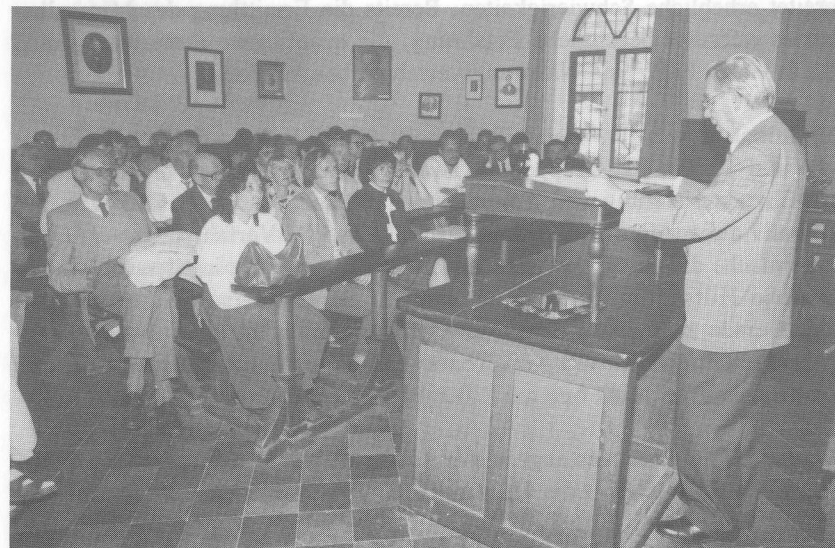




VON DEN TONKOLLOIDEN ZU DEN TONMINERALEN

K. Jasmund

Zulpicher Straße 49, D-5000 Köln 1

Unser Tagungsleiter, Herr Kollege Tributh, hat mich gebeten, anlässlich der heutigen Preisverleihung einiges über die Anfänge und die weitere Entwicklung unserer Wissenschaft von den Tönen zu berichten. Dies hier in diesem Hause zu tun, dürfte besonders angebracht sein, wo doch durch Justus Liebig, einem der großen Wegbereiter der organischen Chemie, auch die Agrikulturchemie die ersten wesentlichen Impulse erhielt.

Eigentlich hätte man das Wort Tonkolloide in Anführungsstriche setzen sollen, denn seine Bedeutung war früher eine andere als heute. Man hatte damals noch keine Möglichkeit, z.B. durch geeignete Mikroskope dieses sehr feinkörnige Ton- und Bodenmaterial in seinen Einzelbestandteilen zu erkennen. Es wurde als nicht-kristallin, also als amorph, angesehen. Wegen seiner besonderen Eigenschaften, die mehr oder weniger allen diesen Substanzen zu eigen sind, nannte man dieses Material "kolloidal".

In meinem Vortrag will ich Ihnen über zwei im Grunde verschiedene Aspekte berichten, die man in der von mir gewählten Überschrift unterbringen kann. Ich will einige der Ansätze und Ergebnisse aufzeigen, die den langwierigen Weg von der formlosen Masse der Tonkolloide zu den kristallinen Tonmineralen kennzeichnen. Der zweite Teil meines Vortrages möge Ihnen zeigen, daß manche der alten Anschauungen durchaus noch heute gelten können, wenn es um die Entstehung einiger Tonminerale geht.

Auch heute ist es noch so wie im Laufe der ganzen Entwicklung, daß die Erforschung der Tonsubstanzen in Sedimenten und Böden - also nunmehr der in ihnen befindlichen Tonminerale - durch immer neue und bessere Untersuchungsmethoden vorangetrieben wird. Damals, etwa in der Mitte des vorigen Jahrhunderts, war man noch weitgehend auf chemische Analysen angewiesen. Die so ermittelten chemischen Anteile - im wesentlichen Aluminium und Kieselsäure - sollten sich zu einem amorphen, kolloiden Komplex mit bestimmten Eigenschaften verbinden, die man allgemein diesen Kolloiden zuwies. So dachte von BEMMELEN (1888) an eine Mischung von Oxiden der betreffenden Elemente. Aber immer mehr verdichtete sich die Meinung, daß eine chemische Verbindung zwischen den analysierten Basen und der Kieselsäure vorhanden sein müsse. Diese Anschauung wurde gestützt durch das mikroskopische Auffinden eines deutlich kristallinen An-

