

- Bish, D.L., Howard, S.A., 1988: Quantitative phase analysis using the Rietveld method. *J. Appl. Cryst.*, **21**, 86-91.
- Brindley, G.W., Brown, G., 1980: Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. ed. Mineralogical Society, London.
- Busing, W.R., Martin, K.O., Levy, H.A., Brown, G.M., Ellison, R.D., Hamilton, W.C., Ibers, J.A., Johnson, C.K., Thiessen, W.E., 1974: ORXFLS4 Crystallographic structure-factor-least-square-program. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge Tennessee 37830.
- Moore, D.M., Reynolds Jr., R.C., 1989: X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford University Press, New York.
- Rietveld, H.M., 1969: A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *J. Appl. Cryst.*, **34**, 65.
- Schneider, J., 1989: WYRIET. IUCr Int. Workshop on the Rietveld Method, Petten.
- Soboleva, S.V., Zvyagin, B.B., 1968: Crystal structure of dioctahedral Al-mica 1M. *Sov. Phys. Crystallogr.*, **13**, 605.
- Velde, B., Hower, J., 1963: Petrological significance of Illite polymorphism in Paleozoic sedimentary rocks. *Amer. Min.*, **48**, 1239-1254.
- Zuther, M., 1992: PROFIL-D500 : Programme zur Bearbeitung von Röntgendiagrammen. Fachgebiet Mineralogie der Universität Bremen (unveröffentlicht).

Untersuchungen zur Verwitterung kaolinhaltiger Sandsteine

M.R. Mönig und K. Jasmund

Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität zu Köln
Zülpicher Str. 49, D-50674 Köln

Kurzfassung

Bestimmte polare chemische Verbindungen, die auch als natürliche organische Stoffwechselprodukte entstehen, sind in der Lage, kaolinhaltige Naturbausteine zu zerstören. Derartige chemische Verbindungen wie Harnstoff sind dadurch gekennzeichnet, daß sie mit Kaolinit unter Bildung von Einlagerungsverbindungen reagieren. Es konnte nachgewiesen werden, daß solche chemischen Verbindungen, die zu einer innerkristallinen Quellung des im Gestein zugänglichen Kaolinites führen, wiederum ursächlich für die beobachtete Zerstörung sind. Nach statistischer Auswertung kann der Verlauf der Zerstörung der Sandsteine durch die Quellmittel näher charakterisiert und das Verhalten der unterschiedlichen Gesteine bezüglich dieser Zerstörung verglichen werden.

Einleitung

Schon lange ist bekannt, daß bestimmte Tonminerale mit gewissen polaren chemischen Verbindungen Einlagerungskomplexe bilden. Damit verbunden ist eine Aufquellung der Tonminerale. Inwieweit eine derartige Reaktion auch im Gesteinsverband stattfindet und so zu einer Zerstörung von Bausteinen führen kann, blieb bislang bei Untersuchungen zur Baustoffverwitterung unberücksichtigt.

Tatsächlich stellte sich bereits bei ersten experimentellen Untersuchungen heraus, daß montmorillonit- aber auch kaolinhaltige Gesteine durch die Einwirkung entsprechender Verbindungen zerstört werden können. Im Verlauf der Reaktion setzt bei den betroffenen Gesteinskörpern eine unterschiedlich stark ausgeprägte Deformation ein; die Oberflächen der Probenkörper beginnen sich aufzuwölben - offenbar Folge eines zunehmenden inneren Drucks. Am Ende dieser Reaktion steht dann der völlige Zerfall des Gesteins (Abbildung 1). Gleichzeitig läßt sich röntgenographisch nachweisen, daß die Tonminerale im Gestein mit dem Quellmittel reagieren.

Aufschlußreich ist auch eine weitere Beobachtung: Aus Probenkörpern, die nur kurzzeitig der Einwirkung eines Quellmittels ausgesetzt waren, können erhebliche Mengen der quellfähigen Tonminerale aus den Gesteinsporen ausgewaschen werden.

Die Ergebnisse dieser Voruntersuchungen wiesen darauf hin, daß Interkalationsreaktionen auch in tonmineralführenden Natursteinen möglich sind. Dabei werden Gefüge und Struktur der zugänglichen Tonminerale und -aggregate so zerstört, daß porengängige Tonpartikel entstehen und ausgewaschen werden können. Auch stellte sich die Frage, inwieweit die beobachtete Deformation und Zerstörung der Gesteine eine Folge der Aufweitung der tonigen Bestandteile sei.

