

ÜBER DIE CHEMISCHE VERWITTERUNG VON FELDSPÄTEN

Von

CARL W. CORRENS

Sedimentpetrographisches Institut der Universität
Göttingen

Im folgenden möchte ich über Versuche berichten, die meine Mitarbeiter und ich in Rostock und Göttingen ausgeführt haben. Daran anschließend möchte ich zwei Probleme erörtern, das der Pseudomorphosenbildung und, im Zusammenhang mit einigen Arbeiten der letzten Jahre, das des Mechanismus des Feldspatabbaus.

Wenn man versucht die Verwitterung der Feldspäte im Laboratorium nachzuahmen, so wird man sich zunächst überlegen, daß der Feldspat im Boden von Lösungen angegriffen wird, die immer wieder erneuert werden. Regenwasser fällt auf den Boden, versickert und nimmt Bestandteile aus dem Boden auf. Deshalb haben wir mit offenen Systemen gearbeitet. Nur in seltenen Fällen wird es sich im Boden um ein mehr oder weniger geschlossenes System handeln.

v. Engelhardt und ich (1938) haben die Zersetzung des Adulars untersucht, weil dessen wasserklares Kristallpulver die Möglichkeit ausschloß, daß bereits Neubildungen wie etwa Serizit oder Kaolinit im Ausgangsmaterial waren. Die Reinheit des Ausgangsmaterials ist von entscheidender Bedeutung, wenn man nach der Einwirkung der Lösungen röntgenographisch nach Neubildungen suchen will. Bieger (1952) hat als Ausgangsmaterial einen ebenfalls gut durchsichtigen Albit in der Tracht des Cleavelandits benutzt. Die Analysen des Ausgangsmaterials sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Bei unseren Experimenten wurden nur die Gesamtalkalien in Lösung bestimmt und bei den Versuchen mit Adular als K_2O , bei denen mit Albit als Na_2O bezeichnet.

Bei den Adularversuchen wurden verschiedene Apparaturen erprobt. Adularpulver wurde in einer Kugelmühle aus Stahl mit 200 ml

Tabelle 1. Analysen des Ausgangsmaterials.

	Adular	Albit
SiO ₂	63,7	68,38
Al ₂ O ₃	18,1	19,82
K ₂ O	15,2	0,97
Na ₂ O	1,7	11,01
CaO	0,1	0,36
	98,8 [1]	100,54

[1] Rest wahrscheinlich BaO, SrO

doppelt destilliertem Wasser gemahlen. Nach 8 Stunden wurde die Suspension ultrafiltriert und der Rückstand erneut mit 200 ml Wasser in die Mühle gebracht und so weiter. Eine zweite Apparatur benutzte einen Schnelldialysator, bei dem das Adularpulver in einem rotierenden Zellophansack durch einen entgegengesetzt rotierenden Rührer in Schwebelage gehalten wurde. Das Dialysierwasser wurde von einer kupfernen Destillierapparatur geliefert, in die es wieder zurückfließen konnte, Abb. 1, so reicherte sich die gelöste Substanz in der Destillierblase an. Die Versuche wurden bei 20° und 40°C ausgeführt. Das Ergebnis dieser Versuche ist in den Tabellen 2 und 3 aufgezeichnet. Tabelle 2 gibt die Gehalte der Lösungen in Millimol. Bei den Dialyseversuchen wurde Adularpulver mit einem Radius $< 1\mu$, das durch Schlämmen in Methanol gewonnen wurde, verwendet. Es zeigt sich

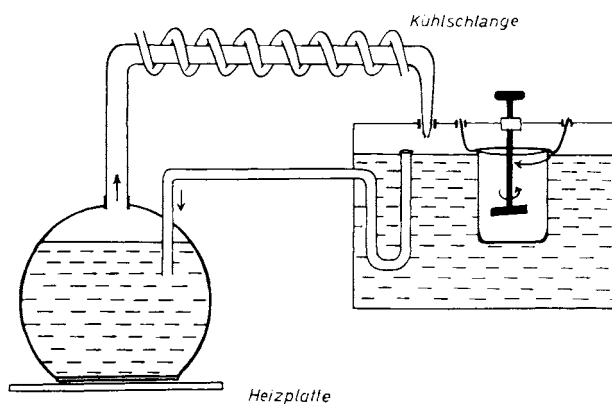


Abb. 1. Dialyse — Apparatur

Tabelle 2. In Lösung gegangene Mengen bei den Lösungsversuchen an Adular in der Dialyseapparatur und der Kugelmühle in Milimol.