teils. Abweichungen in der chemischen Analyse von solchem Material wurden auf Beimengungen von amorphen, kolloidalen Anteilen zurückgeführt. Es war damals allerdings schwierig, den kristallinen neben dem amorphen Tonanteil genauer zu bestimmen. So versuchte man es weiter mit chemischen Methoden (KEPPLER, 1922). Einen in Salzsäure löslichen Anteil stufte man als sogenannten "Allophanton" ein, den nicht gelöst, aber mit heißer konzentrierter Schwefelsäure auflösbaren und als kristallin bestimmten Anteil nannte man "Kaolinton". Man kannte bereits die chemische Zusammensetzung eines reinen Kaolintons, wunderte sich aber, daß ein nicht einmal gut kristallisiertes Material, noch dazu feinpulvrig bis staubfein, auch eine konstante Zusammensetzung haben konnte. Der Allophananteil mit höherem Kieselsäure- und Wassergehalt machte weiterhin Schwierigkeiten für eine weitere Untergliederung. Diese "rationelle chemische Analyse" zur Bestimmung eines Kaolinanteils war vielleicht für den Praktiker ausreichend, gab aber bei manchen Tönen, insbesondere bei sehr feinkörnigem Material, ein nicht immer zutreffendes Bild der wahren Verhältnisse. Mehrfach abgeschlämmt hinterließen Tonsuspensionen eine Trübe, die sich kaum absetzte und die, wie bereits andere damals bekannte Kolloide, eine deutliche Adsorption von Salzen zeigte. Schon sehr früh spielte diese Eigenschaft des Basenaustauschs eine wichtige Rolle. Bereits 1852 war WAY auf eine solche Eigenschaft des Bodens aufmerksam geworden; eine Eigenschaft, die aufgrund der damaligen Erfahrungen aber nur dem amorphen Material im Boden zukommen sollte. Auch als man kristallines Material längst gefunden hatte, wurde noch lange an der alten Auffassung festgehalten. So wurde zur Deutung des Basenaustauschs von LEMBERG (1876) schon sehr früh die Meinung vertreten, daß im Boden neugebildete, sehr feinverteilte zeolithische Komplexe vorkommen, die nun für den Basenaustausch verantwortlich zu machen seien.

Nur mühsam konnten sich in der Folgezeit die neuen Erkenntnisse über die Existenz von verschiedenen Tonmineralen und insbesondere deren spezifischen kolloidchemischen Eigenschaften durchsetzen (ENDELL und VAGELER, 1932). Hinweise darauf gab es schon sehr früh. 1887 wandte Le CHATELIER (1887) seine Methode der thermischen Entwässerung auch auf Tone an und erkannte, daß eine Entwässerung der feinsten Tonsubstanz an bestimmte Temperaturbereiche gebunden ist. Es mußte sich also um die Abgabe von Konstitutionswasser handeln, was nach damaligen Erfahrungen nur mit Mineralen, d.h. mit kristalliner Tonsubstanz möglich sein konnte.

Entscheidende Impulse erhielt die Erforschung der Tone und Böden durch Verbesserung optischer Methoden. Hier war es das Verdienst der Mineralo-

gen und Petrographen, als diagnostisches Mittel spezielle optische Methoden erarbeitet zu haben. Als Wegbereiter wären zu nennen: Zirkel und Rosenbusch allgemein für die Gesteinsminerale, für die Tonminerale später dann CORRENS und Mitarbeiter (1929, 1936). Erst mit Vervollkommen der Mikroskope zu höherer Auflösbarkeit wurde es möglich, auch die mehr feinkörnigen Tonbestandteile zu identifizieren. So wurden 1890 die optischen Daten eines besonders gut kristallisierten Kaolins von DICK und MIERS bestimmt, eines Tonminerals, das heute als Dickit bezeichnet wird. Immer neue optische Daten von verschiedenen Tonmineralen wurden bekannt. Besonders zu nennen sind die Arbeiten von ROSS und Mitarbeitern (1925, 1926, 1934), die in wenigen Jahren 1925-1926 in den USA sowohl die chemischen als auch die optischen Daten von Tonmineralen verschiedener Herkunft bestimmten und eine erste Klassifikation versuchten. Für den Kaolin wurde sogar eine Reihe von Strukturen vorgeschlagen, doch weichen die Konstitutionsformeln erheblich voneinander ab (STREMME, 1912) und entsprechen nicht den wahren Verhältnissen.