Dies machte weitere umfangreiche Untersuchungen notwendig.

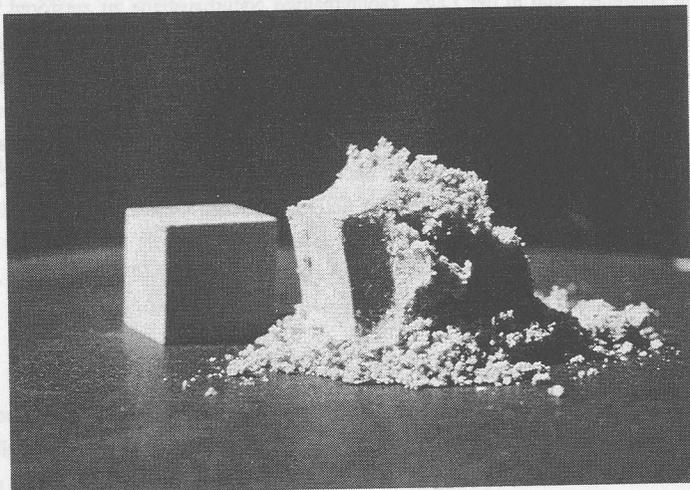


Abb. 1: Auswirkung der Reaktion mit Harnstoff am Beispiel des Obernkirchener Sandsteins. Der verwitterte Würfel - im Vergleich zur frischen Probe - reagierte etwa 4 Wochen mit einer 9,5 molaren Harnstofflösung.

Versuchsbeschreibung

Für die weiteren Untersuchungen wurden Sandsteine ausgewählt, die sich insbesondere in ihrem Kaolinitgehalt voneinander unterscheiden. Gefüge und Zusammensetzung der Gesteine wurden nach mikroskopischen Auszählverfahren sowie normativen Berechnungen auf der Grundlage chemischer Analysen bestimmt und mit Literaturwerten verglichen.

Sandsteine ohne röntgenographisch nachweisbaren Kaolinit dienten als Vergleichsproben. Die mineralische Zusammensetzung der kaolinithaltigen Sandsteine, mit denen die Versuchsreihen durchgeführt wurden, ist in Tabelle 1 wiedergegeben. Je nach Art der Bestimmung wird die prozentuale Zusammensetzung als Mittelwert mit Angabe des Fehlers (Auszählverfahren) oder eingegrenzt durch einen oberen und unteren Extremwert (normative Berechnung) aufgelistet.

Tab. 1: Zusammensetzung der kaolinithaltigen Gesteine in Vol%.

Sandsteine	Quarz	Feldspäte	Carbonate	Hellgl., Chl. Sonst.	Kaolinit
Worzeldorfer, fein	64,1 ± 1,7	15,7 ± 1,3	-	6,5 ± 1,3	13,7 ± 1,2
Schlaitdorfer	74,1-74,7	6,4-7,4	7,77-7,79	0,1-1,3	9,6-10,5
Obernkirchener	85,6-86,8	0,4-2,4	0,02	1,1-3,5	9,0-10,8
Schönbucher, fein	81,7-83,1	3,8-6,1	1,56-1,57	0,3-3,1	8,3-10,4
Schönbucher, grob	80,2-81,8	4,9-7,4	5,63-5,66	0,1-3,3	4,2-6,5

Als Quellmittel dienten Verbindungen, von denen detaillierte Untersuchungen zur Bildung von Interkalationsverbindungen mit Kaolinit vorlagen.

Im einzelnen wurden nachfolgende Chemikalien benutzt:

Dimethylsulfoxid (DMSO)	$\text{CH}_3(\text{SO})\text{CH}_3$
Harnstoff	$\text{NH}_2(\text{OC})\text{NO}_2$
Hydrazin	H_2NNH_2
Formamid	$\text{HCO}(\text{NH}_2)$

Zur Durchführung der Versuchsreihen wurde folgendermaßen vorgegangen:

Zunächst wurden würfelförmige Probenkörper von 20 mm Kantenlänge in wäßrige Lösungen der jeweiligen Quellmittel eingebracht.