	Dialyse 20° 43 Tage	Dialyse 40°			Kugelmühle 4,4 L
		9 Tage	weitere 17 Tage	insges. nach 26 Tagen	
SiO ₂	0,593	0,834	0,198	1,032	0,163
Al ₂ O ₃	0,0835	0,0756	0,0157	0,0913	0,043
K ₂ O	0,868	1,56	0,207	1,767	1,988
% des Ausgangsmaterials in Lösung	3,2	5,5	0,9	6,4	1

zunächst, daß die Temperaturerhöhung von 20° auf 40° eine sehr starke Erhöhung der Zersetzung erbrachte. Nach nur 26 Tagen war das doppelte von dem nach 43 Tagen bei 20° gelöst. Es zeigt sich ferner, wie bei allen späteren Versuchen, dass stets gut meßbare Mengen Aluminium in Lösung gehen. Vorwiegend gehen aber Kalium und Silizium in Lösung. Bei dem Versuch bei 40° wurde nach 9 Tagen die Lösung analysiert und nach weiteren 17 noch einmal. In der ersten Zeit wird besonders viel Kalium gelöst, später gehen etwa gleich viel Kalium und Silizium in Lösung. Noch auffälliger ist dies überwiegende Herauslösen von Kalium bei den Versuchen mit der Kugelmühle. Durch den Mahlprozeß werden immer neue Oberflächen freigesetzt, aus denen Kalium bevorzugt abwandert. Aber auch bei den Dialyseversuchen wie bei den im folgenden zu besprechenden Durchlaufversuchen wurde stets gefunden, daß im Anfang der Versuche besonders viel Kalium frei wird. Das könnte wohl zum Teil darauf zurückzuführen sein, daß bei dem Zerkleinern des Minerals auf eine Korngröße von 1 μ Radius die Gitterstruktur randlich gestört wurde. Zum überwiegenden Teil ist aber diese Erscheinung dadurch zu erklären, daß sich durch das Herauswandern der Kaliumionen eine amorphe Schicht bildet, durch die die Wanderungsgeschwindigkeit der Kaliumionen stark gehemmt wird. Die Zusammensetzung dieser Verwitterungsschicht läßt sich berechnen unter der Annahme, daß alles Kalium aus ihr entfernt ist. Diese Annahme ist sicherlich nicht streng genommen gültig. Es wird wohl vom Rand her auf den Kern zu immer noch

Tabelle 3. Zusammensetzung und Dicke der Restschicht bei den Lösungsversuchen an Adular in der Dialyseapparatur und in der Kugelmühle.

		Korngröße Radius	Alkalifreie Restsch. berechnet (molar)	Errechnete Dicke der Restschicht	pH vorher	pH nachher
Dialyse 20°	43 Tage	< 1 μ	Al ₂ O ₃ : 5,88 SiO ₂	0,0204 μ	6	
	40°	9 Tage	Al ₂ O ₃ : 5,75 SiO ₂	0,0392 μ	7–6	9,7
	40°	26 Tage	Al ₂ O ₃ : 5,70 SiO ₂	0,0448 μ		7,2
Kugelmühle		—	Al ₂ O ₃ : 6,05 SiO ₂	—	5,6	bis 8,3

etwas Kalium in der Verwitterungsschicht stecken, aber die Berechnung, Tabelle 3, zeigt jedenfalls, daß es sich bei diesen Schichten nicht um eine Neubildung von Kaolinit oder Montmorillonit oder ähnlichen Mineralen handeln kann, weil das Verhältnis SiO₂:Al₂O₃ nicht entfernt dem Verhältnis an solchen Mineralen entspricht. Man kann ferner auch die Dicke dieser Restschicht unter derselben Annahme berechnen, sie ist bei diesen Versuchen von der Größenordnung von 200–450 Å.