Inzwischen waren von HADDING (1923) in Uppsala und von RINNE (1924) in Leipzig die ersten röntgenographischen Pulveraufnahmen nach dem Debye-Scherrer-Verfahren veröffentlicht worden. Damit war ein erster, aber entscheidender Durchbruch in Richtung weiterer und sicherer Klassifikation gelungen. 1930 veröffentlichte LINUS PAULING seine Ergebnisse über den gittermäßigen Aufbau einer Reihe von Phyllosilicaten, die nun in den folgenden Jahren die Grundlage bildeten für die kristallstrukturelle Untersuchung von Tonmineralen. So bestimmte GRUNER 1932 die Kristallstruktur des Kaolinit. 1933 veröffentlichten U. HOFMANN, ENDELL und WILM ihren Strukturvorschlag für den Montmorillonit. Mit den hier zugrundegelegten Baueinheiten aus Schichtpaketen mit Aluminium in der Oktaederschicht und Silizium in der Tetraederschicht war der Durchbruch gelungen, weitere Tonminerale strukturell einzuordnen.

Schwierigkeiten gab es dann allerdings wieder, als man feststellte, daß die Schichtpakete nicht immer nach einem bestimmten Ordnungsgrad übereinander geschichtet sind.

Wegen ihres teilweise hohen Anteils in den feinsten Fraktionen von Sedimenten und ihrer Bedeutung für die Böden sollen die glimmerähnlichen Minerale noch besonders erwähnt werden. Bei ihren optischen Untersuchungen hatten ROSS und KERR 1931 kaliumhaltige Tonminerale mit höherem Wassergehalt beschrieben, deren Lichtbrechung weit unter der von bekannten Glimmermineralen lag. Von Endell, Hofmann und Mitarbeitern wurden

sie bei späteren Untersuchungen als "Glimmerton" bezeichnet. Im Jahre 1937 publizierten GRIM, BRAY und BRADLEY erste vollständige Ergebnisse über diese wichtigen Tonminerale. Weil sich diese Minerale bezüglich Zusammensetzung, Vorkommen und Bildungsbedingungen von den bisher bekannten unterschieden, wurde ihnen von Grim der Sammelname "Illite" gegeben.

Noch immer nicht endgültig gelöst war zu Anfang der dreißiger Jahre das Problem eines Anteils von sogenanntem "Allophan" in Tonen und Böden, der wegen seines hohen Wassergehalts für die plastischen Eigenschaften und für das Sorptionsvermögen verantwortlich sein sollte (HOFMANN et al., 1934). Noch 1930 wies NOLL aus der Schule von Link in Jena in seiner Doktorarbeit auf die Bedeutung dieses amorph-kolloiden Anteils für die Adsorption speziell des Kaliums hin. Bedenken waren allerdings schon aufgetaucht, als man dann in diesen feinsten Fraktionen ein kristallines Mineral mit einer definierten chemischen Zusammensetzung fand, den Halloysit, der als dem Kaolinanteil sehr ähnlich erkannt wurde. Einen weiteren Beitrag zur Lösung des Allophanproblems brachten Untersuchungen von HOFMANN et al. (1934) zusammen mit seinem Lehrer ENDELL an der TH Berlin. Sie konnten zeigen, daß die Substanzen, die man als hochprozentigen Allophan betrachtete - wie Bolus, Walkerde, Bentonit - keine undefinierten amorphen Kolloide sind, sondern eindeutig kristalline Verbindungen mit definierter Kristallstruktur, d.h. Tonminerale.

In der Bodenkunde setzte sich allerdings die Vorstellung, daß der anorganische kolloide Anteil der Böden aus kristallinem Material bestehen sollte, nur sehr zögernd durch. Infolge der äußerst komplexen Zusammensetzung eines Bodens waren hier weit mehr Schwierigkeiten zu überwinden. Mit den alten überkommenen Vorstellungen aufzuräumen war das Verdienst von KELLEY und Mitarbeitern (1939) in den USA und dann von EDELMANN und seinen Schülern (1939) in den Niederlanden. Beiträge von SCHACHT-SCHABEL (1937) im Institut von Scheffer in Göttingen brachten weitere Klarheit.

