

- LEE, C.-M.: Einsatz von Tonen zur Abwasserreinigung..... 161-179
- XIANG, W.: Quantitativer Zusammenhang zwischen Tongehalt und Scherfestigkeit von Tonzwischenschichten..... 181-198
- STEIN, M.: Diagenetisches Verhalten und Selten-Erd-Element-Konzentrationen als Kriterium zur Differenzierung von Smectiten in tertiären Oberrheingraben-Sedimenten 199-224
- CZURDA, K.A. & WAGNER, J.-F.: Verlagerung und Festlegung von Schwermetallen in tonigen Barrieregesteinen..... 225-245
- SCHABABERLE, R.; WAGNER, J.-F. & CZURDA, K.A.: Der Einfluß von Frost-Tau-Zyklen auf das Gefüge von Tonen 247-273
- VALI, H.; KOHLER, E.E.; BACHMANN, L. & FÖRSTER, O.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen von Mischungen aus Portlandzement mit Smectit-Suspensionen 275-303
- BÖHLER, U.; BÖTTGER, M.; SMYKATZ-KLOSS & WAGNER, J.-F.: Exkursion zu Tonvorkommen im Oberrheingraben (Eisenberger Becken - Wiesloch - Langenbrückener Senke)..... 305-321

TONMINERALE UND IHRE WIRKSAMKEIT IN NATÜRLICHEN UND TECHNISCHEN SCHADSTOFFBARRIEREN

Clay Minerals and their Effectiveness in Natural and Technical Contaminant Barriers

E.E. KOHLER¹ & E. USTRICH²

¹Universität Regensburg,
Institut für Geographie/Angewandte Geologie
²Technische Universität München
Lehrstuhl für Angewandte Mineralogie

KURZFASSUNG

Tonminerale sind die wichtigsten Bestandteile von mineralischen Deponiebasisabdichtungen. Die chemischen Wechselwirkungen zwischen den Schichtsilikaten und den komplex zusammengesetzten Deponiesickerwässern sind verantwortlich für die Langzeitstabilität der mineralischen Barrieren - gleichgültig ob horizontale oder vertikale Systeme betrachtet werden. Der von der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau 1985 gegründete Arbeitskreis 11: "Geotechnik der Deponien und Altlasten" hat tonmineralogischen Untersuchungen einen hohen Stellenwert zuerkannt.

ABSTRACT

Clay minerals are the most important mineral-liners of waste-deposits. The chemical interaction between sheet silicates and complex waste waters are of high importance for valuation the long-term stability of mineral barriers - horizontal and vertical systems as well. The "Geotechnics of Refuse Dumps and Contaminated Land

Committee" of the German Geotechnical Society, which was founded in 1985, has awarded high priority to clay mineralogical examinations.

1. EINLEITUNG

Mit der wissenschaftlichen Erforschung der Tonminerale haben sich in der Vergangenheit vor allem Chemiker, Bodenkundler, Mineralogen und Geologen beschäftigt. Für die Ingenieurwissenschaften, genauer gesagt die Geotechniker, war das Wort TON bislang eher ein Korngrößenbegriff (LANG, 1988). Die für Tone typischen Eigenschaften rühren in erster Linie von den Tonmineralen her, deren Untersuchung von seiten der Geotechnik erst in jüngster Zeit ernsthaft betrieben wird. Vor allem auf dem Gebiet der Umweltgeologie und der Geotechnik der Deponien wird die Bedeutung der Tonminerale immer offenkundiger (KOHLENER, 1984). Um das Grundwasser vor migrierenden Schadstoffen aus Deponien, Altlasten oder kontaminierten Standorten zu schützen, muß die Wirksamkeit natürlicher Tonbarrieren oft zusätzlich durch technische Maßnahmen - das sind horizontale oder vertikale Abdichtungssysteme - unterstützt werden. Mineralische Abdichtungen aus Ton oder tonhaltigen Baustoffen werden im Grund- und Wasserbau schon seit langer Zeit entwickelt. Aufgabe derartiger Dichtungssysteme war und ist die Reduzierung der Wasserdurchlässigkeit. Durch die lawinenartige Zunahme umweltrelevanter Probleme, bedingt durch Schadensfälle auf dem Deponiesektor, gilt nunmehr den Tonmineralen die besondere Aufmerksamkeit all jener, die mit der Planung, dem Bau, der Kontrolle und der Sanierung von Deponien betraut sind. Für die Tonmineralogie gilt es, jene Wechselwirkungen zu studieren und aufzuzeigen, die beim kurzfristigen oder langandauernden Kontakt zwischen den komplexen Deponiesickerwässern und den mineralischen Bestandteilen von Abdichtungen, also überwiegend den Schichtsilikaten, stattfinden. Diese Herausforderungen, von denen die Geowissenschaften insgesamt betroffen sind (USTRICH, 1988), gilt es anzunehmen.