Grundsätzlich ähnliche Ergebnisse haben Versuche mit einer Ultrafiltrationsapparatur ergeben. Die Suspension des Mineralpulvers wird in einen Zylinder gegeben, an dessen Boden sich ein sehr feinkörniges Ultrafilter befindet, das nur die Ionen hindurch läßt, aber nicht die Mineralteilchen. Diese ganze Apparatur ist bei unseren neueren Versuchen an Tonmineralen aus Kunststoff gebaut. Man saugt die Lösung von Zeit zu Zeit ab und bestimmt die in Lösung gegangenen Ionen. Es wurden Teilchen mit einem Radius < 1 μ und zwischen 3 und 6 μ verwendet. Die gröbereren Teilchen werden langsam angegriffen. Im folgenden werden nur die Untersuchungen an Teilchen < 1 μ besprochen.

Tabelle 4 zeigt, daß bei den Versuchen mit pH 3, das mit 0,001 *n* H₂SO₄ hergestellt wurde, vom I. über den II. zum III. Lösungsanteil das Verhältnis SiO₂:Al₂O₃:K₂O sich immer mehr dem im Feldspat vorhanden 6:1:1 nähert. Man kann sich das so vorstellen, daß die schon erwähnte Restschicht konstant wird, daß sich eine Art Gleichgewicht einstellt, in dem die Abbaugeschwindigkeit der Restschicht etwa so groß ist, wie das Herausdiffundieren der Kaliumionen. Das bedeutet, daß die Restschichtdicke einen konstanten Wert erreicht.

Tabelle 4. Molare Zusammensetzung der Lösung bei den Ultrafiltrationsversuchen mit Adular, Radius $< 1\mu$.

	pH=3			pH = 6,6[1]	pH=11	
	I. 1842 ml	II. 2900 ml	III. 4336 ml	1840 ml	I. 3199 ml	II. 1995 ml
SiO ₂	1,13	4,01	7,22	10,7	5,34	2,22
Al ₂ O ₃	1	1	1	1	1	1
K ₂ O	2,05	0,874	1,32	11,7	3,25	1,19

[1] Der pH-Wert stieg bis auf 8,4

Als Diffusionskonstante für diese Kaliumionen durch die Restschicht wurde für diesen Versuch gefunden $D = 1,1 \cdot 10^{-14} \text{cm}^2 \text{Tag}^{-1}$. Bei den anderen Versuchen mit Kalifeldspat wurde dieses gleichgewichtartige Stadium nicht erreicht, wohl weil nicht genügende Mengen an Lösung verwendet wurden. Daß bei pH=3 die Restschichtdicke sich einem konstanten Wert nähert, kann man aus Tabelle 5 entnehmen. Die Zusammensetzung der Restschicht zeigt bei den Versuchen mit pH=3 sehr hohe SiO₂ Werte, bei pH=6,6 wird der niedrigste SiO₂ Wert erreicht, bei pH=11 steigt der SiO₂ Wert wieder. Nirgends ist das Verhältnis Al₂O₃:SiO₂=2 des Kaolinitis oder des Muskowits erreicht, auch nicht das des Montmorillonits=4.

Die Verwitterungsversuche an Albit wurden alle in Ultrafiltrationsapparaten durchgeführt. Dabei wurde die Filtrationsgeschwindigkeit zwischen 50 und 200 ml im Tag variiert und der Einfluß des Rührens und verschiedener Säuren auf die Zersetzung untersucht.