Beim Allophanproblem war man durch die verbesserten röntgenographischen Methoden der Identifizierung der kolloiden Tonminerale ein erhebliches Stück weitergekommen, aber in vielen Arbeiten regte sich immer noch der Verdacht auf das Vorhandensein eines, wenn auch geringen, Anteils an nicht kristalliner, amorpher Substanz. Also sollte es sie doch geben, die amorphen Tonkolloide, vielleicht sogar als Vorstufe bei der Bildung kristalliner Tonminerale?

Mehr Licht in diese Situation brachten dann erst die Synthesen von Kaolinit und Montmorillonit durch NOLL (1932, 1936) unter hydrothermalen Bedingungen bei 300-400°, und zwar aus amorphen Ausgangsgelen in Fortsetzung einiger Vorversuche von SCHWARZ und Mitarbeitern (1925, 1932).

Mein Lehrer Correns schrieb 1926 dazu: *"Es kann nun die Frage aufgeworfen werden, ob mit der mikroskopischen und röntgenographischen Untersuchung der Mineralbestand des Bodens vollkommen geklärt ist, ob in dem Boden nicht die in der Literatur eine nicht so große Rolle spielenden mineralischen Gele noch daneben vorhanden sind."* Dann weiter: *"Wir haben heute noch keine sicheren Hilfsmittel, um festzustellen, ob solche mineralischen Gele am Aufbau des Bodens beteiligt sind. Es ist aber unwahrscheinlich, daß sie eine wesentliche Rolle spielen."*

Auch ich konnte mich in meiner Doktorarbeit (1940) *"Über den Mineralbestand einiger Kaoline unter besonderer Berücksichtigung der kolloiden Größenordnung"* an dieser Diskussion beteiligen. Weil ich mich in der vorausgegangenen Examensarbeit im Fach Chemie mit der Molekulargewichtsbestimmung von Kolloiden mit Hilfe von Superzentrifugen befaßt hatte, sollte ich nun die feinste Zentrifugenfraktion meiner Kaoline auf das Vorkommen amorpher Substanz überprüfen. Doch mit den damals zur Verfügung stehenden röntgenographischen Methoden war mir kein Erfolg beschieden. Dieses Problem der Existenz von quasi-amorpher Substanz, also von Tonkolloiden nach der alten Definition, hat mich aber immer wieder beschäftigt, und heute, nach 50 Jahren, habe ich es wieder aufgegriffen.

Letztlich geht es um die Frage, ob es röntgen-amorphe Phasen gibt als Übergangsstufe zu einem kristallinen Aluminiumsilicat-Mineral. Bereits Ende der fünfziger Jahre hatte man chemisch nachweisen können, daß Allophan mit einer variablen Assoziation von Kieselsäure und Aluminiumoxidhydraten ein normaler Bestandteil in Böden ist. Vor allem dienten Böden in Japan, durch Verwitterung aus vulkanischen Aschen entstanden, als Untersuchungsmaterial. Erste Erfolge brachten Untersuchungen mittels Infrarot-Absorption und Thermoanalyse im Macaulay Institute of Soil Research in Aberdeen, wo MITCHEL und FARMER (1962) in schottischen Böden amorphes, allophanähnliches Material identifizierten, und zwar mit einem recht hohen Si/Al-Verhältnis. In den Folgejahren erschienen nun weitere Publikationen über diese Bodenkolloide mit ihrem intermediären Zustand zwischen amorph und kristallin. Bekannt war inzwischen das unterschiedliche $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis und der schwankende H_2O^+ - und H_2O^- -Gehalt. Vor allem durch Infrarot-Spektroskopie wurde man dann auf die Existenz