In regelmäßigen zeitlichen Abständen wurden einzelne Gesteinswürfel aus den Reaktionsgefäßen entnommen.

Die noch feuchten Probenkörper wurden nach DIN 52105 (Prüfung von Natursteinen, Druckversuche), parallel zur Schichtung, einer einaxialen, langsam steigenden Druckbelastung unterworfen. Die für den Bruch benötigte Höchstkraft wurde gemessen. Der Quotient aus der Höchstkraft in N und dem Probenquerschnitt in mm^2 ergibt die Druckfestigkeit. Anhand dieser ließ sich der Zerstörungsgrad der Sandsteine in Abhängigkeit von der Reaktionszeit erfassen.

Der fortschreitende Verlauf einer Interkalationsreaktion konnte durch Ermittlung des Röntgenreaktionsgrades nach WEISS et al. (1963) bestimmt werden.

Interkalationsreaktion: Quellmittel + Kaolinit \rightleftharpoons Komplexkaolinit

Reaktionsgrad bzw. Aufweitgrad:
$$Q = \frac{\text{Komplexkaolinit}}{\text{Gesamtkaoilint}}$$

Röntgenaufweitgrad:
$$Q_{\text{rönt}}[\%] = \frac{I(001)_{\text{Komplex}}}{I(001)_{\text{Komplex}} + I(001)_{\text{Kaolinit}}} \cdot 100$$

Am gleichen Probenkörper wurde etwa 30 Minuten nach der Druckfestigkeitsbestimmung der Röntgenaufweitgrad $Q_{\text{rönt}}$ bestimmt.

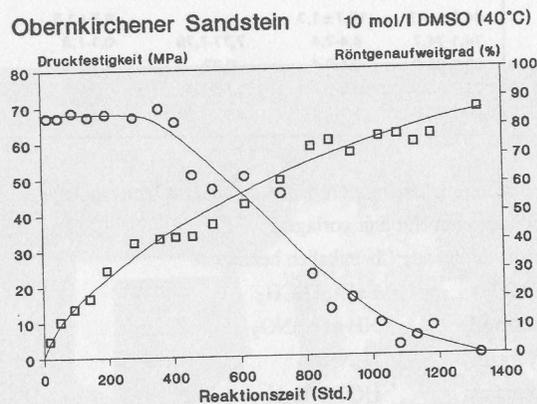


Abb. 2 : Darstellung einer Versuchsreihe am Beispiel des Obernkirchener Sandsteins mit einer 10 molaren DMSO-Lösung bei 40°C; aufgetragen ist die Druckfestigkeit und der Röntgenaufweitgrad gegen die Reaktionszeit.

Eine entsprechend aufgenommene Versuchsreihe ist in Abbildung 2 am Beispiel des Obernkirchener Sandsteins dargestellt.

Änderungen von Temperatur oder Konzentration haben nur einen Einfluß auf die Reaktionszeit, nicht aber auf den generellen Reaktionsablauf.

Die ersten Befunde der Versuchsabläufe lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Sandsteine ohne quellfähige Minerale zeigen keine Erniedrigung der Druckfestigkeit und somit auch keine Anzeichen von Zerstörung.
- Demgegenüber enthalten Sandsteine, die zerstört werden, ausnahmslos Kaolinit als quellfähiges Tonmineral
- Für die einzelnen Gesteine und Quzellmittel existiert jeweils ein charakteristischer, reproduzierbarer Wert des Röntgenreaktionsgrades, bei dem die völlige Zerstörung der Sand-

steine eintritt (Zerstörungsaufweitungen). Eine Übersicht der Zerstörungsaufweitungen in Abhängigkeit von Quellmittel und Gestein gibt Tabelle 2.

Tab. 2: Übersicht der Röntgenaufweitgrade der Kaolinite, bei der die Zerstörung der Sandsteine [Schld = Schlaitdorfer, Schöf = Schönbucher (fein), Worzf = Worzeldorfer (fein), Oberk = Obernkirchener, Schög = Schönbucher (grob)] eintritt, im Vergleich zu den d_{001} -Abständen der Kaolinit-Komplexverbindungen.