Tabelle 5. Zusammensetzung und Dicke der Restschicht bei den Ultrafiltrationsversuchen mit Adular, Radius $< 1\mu$

pH	Zusammensetzung der alkalifreien Restschicht		Dichte der Restschicht
3	1842 ml	Al ₂ O ₃ : 10,7 SiO ₂	0,0245
	4740 ml	Al ₂ O ₃ : 13,0 SiO ₂	0,0308
	9078 ml	Al ₂ O ₃ : 12,0 SiO ₂	0,0317
6,6	1848 ml	Al ₂ O ₃ : 5,56 SiO ₂	0,0143
11	3199 ml	Al ₂ O ₃ : 6,29 SiO ₂	0,0290
	5194 ml	Al ₂ O ₃ : 7,40 SiO ₂	0,0361

Tabelle 6. Filtrationsversuche mit Albitpulver $R < 1\mu$. Abhängigkeit der in 4 Litern in Lösung gegangenen Menge in % der Ausgangssubstanz von dem pH, der Durchlaufgeschwindigkeit und der Rührung.

pH	HCl	H ₂ SO ₄	Durchlaufgeschw. ml/Tag	
3	10,3	13	50	gerührt
	7	7	100	ungerührt
	10	13,6	100	gerührt
	6,6	7,1	200	gerührt
	H ₂ CO ₃	H ₂ SO ₄		
4		4,4	200	gerührt
	3,3		200	gerührt
6	3,5		100	gerührt
	1,56		200	gerührt

Tabelle 6 gibt eine Zusammenstellung des in vier Litern gelösten Betrags in Abhängigkeit von diesen verschiedenen Faktoren. Es zeigt sich, daß Schwefelsäure stärker wirkt als Salzsäure und als Kohlensäure. Rühren erhöht die Lösungsgeschwindigkeit. Je geringer die Durchflußgeschwindigkeit ist, um so mehr Substanz befindet sich in der Lösung. Das besagt, daß die Reaktion des Albitpulvers mit der Lösung sehr langsam verläuft. Es sei bei dieser Gelegenheit erwähnt, daß bei Adular in ungerührter schwefelsaurer Lösung bei $\text{pH} = 3$ und einer Durchlaufgeschwindigkeit von 70 ml im Tag etwa 9 % des Ausgangsmaterials gelöst werden. Die Menge liegt in derselben Größenordnung wie bei den entsprechenden Albitversuchen. Auch bei der Zusammensetzung der Restschicht macht sich der Einfluß der Versuchsbedingungen geltend, wie Tabelle 7 zeigt. Bei $\text{pH} = 3$ wird der SiO_2 Gehalt höher, wenn nicht gerührt wird und wenn die Lösung rasch durchläuft, also je unvollständiger die Reaktion ist. In den schwächer sauren Lösungen tritt dieser Effekt nicht auf. Auch bei diesen Versuchen sinkt das Verhältnis $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2$ nicht unter 1:5. Die Restschichtdicke steigt in Schwefelsäurelösung von $\text{pH} = 3$ in gerührter Suspension und bei langsamem Durchlauf sehr stark an und wird nicht konstant.

Es sieht so aus, als ob die Restschicht um so dicker wird, je stärker

Tabelle 7. Zusammensetzung und Dicke der Restschicht bei Albit in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen.

(nach den Untersuchungen von Bieger 1952 berechnet).

Versuchs Nr.	Durchlauf ml in Tag	pH = 3 HCl	Al ₂ O ₃ : SiO ₂	Dicke in μ	Konstanz	Menge der lösg. in L
I	50	gerührt	1:6 -1:7	0,05 -0,09	K	5
II	100	»	1:6,2-1: 8,2	0,043-0,075	K	7
III	200	»	1:6 -1:15,7	0,025-0,042	K	9
IIa	100	nicht gerührt	1:6,6-1:12,3	0,023-0,036	K	5
IV	50	H ₂ SO ₄ gerührt	1:6 -1: 6,2	0,063-0,202	n·K	5
V	100	»	1:5,7-1: 6,6	0,056-0,150	n·K	7
VI	200	»	1:5,9-1:11,2	0,024-0,041	K	8
Va	100	nicht gerührt	1:6,2-1:19,1	0,026-0,039	K	8
VII	200	pH = 4 H ₂ SO ₄ gerührt	1:5,9-1: 5,8	0,027-0,044	K	7
VIII	200	H ₂ CO ₃ gerührt	1:5,4-1: 5,5	0,08 -0,02	K	7
IX	100	pH = 6 gerührt	1:5,7-1: 5,2	0,016-0,022	K	6
X	200	gerührt	1:5,9-1: 5,7	0,007-0,019	n·K	12