schlecht kristalliner bis amorpher Substanzen in der feinsten Bodenfraktion aufmerksam. Untersuchungen dieser Art wurden nun vorangetrieben von Wada und seinen Mitarbeitern an der Fakultät für Agrikultur der Kyusu Universität in Japan. Neue Erkenntnisse brachten Aufnahmen mit hochauflösenden Elektronenmikroskopen (HEMMI und WADA, 1976). Was man vor vielen Jahrzehnten bereits aufgrund des unterschiedlichen Löslichkeitsverhaltens dieser Bodenkolloide vermutet hatte, wurde nun bestätigt (WADA und TOKASHIKI, 1972). Als unterschiedlich löslich erwiesen sich zwei Substanzen ganz unterschiedlicher Ausbildung. In den elektronenoptischen Aufnahmen erkennt man rundliche Partikel, die sich zu Aggregaten vereinigen. Diese als Allophan bezeichneten Substanzen zeigen nur allererste Ansätze einer gewissen strukturellen Ordnung. Neben diesen Allophanen kommt eine weitere kolloidale Substanz vor, die sich von der vorigen deutlich in ihrer Morphologie unterscheidet. Wurmförmige Gebilde und Stränge, teilweise aufgelöst in einem Gespinnst von einzelnen Fäden, werden in Elektronenmikroskopaufnahmen sichtbar (ESWARAN, 1972). Bei stärkerer elektronenoptischer Auflösung sieht man, daß diese Bänder und Fäden aus einem Bündel von parallelen Fasern bestehen (HEMMI und WADA, 1976). Dieser sogenannte "Imogolit" zeigt bereits eine höhere strukturelle Ordnung. Röntgenographische und noch mehr elektronenoptische Beugungsaufnahmen beweisen das (WADA, 1967). Dies wären also die immer wieder vermuteten Ton- und Bodenkolloide. Ende der siebziger Jahre wurden von FARMER und Mitarbeitern (1979) in Aberdeen und von WADA (1980, 1987) in Japan Imogolit-ähnliche Phasen synthetisiert, allerdings über eine Versuchsdauer von vielen Monaten.

Die Erfahrungen beider Forschungsgruppen versuchte ich nun bei unseren Verwitterungsversuchen an Feldspäten, speziell an Albit, zu nutzen. Die Ausgangsbedingungen waren denen der Imogolit-Synthese zumindest ähnlich. Auch bei unseren Versuchen mit neutralen und schwach sauren Verwitterungslösungen hatte sich jetzt, allerdings auf dem Albitkristall, ein gelartiger Niederschlag gebildet. Im Rasterelektronenmikroskop konnte ich dann bei höchster Vergrößerung Allophan-ähnliche, aber vor allem Imogolit-ähnliche Strukturen erkennen. Mittels eines besonderen Verfahrens konnten wir die Gelschicht von der Albitoberfläche ablösen, und nun war auch im Transmissionselektronenmikroskop die typische Ausbildung der sich verzweigenden Stränge zu sehen. Zum Erkennen der einzelnen Fasern reichte das Auflösungsvermögen unseres Gerätes nicht. Dafür gelang es uns aber, in einigen Proben mit Hilfe der Feinbereichsbeugung die charakteristischen Interferenzen eines sogenannten Proto-Imogolits nachzuweisen. Ob

es sich bei den rundlichen Gebilden in unseren Proben um eine Allophanartige Substanz mit noch geringerer struktureller Ordnung handelt, konnte nicht entschieden werden.

Im Erscheinungsbild des Rasterelektronenmikroskops sind die bei unseren Verwitterungsexperimenten erhaltenen Phasen denen aus natürlichen Vorkommen, wie bei ESWARAN (1972) abgebildet, recht ähnlich. Nur morphologische Unterschiede im elektronenoptischen Bild heranzuziehen erscheint allerdings nicht immer gerechtfertigt. Während z.B. die Allophanhaltigen Bodenproben bei ihrer Aufbereitung einer erheblichen mechanischen Beanspruchung z.B. durch Ultraschallbehandlung ausgesetzt sind, werden unsere gelartigen Niederschläge auf den Albitkristallen, außer bei der Gefriertrocknung, nicht beansprucht. Unsere Ergebnisse dürften zeigen, daß auch durch experimentelle Verwitterung von Feldspäten solche zunächst fast amorphen Tonkolloide dauernd neu entstehen. Auch aus natürlich verwitterten Feldspäten müssen sie dann gebildet werden und als bereits strukturell geordnete Phasen als Tonkolloide in den Böden, z.B. in Bleicherdeböden, vorkommen; damals von ENGELHARDT (1940) aus rein optischen Befunden allerdings noch als "amorphe" Tonsubstanz beschrieben.