2. AUFGABEN DER TONMINERALOGIE IM RAHMEN DER GEOTECHNIK DER DEPONIE UND ALTLASTEN

Im Jahre 1985 wurde von der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. (DGEG) ein Arbeitskreis "Geotechnik der Deponien und Altlasten" gegründet (Arbeitskreis 11), in dem Fachleute aus der Bauindustrie, von Ingenieurbüros, von Behörden und von Hochschulinstituten bestrebt sind, die Umsetzung wissenschaftlicher Erfahrungen auf dem Gebiet des realisierbaren Umweltschutzes im Rahmen von Empfehlungen zu bewerkstelligen. Seit der Installierung des Arbeitskreises 11 der DGEG wurden bereits zwei Schriftstücke veröffentlicht, in denen der Tonmineralogie wichtige Aufgaben zugewiesen wurden.

In BAUTECHNIK 1986 Heft 9, S. 309-316 sind die ersten vier Empfehlungen

- E 1-1 Art und Umfang von geotechnischen Untersuchungen zur Standorterkundung
- E 2-1 Grundsätze für die geotechnische Bearbeitung beim Entwurf von Deponien
- E 2-2 Grundsätze für die geotechnische Bearbeitung beim Entwurf der Sanierung von Altlasten
- E 3-1 Eignungsprüfung mineralischer Oberflächen- und Basisabdichtungen

veröffentlicht und zur Diskussion gestellt worden.

In BAUTECHNIK 1987 Heft 9, S. 289-303 sind vier weitere Empfehlungen, nämlich

- E 2-3 Kombiniertes Basisabdichtungssystem
- E 3-2 Eignungsprüfung mineralischer Dichtungsmassen

E 3-3 Tonmineralogische Charakterisierung mineralischer Basisabdichtungen

E 3-4 Charakterisierung von Sickerwasser hinsichtlich der chemischen Beanspruchung mineralischer Abdichtungsmaterialien

veröffentlicht und der Kritik der Fachkollegen ausgesetzt worden. Die Empfehlungen E 1-1, E 2-1, E 2-2 und E 3-1 wurden bereits im Heft 9 des Jahres 1987 verabschiedet, die Empfehlungen E 2-3, E 3-2, E 3-3 und E 3-4 werden, nachdem sie inzwischen überarbeitet wurden, durch Veröffentlichung im Septemberheft der BAUTECHNIK 1988 verabschiedet. Gleichzeitig werden folgende neue Empfehlungen veröffentlicht und zur Diskussion gestellt:

E 1-2 Entnahme von Wasserproben, Bodenproben und Luftproben einschließlich Probenbehandlung zu Standorterkundung von Deponien und Untersuchungen für kontaminierte Standorte und Altlasten

E 3-5 Versuchsfelder für mineralische Basis- und Oberflächenabdichtungen

E 6-1 Grundsätze der Schadstofftransportmodelle

Zweifellos werden die in den Empfehlungen niedergelegten Forderungen nur dann realisierbar sein, wenn durch staatliche Maßnahmen die notwendige Unterstützung bzw. Befürwortung erfolgt. Es ist zu hoffen, daß wissenschaftlicher Sachverstand und praktische Erfahrungswerte höher eingeschätzt werden als politische Zielsetzungen. Was die Tonmineralogie betrifft, so wird es an den mineralogischen und geochemischen Laboratorien liegen, ob die Ziele des "Arbeitskreises Geotechnik der Deponien und Altlasten" realisierbar sind. Aus der Fülle der Aufgaben, die diesbezüglich zu erwarten sind, sollen einige besonders wichtige Bereiche an dieser Stelle dargelegt werden.

3. TONMINERALOGISCHE ASPEKTE MINERALISCHER OBERFLÄCHEN- UND BASISABDICHTUNGEN

Hauptzweck der Oberflächenabdichtung ist das Fernhalten von Regen-, Schmelz- und eventuell auch von Tauwasser. Daneben sollten aber auch die aus dem Deponieinneren entweichenden Gase zurückgehalten werden. Die chemischen Wechselwirkungen zwischen den gasförmigen Emanationen des Deponieinneren und den feiblättrigen silikatischen Tonmineralen sind praktisch noch unerforscht, Aussagen über die rheologischen oder mechanischen Eigenschaften von "begasten" Tonmineralen liegen nicht vor.

Was die Deponiebasisabdichtungen betrifft, läßt sich ein erheblich besserer Informationsstand erkennen, wenngleich wichtige Forschungsziele noch nicht erreicht bzw. publiziert sind. Die Tonmineralogie ist vor allem bei der Beurteilung des chemischen Langzeitverhaltens gefordert. Folgende Untersuchungen zur Charakterisierung der Veränderung der chemischen Langzeitbeständigkeit werden vom AK 11 der DGEG empfohlen:

Auswirkungen des Sickerwassers auf das Langzeitverhalten mineralischer Abdichtungsmaterialien, insbesondere der im Feinkorn enthaltenen Tonmineralien, können mit entsprechenden Untersuchungen zur Veränderung von bodenphysikalischen Kennwerten des Materials und/oder des Feinstkornanteils beschrieben werden.