Quellmittel	d 001 Komplex	Sandsteine				
		Schld	Schöf	Worzf	Oberk	Schög
Formamid	10,12 Å ²⁾	91,6%	93,7%	-	-	-
Hydrazin	10,42 Å ³⁾	84,9%	81,3%	93,6%	90,2%	-
Harnstoff	10,72 Å ³⁾	82,2%	80,8%	86,0%	90,1%	94,2%
DMSO	11,12 Å ⁴⁾	64,0%	67,8%	78,4%	81,1%	94,8%

Versuchsauswertung

Wie aus Tabelle 2 zu ersehen ist, wird bei einigen Gesteinen die nötige Zerstörungsaufweitung mit Formamid und Hydrazin nicht mehr erreicht, so daß sie mit diesen Substanzen bestenfalls mit einer Erniedrigung der Druckfestigkeit reagieren. Generell sinkt jedoch die prozentuale Zerstörungsaufweitung bei allen Gesteinen von Formamid zu DMSO.

In der gleichen Reihenfolge nehmen aber auch die Basisabstände der Kaolinit-Einlagerungsverbindungen zu. Mit fortschreitender Interkalationsreaktion ist daher eine quellmittel-spezifische Aufweitung des Kaolinit verbunden. Diese Aufweitung verursacht bei gleichem Röntgenaufweitgrad mit DMSO eine größere Volumenzunahme des Kaolinit als mit Formamid.

Unabhängig von der als Quellmittel verwendeten Verbindung kann die Volumenzunahme ΔV als eine Funktion von Röntgenaufweitgrad Q und Zunahme des Basisabstandes betrachtet werden.

$$\Delta V[\%] = \frac{Q[\%] \cdot (B[\text{Å}] - 7,15[\text{Å}])}{7,15[\text{Å}]}$$

- ΔV : Volumenzunahme des Kaolinit
- Q : Röntgenaufweitgrad
- B : Basisabstand des Komplexkaolinit
- 7,15 Å: Basisabstand des Ausgangskaolinit

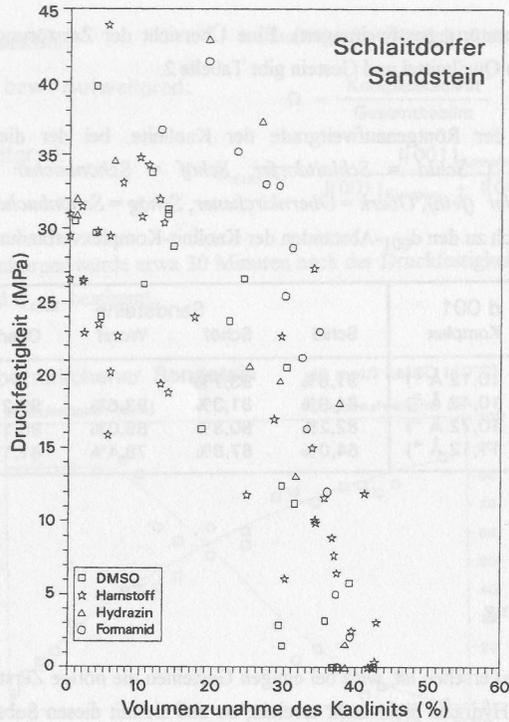


Abb. 3: Darstellung am Beispiel des Schlaitdorfer Sandsteins: Die Volumenzunahme des Kaolinites in % nach Reaktion mit DMSO, Harnstoff, Hydrazin und Formamid, aufgetragen gegen die Druckfestigkeit in MPa.

Für jede der einzelnen Versuchsreihen wird in Abbildung 3 die für die verschiedenen Quellmittel bestimmte Volumenzunahme des Kaolinites gegen die Druckfestigkeit aufgetragen.

Im Bereich niedriger Volumenzunahme streuen die Werte des Zerstörungsdruckes innerhalb des statistischen Fehlers um die mittlere Druckfestigkeit des frischen Gesteins. Erst nach Überschreiten einer bestimmten Volumenzunahme beginnt eine Reduzierung der Druckfestigkeit, die eine Abhängigkeit zur Quellung des Kaolinites aufweist.

Diese Korrelation zwischen Druckfestigkeit und Volumenzunahme des Kaolinites ist offensichtlich unabhängig von der als Quellmittel benutzten chemischen Verbindung.