Anmerkung n·K bedeutet, daß die letzten zwei Werte nicht gleich sind. K bedeutet, daß die letzten zwei Werte gleich oder annähernd gleich sind. K bedeutet, daß mehr als die zwei letzten Werte konstant sind.

die Einwirkung ist. Diese Restschichten geben weder mit Röntgenstrahlen noch mit Elektronen Beugungserscheinungen, wir müssen sie deshalb als amorph ansehen. Man erhält nur solche Linien, die zu den Ausgangsmineralen gehören.

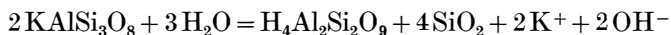
An diese Mitteilung unserer Versuchsergebnisse möchte ich noch die Erörterung zweier Fragen anschließen. Die eine betrifft das Problem der Pseudomorphosenbildung. Pseudomorphosen entstehen, wenn sich auf dem ursprünglichen Kristall zuerst ein Niederschlag bildet und dann die Reaktion durch diesen Niederschlag hindurch fortschreitet, d. h. wenn die Konzentration der reagierenden Ionen der Außenlösung so groß ist, daß sie durch die erstgebildete Niederschlagshaut in den

Kristall hineindiffundieren. Bei unseren Durchlaufversuchen ist die Konzentration immer so niedrig, daß die Reaktion in der Lösung stattfindet, selbst bei den niedrigsten Durchlaufgeschwindigkeiten. Das scheint auch im Boden im allgemeinen so zu sein. Jedenfalls findet man bei der mikroskopischen Untersuchung durchlässiger Böden die Feldspäte stets mit deutlichen Lösungserscheinungen. (S. z. B. Salger (1954).

Morey und Chen haben bei Temperaturen zwischen 100° und 350 °C, also bei sehr erhöhter Reaktionsgeschwindigkeit, bei Durchlaufversuchen Anfänge von Pseudomorphosenbildung beobachtet, zugleich aber auch Bodenkörper. Hier fand also die Reaktion z.T. in der Oberflächenschicht z.T. außerhalb des Kristalls statt. Wir dürfen wohl annehmen, daß Pseudomorphosen von Kaolinit nach Feldspat in ganz oder nahezu geschlossenen Systemen, also bei erhöhter Ionenkonzentration und wahrscheinlich bei erhöhter Temperatur, also erhöhter Reaktionsgeschwindigkeit, gebildet werden.

Laboratoriumsversuche mit Modellsubstanzen zeigen im allgemeinen keine Orientierung der neugebildeten Substanzen in Bezug auf das Ausgangsmaterial. In der elektronenmikroskopischen Aufnahme von Th. Bates (1958), Abbildung 2, einer Pseudomorphose von Kaolinit nach Feldspat, zeigen die Kaolinitblättchen bei *A* eine andere Orientierung als bei *B*. Es scheint keine Abhängigkeit der Orientierung des Kaolinites von der durch Spaltrisse erkennbaren des Feldspats zu bestehen. Für die öfters geäußerte Ansicht, daß der Feldspat durch Herauslösen von K- und SiO₃-Ionen in Kaolinit umgewandelt wird, ist weder in den Zersetzungsexperimenten noch in dem vorliegenden Bild ein Anhaltspunkt vorhanden.

Die zweite Frage, deren Erörterung ich hier anschließen möchte, ist die nach dem Mechanismus des Feldspatabbaus. Hierüber gibt es eine so ausgedehnte Literatur, daß ich sie hier nicht besprechen kann. Ich möchte nur kurz auf einige Arbeiten, die in den letzten Jahren erschienen sind, eingehen. Garrels und Howard (1959) haben das pH von Adularpulver in Wasser bestimmt, indem sie es mit KCl titriert haben. Sie gehen in ihren theoretischen Betrachtungen davon aus, daß der Kalifeldspat nach der Gleichung:



zerfällt, oder in einer analogen Formel zu Muskowit wird und dieser zu Kaolinit.