Wird im Wasseraufnahmeversuch nach NEFF (1959) statt Leitungswasser eine andersartige Prüfflüssigkeit verwendet, so läßt sich anhand der Änderung der Größe und des zeitabhängigen Verlaufs der Flüssigkeitsaufnahmen eine qualitative Aussage über die Auswirkungen dieser Flüssigkeit auf die chemische Beständigkeit mineralischer Abdichtungsmaterialien machen (JESSBERGER 1960, JESSBERGER 1986, NEFF & WALTER 1983, REUTER & MESECK 1986). Dies gilt in gleicher Weise für die Verwendung von Sickerwasser (SCHMITT 1983).

Liegen Erfahrungswerte über die Zusammensetzung des Sickerwassers nicht vor, so sollten die in Abschnitt 5 genannten Prüfflüssigkeiten verwendet werden.

Weiterhin können chemische Auswirkungen auf mineralische Abdich-

tungsmaterialien mit folgenden kombinierten Untersuchungen beschrieben werden:

- Änderung der Kornverteilung nach Entfernung des mobilisierbaren Bindemittels (E 3-3) und/oder nach Behandlung mit Sickerwasser bzw. Prüfflüssigkeit
- Chemische Charakterisierung des Bindemittels (z.B. Calcit/Dolomit-Verhältnis, Sesquioxidanteil)
- Änderung des Expandiervermögens der quellfähigen Schichten nach Behandlung mit Sickerwasser bzw. Prüfflüssigkeit.
- Änderung der Plastizität nach Entfernung des mobilisierbaren Bindemittels und/oder nach Behandlung mit Sickerwasser bzw. Prüfflüssigkeit
- Änderung der Wasseraufnahmefähigkeit des Abdichtungsmaterials nach Entfernung des mobilisierbaren Bindemittels (E 3-3) und/oder nach Behandlung mit Sickerwasser bzw. Prüfflüssigkeit

Sind zusätzliche Kenntnisse über den Einfluß des Sickerwassers erforderlich, so sind entsprechende tonmineralogische Untersuchungen nach E 3-3 durchzuführen.

Die empfohlenen bzw. geforderten Untersuchungen gehören zu den Standardverfahren eines modern ausgerüsteten mineralogischen oder geochemischen Laboratoriums. Es wird von der persönlichen Erfahrung des jeweiligen Bearbeiters abhängen, in welcher Zeit und in welcher Qualität die durchzuführenden Untersuchungen absolviert werden können. Dabei wird es weniger darauf ankommen, daß die einzelnen Untersuchungsverfahren exakt gemäß der Empfehlung durchgeführt werden, als daß vielmehr ein hohes Maß an Zuverlässigkeit der jeweils angewandten Methodik erreicht werden sollte. Die in der Empfehlung E 3-3 dargelegten Ausführungen sind im Folgenden in gekürzter Form wiedergegeben.

E 3-3 Tonmineralogische Charakterisierung von mineralischen Basisabdichtungen

1 Allgemeines

Zur Beschreibung der mineralogischen Zusammensetzung und zur Erfassung möglicher oder wahrscheinlicher permeabilitätsbeeinflussender chemischer Wechselwirkungen zwischen Sickerwässern und den tonmineralischen Phasen der zur Abdichtung verwendeten mineralischen Materialien sind in Ergänzung zu den Eignungsprüfungen nach E 3-1 tonmineralogische und geochemische Untersuchungen erforderlich.

Die Untersuchungen können sowohl an frischem als auch an bereits kontaminiertem Probenmaterial mit einem relativ eingeschränkten Arbeitsaufwand durchgeführt werden. Die beschriebenen Verfahren gehören in modifizierter Form zu den Routinearbeiten der Sedimentpetrographie.

2 Korngrößenverteilung

Zur Ermittlung des Gehaltes an Feinstkorn ($< 0.002 \text{ mm} = 2 \mu\text{m}$) der mineralischen Materialien müssen vor der Bestimmung der Korngrößenverteilung die Kornbindungen chemisch gelöst werden (z.B. mit 1N HCl-Lösung) um zu vermeiden, daß nur zufällige Aggregatzustände bestimmt werden. Durch eine mehrmalige Behandlung der Proben mit 0,1-molaren Lösungen der Ethylendiamintetraessigsäure (=EDTE; Titriplex o.ä.) vom pH 4,5 und pH 8 werden die als Bindemittel auftretenden Ca- und Ca/Mg-Karbonate schonend aufgelöst und die auf den Tonmineraloberflächen adsorbierten Ca- und Mg-Ionen gegen Na-Ionen der EDTE umgetauscht (KÖHLER & WEVER, 1980). Dadurch wird zusätzlich ein optimaler Dispergierungsgrad der Suspension ermöglicht. Mit den so vorbereiteten Proben wird die Schlämmanalyse nach DIN 18 123 durchgeführt.