Durch statistische Untersuchungen der Ergebnisse aus den Versuchsreihen wurden entsprechende Gesteinsspezifika mit Hilfe von regressionsanalytischen Betrachtungen näher bestimmt.

Hierzu wurden für jedes Gestein die Werte der Volumenzunahme des Kaolinites und der zugehörigen Druckfestigkeit unabhängig vom Quellmittel nach steigender Volumenzunahme sortiert.

Um zu erkennen, welche Werte zur "Punktwolke" und welche zur "Regressionsgeraden" zu rechnen sind, wurde zunächst für alle Wertepaare der Korrelationskoeffizient bestimmt. Der Korrelationskoeffizient, der die Zuverlässigkeit einer Regressionsgeraden darstellt, sinkt mit abnehmender Zahl der Wertepaare, aus denen die Regressionsgerade berechnet wird, und er sinkt mit steigendem Fehler der Meßpunkte zur Geraden.

Sukzessive wurden die Meßpunkte von niedriger zu hoher Volumenzunahme nicht in die Berechnung einbezogen, so daß die Anzahl der Wertepaare ständig geringer wird. Bei sinkender Anzahl der Wertepaare und vergleichbarem statistischen Fehler muß auch der Wert des Korrelationskoeffizienten abnehmen. Da aber am Anfang Werte ausgeschlossen werden, die nicht zur Regressionsgeraden gehören, also einen relativ hohen "Fehler" aufweisen, wird die Zuverlässigkeit der Gerade zunächst besser. Nach Durchlaufen eines Maximums beginnt der Korrelationskoeffizient dann immer schneller zu sinken. Links dieses Maximums dominiert demnach der Einfluß der "Punktwolke" und jenseits des Maximums der der Regressionsgeraden.

Diese eben geschilderte Vorgehensweise ist am Beispiel des Schlaitdorfer Sandsteins in Abbildung 4 dargestellt.

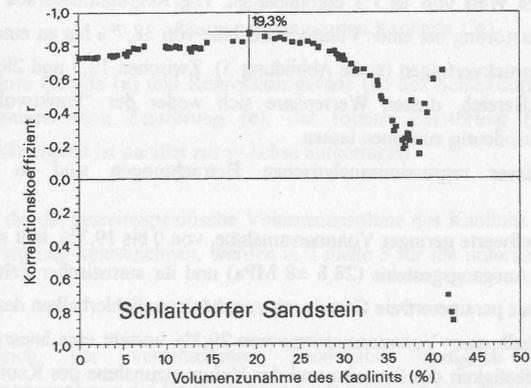


Abb. 4: Regressionsanalytische Betrachtung (aufsteigend), Schlaitdorfer Sandstein.

In einem zweiten Schritt wurden nun, in umgekehrter Reihenfolge, die Meßpunkte von hoher zu niedriger Volumenzunahme sukzessive nicht in die Berechnung des Korrelationskoeffizienten mit einbezogen.

Wie Abbildung 5 zeigt, werden also, von rechts nach links betrachtet, die der Regressionsgeraden zugehörigen Werte abgekappt. Die Zuverlässigkeit der Geradenanpassung nimmt daher ebenso sukzessive ab. Mit Erreichen der "Punktwolke" wird daher der Korrelationskoeffizient nahezu gleich Null bzw. schwankt um den Nullpunkt.

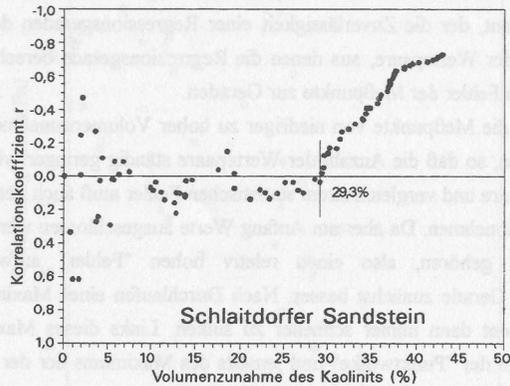


Abb. 5: Regressionsanalytische Betrachtung (absteigend), Schlaitdorfer Sandstein.