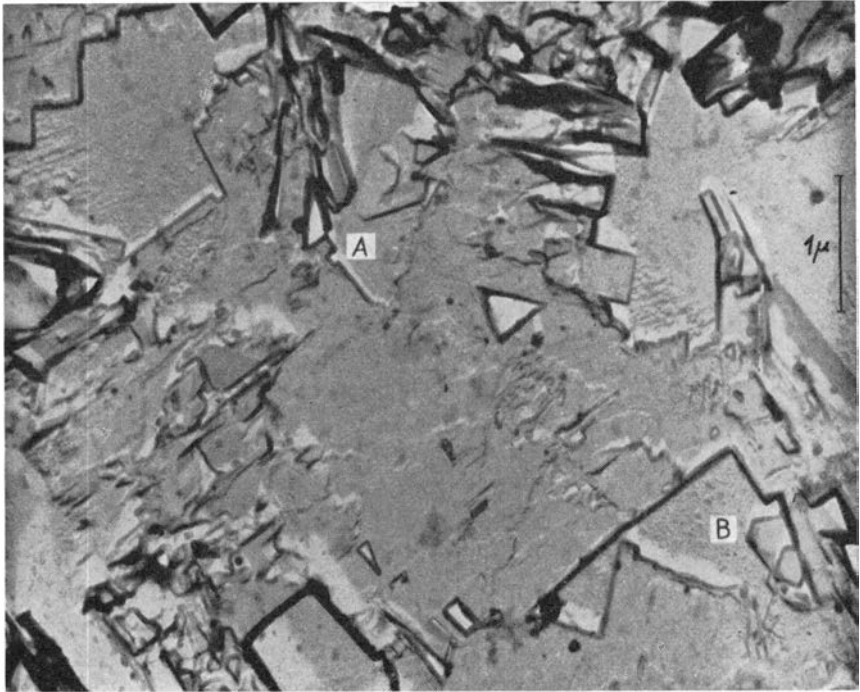


Abb. 2. Kaolinit in Feldspat (aus Bates 1958)

Die experimentellen Untersuchungen von Garrels und Howard betreffen nur den ersten Schritt der Zersetzung von Feldspat. Wie auch unsere Versuche gezeigt haben, geht zunächst sehr viel Kalium in Lösung. Man kann diesen ersten Schritt sicherlich mit guter Annäherung als einen Austausch von Kalium durch Wasserstoff oder Hydroxonium-Ionen beschreiben und berechnen. Wie unsere Experimente jedoch zeigen, wird bei weiterer Zersetzung stets, auch in ursprünglich neutraler Lösung, Aluminium frei. Elektrodialyseversuche mit Leuzit von Krüger 1939 zeigten, daß sowohl positiv geladene Al-Ionen oder Ionenkomplexe auftreten, wie auch negativ geladene Komplexe. Auch das Silizium kommt, wie auch Armstrong (1940) bei der Elektrodialyse von Mikroklin und Albit fand, sowohl in positiv wie negativ geladenen Komplexen vor.

Außerdem ist bei der natürlichen Verwitterung zu berücksichtigen, daß niemals in der Natur reines Wasser auftritt. Stets sind darin Ionen

gelöst. Ein besonders wichtiges Agens ist dabei die Kohlensäure, H_2CO_3 , die in ihrer ersten Dissoziationsstufe, HCO_3^- , besonders aktiv ist. Von anderen anorganischen Säuren kann unter Umständen auch die Schwefelsäure gelegentlich eine Rolle spielen. Saure Reaktion kann auch entstehen durch das Freisetzen von Wasserstoffionen an austauschfähigen Substanzen, wie z. B. an Tonmineralen und wohl auch an organischem Material aus der Humusfamilie. Auch organische Säuren, die von Organismen gebildet werden oder aus toter organischer Substanz, wie z. B. durch Oxydation von Humus, entstehen, können eine Rolle spielen. Alkalische Lösungen entstehen, wenn Wasser mit Alkali und alkalische Erden enthaltenden Silikaten reagiert. Es können aber auch durch Organismen NH_3 oder alkalisch reagierende organische Substanzen erzeugt werden.