3 Tonmineralogische Untersuchungen des Bodens

3.1 Bestimmung der Ionenaustauschkapazität

Durch Belegung der Tonmineraloberflächen eines Bodens mit ein- oder zweiwertigen Metallkationen oder mit NH_4^+ -Ionen und nachfolgendem quantitativen Rücktausch der fixierten Kationen läßt sich indirekt der Anteil quellfähiger Tonminerale der Probe erfassen (API 1974, MEHLICH 1948).

3.2 Röntgenographische Analyse

Die röntgenographische Erfassung der verschiedenen Tonmineralanteile (Tonmineralvergesellschaftung) sollte nur an bindemittelfreiem und geschlammtem Feinstkorn ($< 2 \mu\text{m}$) durchgeführt werden. Da für die Herstellung eines natürlichen und glyzeringesättigten (evtl. auch ethylenglykolgesättigten) Texturpräparates jeweils nur etwa 10 bis 40 mg Substanz benötigt werden, genügt für die Separierung der Feinstfraktion ein vereinfachtes Schlammverfahren (z.B. Pipettenverfahren). Unter Berücksichtigung des Anteils der wichtigsten Tonminerale wie Illit, Montmorillonit, Kaolinit und Chlorit in der Feinkornfraktion lassen sich mittels der röntgenographischen Analyse auch halbquantitative Angaben über die Tonmineralgehalte machen. Die chemisch aktiven Tonminerale befinden sich fast ausschließlich in der Fraktion $< 2 \mu\text{m}$; Kaolinit geht meist nur in die Fraktion zwischen 2 bis $6,3 \mu\text{m}$; Montmorillonit ist fast nur in der Fraktion $< 0,2 \mu\text{m}$ angereichert.

3.3 Wasseraufnahme

Der Wasseraufnahmeversuch nach NEFF (1959) sollte in Ergänzung zu E 3-1 auch an der bindemittelfreien Feinsttonfraktion durchgeführt werden. Unter Berücksichtigung von Bild 3-3.1 lassen sich Fehlbeurteilungen hinsichtlich der Tonmineralanteile einschränken und Aussagen über das gesamte Quellvermögen ableiten. Die Versuchsdauer sollte 24 Stunden betragen.

4 Karbonatanteil

Wegen der unterschiedlichen chemischen Stabilität von kalzitischem und dolomitischem Bindemittel muß bei der Bestimmung des Kalkgehaltes zwischen diesen beiden unterschieden werden. Die Bestimmung des Kalzit- und Dolomitgehaltes erfolgt am einfachsten titrimetrisch über eine Ca-Titration und eine Ca-Mg-Summentitration (HERRMANN, 1975). In der salzsauren Aufschlußlösung für diese Titration läßt sich auch Eisen nachweisen, das ebenfalls ein karbonatisches Bindemittel bilden kann. Alternativ zur Titration können die Analysen auch mit der Atom-Absorptions-Analyse (AAS) durchgeführt werden. Das Kalzit/Dolomit-Verhältnis kann mit ausreichender Genauigkeit auch röntgenographisch ermittelt werden (HERRMANN 1975, TENNANT & BERGER 1957).

4 TONMINERALOGISCHE ASPEKTE MINERALISCHER DICHTWANDMASSEN FÜR VERTIKALE BARRIEREN

Vertikale mineralische Abdichtungen werden im Grund- und Wasserbau meistens auf der Basis von Bentonit + Wasser, in der Deponietechnik bevorzugt aus Zement + Bentonit + Wasser hergestellt. In ihrer Funktion und nach ihrem strukturellen Aufbau sind sie den in geologischen Zeiträumen entstandenen horizontal liegenden Tonschichten sehr ähnlich; entsprechendes gilt auch für die silikatischen Neubildungen in der Abdichtungsmasse; die blättchen- und nadelförmigen CHA oder CSH-Phasen sind den Tonmineralen chemisch sehr verwandt (Abb. 1-4). Die Methoden der Tonmineralogie könnten bei der Erforschung der Dichtwandmassen hervorragende Dienste leisten. Die Analogie bzw. Verwandtschaftsbeziehungen zwischen den hydraulischen Neubildungen und dem Montmorillonit - er ist Hauptbestandteil des Bentonits - geht aus Tafel 1 hervor.