Aus Abbildung 4 ergibt sich, daß die "Punktwolke" von einer Volumenzunahme des Kaolinitis von 0% bis zu einem Wert von 19,3% erkennbar ist. Die Regressionsgerade läßt sich vom Punkt der totalen Zerstörung bei einer Volumenzunahme von 38,7% bis zu einer Volumenzunahme von 29,3% zurückverfolgen (siehe Abbildung 5). Zwischen 19,3 und 29,3% Volumenzunahme liegt ein Bereich, dessen Wertepaare sich weder der "Punktwolke" noch der Regressionsgeraden eindeutig zuordnen lassen.

Die Ergebnisse dieser regressionsanalytischen Betrachtungen sind in Abbildung 6 wiedergegeben.

Auf der Basis der Meßwerte geringer Volumenzunahme, von 0 bis 19,3%, läßt sich die mittlere Druckfestigkeit des Ausgangsgesteins ($28,8 \pm 8$ MPa) und ihr statistischer Fehler bestimmen. Sie ist in der Grafik als parameterfreie Gerade mit zugehörigem Fehlerbalken dargestellt (a).

Für Meßwerte oberhalb einer Volumenzunahme von 29,3% besteht eine lineare Abhängigkeit zwischen der Druckfestigkeit des Gesteins und der Volumenzunahme des Kaolinitis, die durch eine Regressionsgerade mit $r = -0,75$ charakterisiert werden kann (b).

Der Schnittpunkt von parameterfreier Gerade und Regressionsgerade definiert den Beginn der Gesteinszerstörung (c). Der Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der x-Achse ist der Punkt der totalen Zerstörung (d).

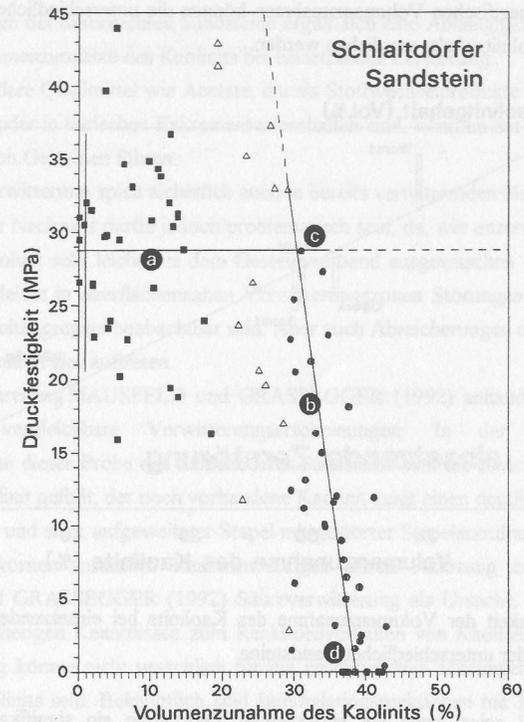


Abb.6: Absolute Gerade (a) und Regressionsgerade (b) des Schlaitdorfer Sandsteins; Punkt der einsetzenden Zerstörung (c), der totalen Zerstörung (d); der Fehler der Druckfestigkeit ist parallel zur y-Achse aufgetragen.

Beide Punkte, die die gesteinspezifische Volumenzunahme des Kaolinitis bei einsetzender und bei totaler Zerstörung kennzeichnen, werden in Tabelle 3 für die untersuchten Sandsteine zusammengefaßt.

Tab. 3: Vergleich der verschiedenen Sandsteine bezüglich ihrer spezifischen Volumenzunahmen des Kaolinitis bei einsetzender und bei totaler Zerstörung.

Art der Zerstörung	Volumenzunahme des Kaolinitis				
	Schld	Schöf	Schög	Worzf	Oberk
einsetzende	30,2%	30,5%	40,6%	25,3%	28,8%
totale	38,7%	38,4%	49,0%	42,4%	42,6%

Mit Hilfe dieser spezifischen Volumenzunahmen können die unterschiedlichen Sandsteine auf der Basis ihres Kaolinitgehalts verglichen werden.