Die Frage ist, wie und wann diese metastabilen Phasen sich zu voll kristallinen Tonmineralen umbilden? Bedarf es einer erneuten Auflösung dann nicht mehr im Einflußbereich der verwitterten Feldspatoberfläche, sondern nun im Porenwasser des Bodens oder eines verwitterten Gesteins, d.h. Reaktionen, die dann zu gut kristallinen Tonmineralen führen können? Einige Ergebnisse der Tonmineralsynthese bei normalen Temperaturen dürften dies bestätigen. Viele dieser Fragen sind bisher nicht hinreichend beantwortet. Auf dem Weg von den Tonkolloiden, gleichwohl wie man sie definiert, zu den Tonmineralen gibt es noch einiges zu tun.

Literaturverzeichnis

- Bemmelen, J.M. van (1888): Die Absorptionsverbindung und das Absorptionsvermögen der Ackererde
Landw. Vers. Sta. **35**, 69-136
- Correns, C.W. (1929): Bestimmung der Brechungsexponenten in Genesen feinkörniger Minerale und von Kolloiden
Zentralbl. f. Min. Abt. A **408-411**
- Correns, C.W. (1936): Petrographie der Tone
Naturwiss. **26**, 117-124
- Dick, A.B. & Miers (1980)
Min. Mag. **9**, 4
- Edelmann, C.H., J.C.L. Favejee, & F.A. van Baren (1939): General discussion of the mineralogical composition of clays and quantitative X-ray analyses of dutch clays
Overdruk uit Medeldeel. Landbouwhoogeschool **43**, 1-39
- Endell, K. & Vageler, P. (1932)
Ber. Dtsch. Keram. Ges. **13**, 377
- Engelhard, W. von (1940): Zerfall im Aufbau von Mineralen in norddeutschen Bleicherdeböden
Chemie d. Erde **13**, 1-43
- Eswaran, H. (1972): Morphology of allophane, imogolite and halloysite
Clay Minerals **9**, 281-285
- Farmer, V.L., A.R. Frazer & J.M. Tail (1979): Characterization of the chemical structures of natural and synthetic aluminosilicate gels and soils by IR-spectroscopy
Geochim. Acta **43**, 1417-1420
- Grim, R.E., R.H. Bray, & W.F. Bradley (1937): The mica in argillaceous sediments
Am. Mineralogist **22**, 813-829
- Gruner, J.W. (1932): The Crystal structure of kaolinite
Z. Krist. **83**, 75-88
- Hadding, A. (1923): Eine röntgenographische Methode, kristalline und kryptokristalline Substanzen zu identifizieren
Z. Krist. **58**, 108-112
- Hemmi, T. & K. Wada (1976): Morphology and composition of allophane
Amer. Mineral. **61**, 379-390

- Hofmann, U., K. Endell & D. Wilm (1933): Kristallstruktur und Quellung von Montmorillonit
Z. Krist. **86**, 340-348
- Hofmann, U., K. Endell & D. Wilm (1934): Röntgenographische und kolloidchemische Untersuchungen über Ton
Angew. Chemie **47**, 539-558
- Jasmund, K. (1940): Über den Mineralbestand einiger Kaoline unter besonderer Berücksichtigung der kolloiden Größenordnung
Chemie d. Erde **12**, 508-535
- Kelley, W.P., W.H. Dore & A.O. Woodford (1939): The colloidal constituents of California soils
Soil Sci. **48**, 201-255
- Keppler (1922)
Ber. Dtsch. Keram. Ges. **3**, 257
- Le Chatelier, H. (1887): De l'action de la chaleur sur les argiles
Bull. Soc. Franc Miner. **10**, 204-211
- Lemberg, J., (1876): Über Silicatumwandlungen
Z. Deut. Geol. Ges. **28**, 519-621
- Mitchel, B.D. & V.C. Farmer (1962): Amorphous clay minerals in some Scottish soil profiles
Clay Min. Bull. **28**, 128-144
- Noll, W. (1930): Die Sorption des Kaliums in tonigen Sedimenten und ihre Bedeutung für die Bildung des Kaliglimmers bei der Metamorphose
Chemie d. Erde **6**, 1-50
- Noll, W. (1932): Synthese des Kaolins
Fortschr. Mineral. **17**, 65-66
- Noll, W. (1936): Synthese von Montmorilloniten
Chemie d. Erde. **10**, 129-154
- Pauling, L. (1930): The structure of micas and related minerals
Proc. Natl. Acad. Sci. U.S. **16**, 123-129
- Rinne, F. (1924): Röntgenographische Untersuchungen an einigen feinzertheilten Mineralien, Kunstprodukten und dichten Gesteinen
Z. Krist. **60**, 55-69
- Ross, C.S. & E. V. Shannon (1925): The chemical composition and optical properties of beidellite
J. Wash. Acad. Sci. **15**, 467-468