Sowohl aus der Eignungsprüfung, als auch bei der Beurteilung der Langzeitstabilität von Dichtwandmassen werden kristallchemische, oberflächenchemische und morphologische Kriterien vonseiten der Tonmineralogie zu beurteilen sein. Der Arbeitskreis AK 11 der DGEG hat in der Empfehlung E 3-2 bezüglich der Eignungsprü-

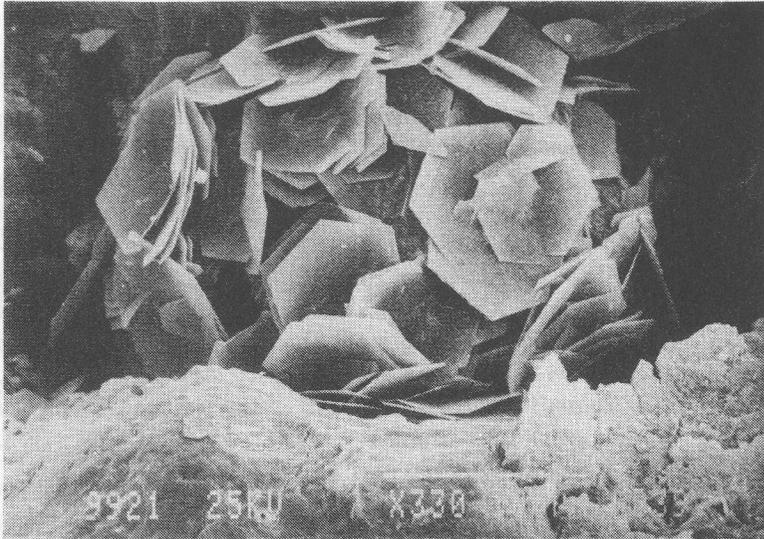


Abb. 1: Pseudohexagonale CAH-Kristallblättchen des Zementsteins als Kontaktzement (=Bindemittel) zwischen zwei Quarzkörnern.

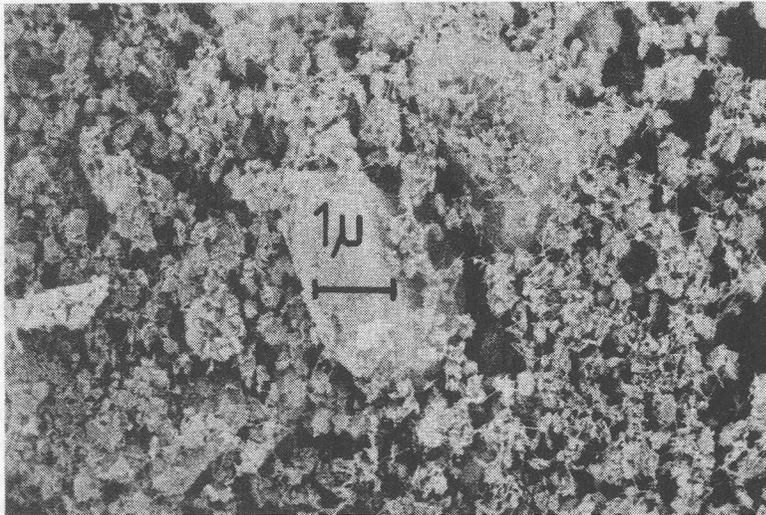


Abb. 2: REM-Aufnahme eines Reaktionsproduktes zwischen Bentonit (=Montmorillonit) und Portlandzement nach einmonatiger Alterung.

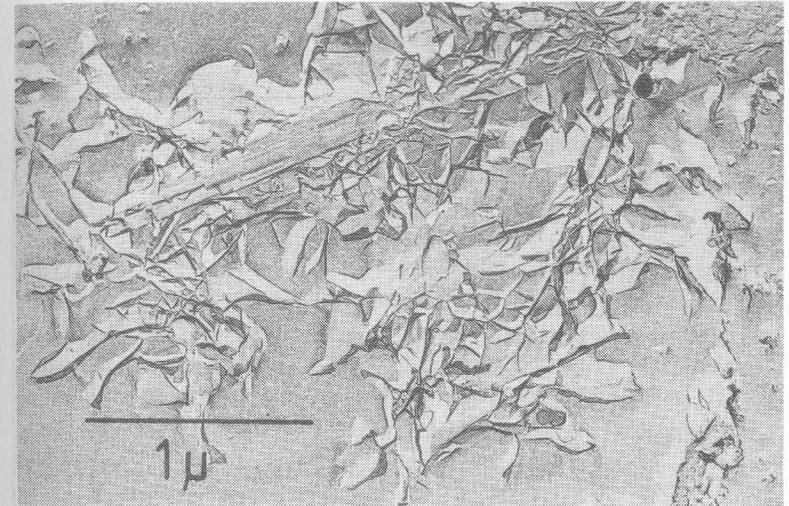


Abb. 3: TEM-Aufnahme eines Reaktionsproduktes zwischen Bentonit (=Montmorillonit) und Portlandzement nach einmonatiger Alterung.