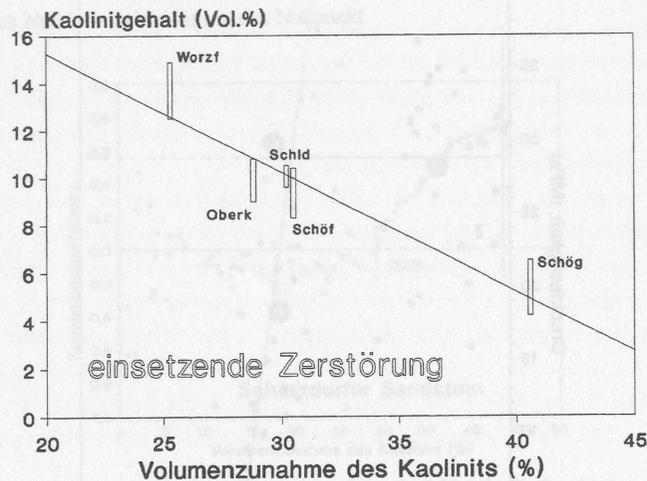


Abb. 7: Abhängigkeit der Volumenzunahme des Kaolinites bei einsetzender Zerstörung von Kaolinit der unterschiedlichen Sandsteine.

Wie Abbildung 7 zeigt, kann bei einsetzender Zerstörung ein signifikanter linearer Zusammenhang zwischen steigendem Kaolinitgehalt und entsprechender Volumenzunahme des Kaolinites festgestellt werden.

Für die totale Zerstörung gilt eine entsprechende lineare Abhängigkeit nicht generell. Hier spielen vermutlich zusätzliche Gesteinseigenschaften eine Rolle.

Zusammenfassung und Diskussion

Sandsteine, die Kaolinit enthalten, können durch polare chemische Verbindungen zerstört werden. Hierbei sind nicht die spezifischen Quellmittel entscheidend sondern nur die durch sie hervorgerufene absolute Aufweitung des Kaolinites, die mit Hilfe der Volumenzunahme quantifiziert wird. Mit regressionsanalytischer Betrachtung kann ein Bereich der Volumenzunahme des Kaolinites ohne Verminderung der Druckfestigkeit von einem Bereich mit gleichzeitiger Verminderung der Druckfestigkeit unterschieden werden. Beide Bereiche können durch Geraden charakterisiert werden. Ihr Schnittpunkt ergibt die einsetzende Zerstörung.

Aus dem Vergleich der untersuchten Sandsteine ergibt sich eine Abhängigkeit von Kaolinitgehalt und der Volumenzunahme des Kaolinites bei einsetzender Zerstörung.

Harnstoff und andere Quellmittel wie Acetate, die als Stoffwechselprodukte von Bakterien und Pilzen entstehen oder in tierischen Exkrementen enthalten sind, könnten auf diese Weise zu einer Zerstörung von Gesteinen führen.

Diese Art der Verwitterung spielt sicherlich auch in bereits verwitternden Naturbausteinen eine Rolle. Ihr direkter Nachweis dürfte jedoch problematisch sein, da, wie unsere Versuche zeigen, aufgeweiteter Kaolinit sehr leicht aus dem Gesteinsverband ausgewaschen wird. Günstigstenfalls könnten vielleicht in oberflächennahen Verwitterungszonen Störungen von Struktur und Gefüge der Kaolinitaggregate beobachtbar sein. Aber auch Abreicherungen des Kaolinites durch Auswaschung könnten hier auftreten.

Tatsächlich beschreiben MAUSFELD und GRASSEGGER (1992) anhand einer Probe vom Kölner Dom vergleichbare Verwitterungserscheinungen: In der oberflächennahen Verwitterungszone dieser Probe des Schlaitdorfer Sandsteins sind die Zwickelporen nur noch teilweise mit Kaolinit gefüllt; der noch vorhandene Kaolinit zeigt einen deutlichen Anteil aufgelockert gepackter und stark aufgeweiteter Stapel mit gestörter Stapelanordnung.

Da die Kaolinitkörner zusätzlich Kantenrundungen durch Anlösung zeigen, implizieren MAUSFELD und GRASSEGGER (1992) Säureverwitterung als Ursache. Dies widerspricht allerdings den bisherigen Kenntnissen zum Reaktionsverhalten von Kaolinit mit Säuren. Eine Säureverwitterung könnte nicht ursächlich für die beschriebenen Störungen von Gefüge und Struktur des Kaolinites sein. Bekanntlich sind Interkalationsreaktionen mit Kaolinit oder auch anderen quellfähigen Tonmineralen reversibel (WEISS, 1963); in diesem Fall bleibt aber ein gestörter Kaolinit zurück, der gegenüber dem Ausgangskaolinit als wesentlich reaktionsfähiger einzustufen ist. Insoweit könnte ein Quellmittel, selbst wenn es nur in geringer Konzentration vorläge bzw. bei relativ kurzer Reaktionszeit, einer herkömmlichen Form der chemischen Verwitterung Vorschub leisten.

