutlich erhöhten Durchfluß der Schadstoffe ermöglichen.

5. Schlußfolgerung

Die vorliegenden Ergebnisse erfassen qualitativ und quantitativ die bisher meist nur vermuteten Veränderungen im Mikrogefüge toniger Böden nach Kontakt mit unpolaren organischen Schadstoffen.

Einerseits ist die erhöhte Durchlässigkeit von Tonen für unpolare Kohlenwasserstoffe auf eine Reorientierung im Mikrogefüge und veränderte Porenspektren zurückzuführen. Andererseits ist die Durchlässigkeit aber auch direkt mit der unterschiedlichen Verdichtbarkeit der Proben in Abhängigkeit von der Polarität des befeuchtenden Mediums zu korrelieren. Eine genaue Analyse der Porenspektren durchflußwirksamer Poren nach der Verdichtung veranschaulicht die labortechnisch unterschiedlichen Ausgangsporositäten schon zu Versuchsbeginn. Die in Fachzeitschriften veröffentlichten Angaben zur Durchlässigkeit toniger Böden für unpolare Kohlenwasserstoffe sind somit bei fehlender Angabe des Verdichtungserfolges einer kritischen Betrachtung zu unterziehen. Eine mögliche Übertragbarkeit auf natürliche Verhältnisse scheint fragwürdig.

Literatur

- Barrett, E.P., Joyner, L.G., Halenda, P.P., 1951: The determination of pore volume and area distributions in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms. *J. Am. Chem. Soc.*, **73**, 373-380.
- Brunauer, S., Emmett, P.H., Teller, E.J., 1938: *J. Am. Chem. Soc.*, **60**: 309.
- Chapman, D.L., 1913: A contribution to the theory of electrocapillarity. - *Phil. Mag.*, **25**, No. 6, 475-481.
- Diamond, S., 1970: Pore size distribution in clays. *Clays and Clay Minerals*, **18**, 7-23.
- DVWK, 1991: Sanierungsverfahren für Grundwasserschadensfälle und Altlasten. - DVWK-Schriften **98**, 228 S.; Hamburg, Berlin (Parey).
- Fernandez, F., Quigley, R.M., 1985: Hydraulic conductivity of natural clays permeated with simple liquid hydrocarbons. *Can. Geotech. J.*, **22**, 205-214.
- Gouy, G., 1910: Sur la constitution de la charge électrique à la surface d'un électrolyte. - *Ann. Phys. (Paris)*, Série 9, 7, 129-184.

- 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).