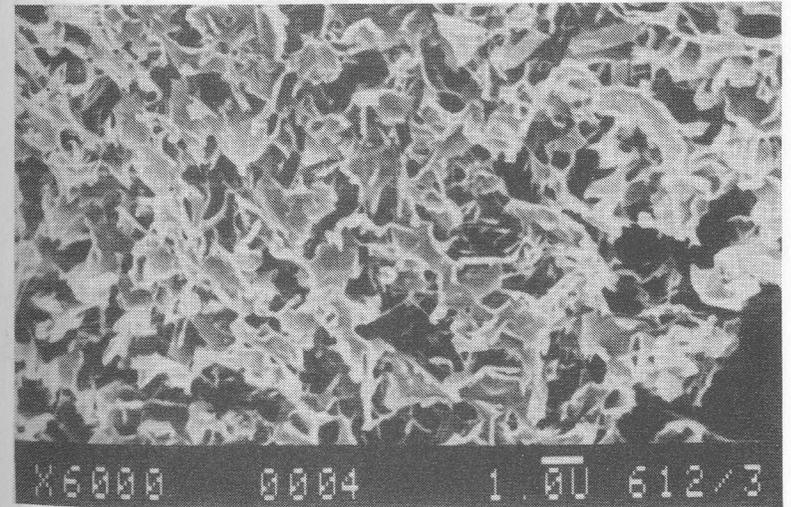
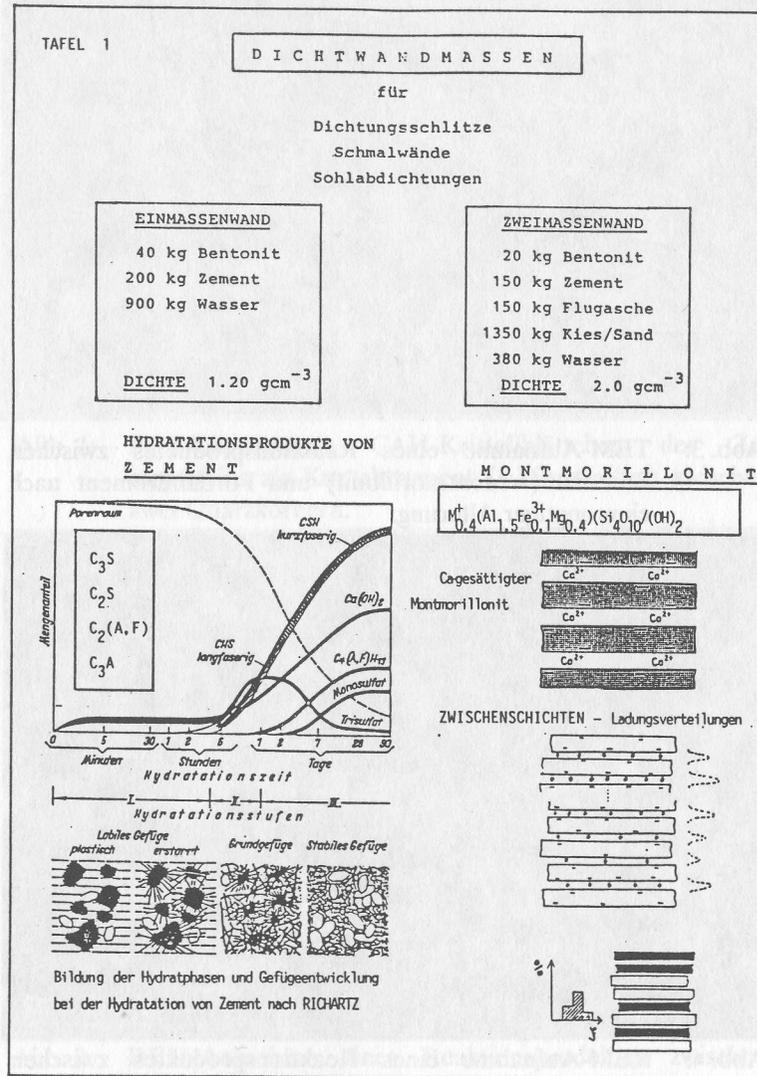


Abb. 4: REM-Aufnahme eines Reaktionsproduktes zwischen Bentonit (=Montmorillonit) und Portlandzement eine Stunde nach Einsetzen der Hydratationsreaktion.

Tafel 1: Dichtwandmassen für Dichtungsschlitz, Schmalwände und Sohlabdichtungen



fung folgende, hier in gekürzter Form wiedergegebene Kriterien zusammengestellt.

E 3-2 Eignungsprüfung mineralischer Dichtwandmassen

1 Allgemeines

Die Empfehlung regelt die Eignungsprüfungen für mineralische Dichtwandmassen, die für die vertikale Abdichtung von Deponien und Atlasten eingesetzt werden. Sie gilt für alle Bauverfahren, bei denen der anstehende Boden verdrängt (z.B. Schmalwand) oder aufgehoben (z.B. Schlitzwand) und durch eine mineralische Dichtwandmasse ersetzt wird. Im wesentlichen sind es die folgenden Bauverfahren:

Schmalwand: Einrammen oder Einrütteln eines Stahlprofils. Beim Ziehen des Stahlprofils wird der freigegebene Hohlraum mit einer Dichtwandmasse unter Druck ausgefüllt.