Literaturverzeichnis

- Mausfeld, S., Grassegger, G., 1992: Abbauprozesse an Feldspäten und Tonmineralen unter den Bedingungen der Bauwerksverwitterung. Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, **143**, 23-39.
- Olejenik, S., Posner, A.M., Quirk, J.P., 1970: The intercalation of organic compounds into kaolinite. Clay Minerals, **8**, 421-434.
- Weiss, A., 1963: Ein Geheimnis des chinesischen Porzellans. Angewandte Chemie, **75**, 755-762.

- Weiss, A., Thielepape, W., Göring, G., Ritter, W., Schäfer, H., 1963: Kaolinit-Einlagerungs-Verbindungen. International Clay Conference, Stockholm.
- Weiss, A., Thielepape, W., Orth, H., 1966: Neue Kaolinit-Einlagerungsverbindungen. Proceedings of the International Clay Conference, Jerusalem, 277-293.
- Weiss, A., Thielepape, W., Ritter, W., Schäfer, H., Göring, G., 1963: Zur Kenntnis von Hydrazin-Kaolinit. Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie, **320**, 183-204.

Bestimmung der Schichtladung von Wechsellagerungsmineralen in Böden mittels n-Alkylammonium-Methode

N. Rampazzo und W.E.H. Blum

Institut für Bodenforschung und Baugeologie, Abt. Bodenkunde, Universität für Bodenkultur, Gregor Mendel-Str. 33, A-1180 Wien

Einleitung

Dreischichttonminerale treten in Böden häufig in regelmäßiger und unregelmäßiger Wechsellagerung auf. Quellungs- und Kontraktionstests durch Einlagerung von Glycerin oder K^+ ermöglichen nicht immer eine qualitative Identifizierung, zumal keine Aussagen über die Schichtladung getroffen werden können. Die exakte Bestimmung von Wechsellagerungsmineralen ist besonders schwierig, wenn die Schichtabfolge sehr unregelmäßig und die Ladung der quellfähigen Komponente, vor allem des Smectits, sehr heterogen verteilt ist.

Die röntgenographische Identifizierung quellfähiger 2:1-Tonminerale über die Bestimmung ihrer Schichtladung mittels ihrer n-Alkylammonium-Derivate wurde von LAGALY & WEISS (1969, 1971) an Lagerstätten-Tonmineralen durchgeführt. Die Anwendung dieser Methode für die Bestimmung von Bodentonmineralen ist erheblich schwieriger, jedoch möglich (vgl. z.B. RÜHLICKE & NIEDERBUDDE, 1985; LAIRD et al., 1989; GHABRU et al., 1989).

STANJEK et al. (1992) schlagen zur Verbesserung der Interpretierbarkeit der Röntgen-Diffraktogramme eine Lorentz-Polarisations-Korrektur, kombiniert mit "step-scanning" und Kurvenfitting, vor.

Eine Schichtladungsbestimmung quellfähiger Bodentonminerale in Wechsellagerung wurde jedoch mittels dieser Methode noch kaum durchgeführt (WEISS et al., 1969; LAGALY, 1979). Daher war Ziel dieser Untersuchungen, an Bodentonmineralen, die nach konventioneller Tonmineralanalyse Wechsellagerung zeigten, die Schichtladung der aufweitbaren Phasen mittels n-Alkylammonium-Methode zu bestimmen.

Material und Methodik

Aus dem Oberboden (0-10 cm) einer sauren Braunerde unter Buchenwald (*Fagus sylvatica*) wurde die Tonfraktion $< 2 \mu\text{m}$ nach Zerstörung der organischen Substanz mit H_2O_2 und Entfernung der freien Eisenoxide mit DCB (vgl. MEHRA & JACKSON, 1960) gewonnen.