Den Einfluß von Salzlösungen untersuchten Andersson und Lindquist (1956). Sie fanden, daß bei Mikroclin, Albit und Petalit der Zusatz von LiCl das Herauslösen von SiO_2 erhöht, der von KCl , NaCl und CsCl es erniedrigt.

Nash und Marshall (1956) haben bei Kalifeldspäten und Plagioklassen Austauschvorgänge mit NH_4Cl -, MgCl_2 - und SrCl_2 -Lösungen untersucht. Sie schlagen vor anzunehmen, daß zwischen der Oberfläche des Feldspats und seinem unbeeinflussten Kern eine relativ dünne Schicht der Anpassung entsteht. Diese soll aus einem gelockerten oder veränderten Feldspatgitter bestehen. Diese Schicht nimmt Ammonium auf, aber nicht Magnesium. Diese Auffassung nähert sich sehr unserer Annahme einer amorphen Schicht.

Zusammenfassend möchte ich sagen, daß bei der Behandlung von Feldspäten mit wässrigen Lösungen bei längerer Einwirkung das Gitter zerstört wird, es gehen nicht nur Kalium, sondern auch Aluminium und Silizium ionar in Lösung. Die auf dem Feldspatkorn bleibende sehr dünne Restschicht entspricht in ihrer Zusammensetzung bei den Versuchen mit verdünnten Lösungen im offenen System nicht den zu erwartenden Neubildungen von Kaolinit, Glimmer oder Montmorillonit. Bei Erhöhung der Konzentration der Lösungen z. B. im ganz oder nahezu geschlossenen System oder bei der Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit kann es zu Neubildungen solcher Minerale und auch zur Pseudomorphosenbildung kommen.

Discussion

Schuling (Utrecht)

If one is allowed to extrapolate the temperature-dependence of the alteration processes to nearly magmatic temperatures, do you think it possible to ascribe sericitization of feldspars in magmatic rocks to a kind of high-temperature alteration process at the moment the hydrothermal fluids are leaving their magmatic host-rocks?

Correns

Eine Extrapolation von unseren Versuchen bei Zimmertemperatur auf Vorgänge bei höheren Temperaturen ist gefährlich. Die erwähnten Versuche von Morey und Chen zeigen, daß die Umsetzung bei höheren Temperaturen etwas anders verlaufen.

LITERATURVERZEICHNIS

- ANDERSSON, L.-H. and B. LINDQUIST (1956): Some Experiments on the Interaction between Feldspars and Salt Solutions. *Geol. Fören. Förhandl.* Bd. 78, H. 3.
- ARMSTRONG, LEE C. (1940): Decomposition and alteration of feldspars and spodumene by water. *Amer. Min.* Vol. 25, pp. 810.
- BATES, THOMAS F. (1958): Selected Electron Micrographs of Clays and other Fine-Grained Minerals. The Pennsylvania State University College of Mineral Industries Circular Number 51.
- BIEGER, TH. (1952): Über Verwitterungsversuche am Albit Dissertation, Göttingen.
- CORRENS, C. W. und W. v. ENGELHARDT (1938): Neue Untersuchungen über die Verwitterung des Kalifeldspates. *Chemie der Erde*, 12. Bd. pp. 1.
- GARRELS, R. M. and HOWARD, P. (1959): Relations of feldspar and mica with water at low temperature and pressure. *Clays and Clay Minerals Monograph* 2, p. 68.
- KRÜGER, G. (1939): Verwitterungsversuche am Leuzit. *Chemie der Erde*, 12. Bd., pp. 236.
- MOREY, G. W. and W. T. CHEN (1959): The action of hot water on some feldspars. *The American Mineralogist*, Vol. 40, pp. 996.
- NASH, V. E. and C. E. MARSHALL (1956): The surface reactions of silicate minerals. University of Missouri. College of Agriculture. Research Bulletin 614.
- SALGER, M. (1954): Verwitterung und Bodenbildung auf diluvialen Schotterterrassen. *Heidelberger Beiträge zur Mineralogie und Petrographie*, Bd. 4, pp. 288.