Schlitzwand Einphasenverfahren: Bodenaushub im Schutz einer erhärteten Bentonit-Zementsuspension, die im Schlitz verbleibt und langsam abbindet.

Schlitzwand Zweiphasenverfahren: Bodenaushub im Schutz einer Bentonitsuspension, Einbau der Dichtwandmasse im Kontaktor-Verfahren bei gleichzeitigem Verdrängen der Bentonitsuspension.

Die Eignung mineralischer Dichtwandmassen ist in jedem Einzelfall gesondert durch Eignungsprüfungen nachzuweisen. Sie sollen nur von speziell hierfür ausgerüsteten und entsprechend sachkundigen Prüfinstituten vorgenommen werden.

In der Regel ist folgendes zu bestimmen:

- *Zusammensetzung und Eigenschaften der Ausgangsstoffe*
- *Eigenschaften der frischen Dichtwandmasse*
- *Verarbeitbarkeit und Erstarrungsverhalten der Dichtwandmasse*
- *Festigkeit und Spannungs-Verformungs-Verhalten der erhärteten Dichtwandmasse*
- *Durchlässigkeit der erhärteten Dichtwandmasse*
- *Dichte und Wassergehalt*

Der Wasseraufnahmeversuch nach NEFF (1959) findet in der stofflichen Kennzeichnung der Dichtwandmasse seine Anwendung (NEFF 1984).

- *Durchlässigkeit der erhärteten Dichtwandmasse*
- *Dichte und Wassergehalt*

2 Zusammensetzung und Herstellung der Dichtwandmasse

Dichtwandmassen bestehen im allgemeinen aus den Komponenten:

- *Bentonit*
- *hydraulisches Bindemittel*
- *mineralische Füllstoffe*
- *Wasser*

und gegebenenfalls Zusatzmittel (Verzögerer, Verflüssiger, o.ä.). Die Eigenschaften der Ausgangsstoffe müssen durch Prüfzeugnisse der Lieferfirma oder entsprechende Versuche des Instituts, das die Eignungsprüfung durchführt, nachgewiesen werden. Hierbei sind folgende Informationen von Bedeutung:

Bentonit

- *Beschreibung gemäß DIN 4127*
- *Wasseraufnahme (NEFF 1959)*
- *Montmorillonitgehalt (API 1974)*

Hydraulisches Bindemittel

- *für Zement Angaben nach DIN 1164*

Mineralische Füllstoffe

- *bodenphysikalische Beschreibung (Kornform, Korngrößenverteilung, Gehalt an organischen Bestandteilen, Korndichte, Kalkgehalt, Wasseraufnahme, Wassergehalt)*
- *mineralogische und chemische Beschreibung*

Wasser

- *Angaben nach DIN 4030*

Zusatzmittel

- *Art und Wirkungsweise des Stoffes*
- *Dichte*
- *Prüfzeugnisse*

Die in der Eignungsprüfung verwendeten Ausgangsstoffe Bentonit und sein hydraulisches Bindemittel dürfen nicht älter als vier Wochen sein. Herstellungsdatum und Lieferwerk sind anzugeben.

Es sei an dieser Stelle besonders darauf hingewiesen, daß die Erforschung der Langzeitstabilität von Dichtwandmassen gegenüber Deponiesickerwässern noch nicht weit fortgeschritten ist. Erste Hinweise auf die chemische Wechselwirkung zwischen Tonmineralien, Elektrolytlösungen, Zusätzen von Polymeren und/oder Zement konnten im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft in den Jahre 1984-88 geförderten Projektes (KOHLER 689/6-3) erarbeitet werden. Die von VALI, KOHLER & BACHMANN & FÖRSTER (1988) - hier im gleichen Band - vorgestellten Untersuchungsergebnisse zeigen einen Weg, der zum Ziel führen kann.