- Ross, C.S. & E.V. Shannon (1926): Minerals of bentonite and related clays and their physical properties
J. Am. Ceram. Soc. 9, 77-96
- Ross, C.S. & P.F. Kerr (1931): The kaolin minerals
U.S. Geol. Surv., Profess. Paper 165E, pp. 151-175
- Ross, C.S. & P.F. Kerr (1934): Halloysite and allophane
U.S. Geol. Surv., Profess. Paper 185G, pp. 135-148
- Schachtschabel, P. (1937): Mikroskopische und röntgenographische Untersuchungen von Böden
Bodenkde. und Pflanzenernährung 5(50), 375-389
- Schwarz, R. & Walker (1925): Über die Genesis der natürlichen Aluminiumhydroxysilicate
Z. anorg. u. allg. Chemie 304-310
- Schwarz, R. & G. Trageser (1932): Über die künstliche Umwandlung von Feldspat in Kaolin
Z. anorg. u. allg. Chemie 215, 190-200
- Stremme, H. (1912): Die Chemie des Kaolins
Fortschr., Min., Krist. u. Petrogr. 2, 83-128
- Wada, I. (1967): A structural scheme of soil allophane
Amer. Mineral. 52, 690-708
- Wada, K. & Y. Tokashiki (1972): Selective dissolution and difference infrared spectroscopy in quantitative mineralogical analysis of volcanic ash soil clays
Geoder. 7, 149-213
- Wada, S.I. & K. Wada (1980): Formation, composition and structure of hydroxy-aluminosilicate ions
J. Soil Sci. 31, 457-467
- Wada, S.I. (1987): Imogolite synthesis at 25 °C
Clays Clay Min. 35, 379-384
- Way, J.T. (1852): On the power of soils to absorb manure
J. Roy. Agr. Soc. (Engl.) 13, 123-143

METHODEN ZUR UNTERSUCHUNG DER DIFFUSION IN REINEN TONEN

Ruth Degen

Institut für Grundbau und Bodenmechanik der ETH Zürich
ETH Hönggerberg, CH-8049 Zürich

Abstract

The methods for diffusion tests under a nitrogen atmosphere are demonstrated for Fe^{2+} -ions in highly compacted bentonite. The application of the measured parameters in the diffusion-dispersion equation and the extrapolation of the results for long-time behaviour are presented.

Zusammenfassung

Die Diffusion von Eisen-II-ionen in hochverdichteten Bentoniten in Stickstoffatmosphäre wurde als Modellversuch für Diffusionstests angesehen. Es werden die Verwendbarkeit der gemessenen Parameter in der Diffusions-Dispersionsgleichung und die Extrapolationsmöglichkeiten der Ergebnisse auf das Langzeitverfahren geprüft.

1 Danksagung und Einleitung

Für die Auszeichnung durch den Karl-Jasmund-Preis, der mir für Arbeiten auf dem Gebiet der bodenmechanischen Veränderungen reiner Tone durch den Einfluß von Chemikalien und für Diffusionsuntersuchungen verliehen wurde, bedanke ich mich bei dem Vorstand der DTTG und besonders bei meinem Lehrer, Herrn Prof. Dr. Max Müller-Vonmoos. Ohne ihn wären diese Arbeiten nicht möglich gewesen.

In dem folgenden Artikel will ich entsprechend des Themenschwerpunktes der Tagung "Methoden in der Tonmineralogie" auf die Durchführung und Auswertung von Diffusionsversuchen eingehen und dieses am Beispiel der Eisendiffusion in hochverdichtetem Bentonit darstellen.