5. ZUKÜNFTIGE AUFGABEN FÜR DIE TONMINERALOGIE

In der Vergangenheit haben Chemiker, Bodenkundler, Mineralogen und Geologen mit unterschiedlichen Zielsetzungen tonmineralogische Probleme wissenschaftlich untersucht. In dem Bestreben, auch auf dem Gebiet des Umweltschutzes bzw. der Entsorgungstechnik neue Erkenntnisse zu gewinnen, werden meistens unterschiedliche Wege beschritten. Um die Zielsetzungen derartiger Untersuchungen aber praxisrelevant auszurichten, wird der interdisziplinären Zusammenarbeit höchste Priorität einzuräumen sein. Nur wer bereit ist, mit Fachleuten aus anderen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Zwängen zusammenzuarbeiten, hat eine Chance, die Ergebnisse seiner Forschungen rechtzeitig der kompetenten Fachwelt offenzulegen.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- API American Petroleum Institute 1974: Standard Procedure for Testing Drilling Fluids API RP 13B; 5th ed.
- HERRMANN, A.G. (1975): Praktikum der Gesteinsanalytik.- Springer Verlag; Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- JESSBERGER, H.L. (1960): Flüssigkeitsaufnahme, Bildsamkeit und Sedimentationsstabilität von Ton.- Diss. TH München.
- JESSBERGER, H.L. & BUDERUS, J. (1986): Untersuchungen der Migration von organischen Schadstoffen durch mineralische Dichtungen mittels radioaktiver Tracer.- Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Grundbau und Bodenmechanik, Forschungsbericht 86-3.
- KOHLER, E.E. (1984): Mineralogische und geochemische Aspekte der Deponietechnik.- Jahrbuch der TU München, 182-197.
- KOHLER, E.E. DFG-Projekt Ko 689/6-3 (1985-88): Rheologische und elektronenoptische Untersuchungen an thixotropen Suspensionen von Tonmineralen.
- KOHLER, E.E. & WEVER, R. (1980): Gewinnung reiner Tonmineralkonzentrate für die mineralogische Analyse.- Keram. Zeitschrift 32, Nr.5, 250-252, 257.
- LANG, H.-J. (1988): Bedeutung tonmineralogischer Untersuchungen für den Bauingenieur.- Mitt. des Inst. für Grundbau und Bodenmechanik ETH Zürich, 133, 1-5.

- MEHLICH, A. (1948): Determination of cation- and anion exchange properties of soils.- Soil Sci., 66, 429-445.
- MESECK, H. (1987): Mechanische Eigenschaften mineralischer Dichtwandmassen.- Mitt. des Inst. für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig, 23.
- MESECK, H., RUPPERT, F.-R. & SIMONS, H. (1979): Herstellung von Dichtungsschlitzwänden im Einphasenverfahren.- Tiefbau, 1979, H. 8, 601-605.
- NEFF, H.K. (1959): Über die Messung der Wasseraufnahmefähigkeit ungleichförmiger bindiger anorganischer Bodenarten in einer neuen Ausführung des Enslin-Gerätes.- Die Bautechnik, 39, H. 11, 415-421.
- NEFF, H.K. & WALTER, H. (1983): Bodenmechanische und chemische Untersuchungen an der Zement-Bentonit-Schlitzwand zum Grundwasserschutz bei der Großdeponie Dreieich-Buchsschlag der Stadt Frankfurt a.M.- Fachtagung Deponietechnik der Südchemie AG in Hamburg.
- REUTER, E. & MESECK, H. (1986): Die Beeinflussung der Quelleigenschaften handelsüblicher Bentonite durch chemische Lösungen.- Wasser und Boden, 563-567.
- SCHMITT, G.-P. (1983): Mineralische Abdichtungen durch Bentonit-Ton-Gemische mit natürlichen Böden.- Fortschritte der Deponietechnik 1983, Umweltbundesamt Berlin 1983, 159-182 u. ergänzende Mitteilungen des Verfassers.
- TENNANT, C.B. & BERGER, R. (1957): X-ray determination of dolomite-calcite ration of carbonate rocks.- Amer. Mineralogists, 42, 23-29.

- USTRICH, E. (1988): Die Geowissenschaften sind nun im Zugzwang. Kontaminierte Standorte, Altlasten und Deponien.- Umwelt & Technik, H. 5, 22-24.
- VALI, H., KOHLER, E.E., BACHMANN, L. & FÖRSTER, O. (1988): Elektronenmikroskopische Untersuchungen von Mischungen aus Portlandzement mit Smectit-Suspensionen.- (in diesem Band).

Institut für Bodenmechanik und Baugrunderkundung
 Universität für Bodenkultur
 Gregor-Mendel-Str. 35, 1190 Wien

KURZFASSUNG

In natürlichen Wienerwäldern wurden Bodenproben in 4 Tiefenstufen aus dem durch Luftverschmutzung stark verunreinigten Stammabholungsgebiet (pH KCL 2,5-3,0) und aus dem Zwischenstammbereich (pH KCL ca. 3,0) von Buchen gewonnen und im Labor untersucht. Der Stammabholungsgebiet zeigt im Vergleich zum Zwischenstammbereich einen höheren G-Gehalt an S und auswaschbaren K und eine höhere Anzahl an austauschbaren Ca und Mg auf. Ebenso wurden höhere Mengen an Eisenoxiden und deutlich geringere Gehalte an Mn- und Ni-oxiden bzw. -verbindungen neben einer deutlichen Zunahme an Fraktionfraktionen und anstelle von "schwarzen" Chlorid- stark aufweiche Weichlagerungsstadien festgestellt, was auf irreversible Zustandsänderungen in der Tonfraktion und eine beginnende Desilicierung im Stammabholungsgebiet hinweist.