

MIROSLAV HARMAN*

DIE BEDEUTUNG DER ELEKTRONEN-MIKROSKOPIE UND ZWAR DER SUSPENSIONSMETHODE UND DES ABDRUCKVERFAHRENS BEIM STUDIUM VON TONEN

(Abb. 1–36)

Kurzfassung: Die Grundmethoden der Elektronen-Mikroskopie — die Suspensionsmethode und die Methoden des Abdruckverfahrens — nehmen heute, bei der komplexen Erforschung der Tone, eine wichtige Stellung ein. Im Vergleich zu den übrigen Methoden, ergänzen die Studien die so erzielten Ergebnisse geeignetermassen und ausserdem liefern sie eine Menge wichtiger, origineller Erkenntnisse, welche auf andere Art nicht gewonnen werden könnten. In diese Kategorie gehören vor allem die Morphologie der Teilchen, deren Granulometrie, Charakter und Grad der Kristallisation, der Korrosionsgrad oder der, der mechanischen Beschädigung von Tonmineralen und anderer, in Tonen enthaltener Minerale, weiters die Bestimmung der Ultramikrotextur und deren Beziehung zu den Fragen der Genese. In dieser Arbeit werden die Möglichkeiten und die Reichweite der modernen Methoden der Elektronenmikroskopie anhand achtzehn tschechoslowakischer, zumeist slowakischer Tongesteine, welche bislang elektronenmikroskopisch nur teilweise bzw. überhaupt nicht bearbeitet wurden, demonstriert. Die mittels der Suspensionsmethode und der Methoden des Abdruckverfahrens gewonnenen Erkenntnisse werden sowohl miteinander, als auch mit den bisher bekannten Tatsachen konfrontiert.

Im Hinblick auf das hohe Auflösungsvermögen und die Möglichkeit, einer im Vergleich zum Lichtmikroskop weitaus stärkeren Vergrösserung, wurde die Elektronenmikroskopie insbesondere im letzten Jahrzehnt, zu einer wichtigen Studienform feindisperser Minerale vor allem in Tonen — findet aber immer mehr auch bei der Lösung weiterer spezieller Probleme anderer Mineralgruppen, so z. B. von Erzen und Karbonaten, aber auch in der Mikropaläontologie, Verwendung.

Die Methoden der Elektronenmikroskopie sind heute schon zu einer üblichen und unentbehrlichen Ergänzung der komplexen Erforschung von Tongesteinen geworden. Von vielen Möglichkeiten ist bis heute die Suspensionsmethode, welche die einfachste und eine leicht reproduzierbare Ergebnisse zeitigende Methode darstellt, am verbreitetsten. Ausserdem gestattet diese Methode die gleichzeitige Verwendung des Präparats zur Elektronenmikrodiffraction, welche heute schon zu einem selbstverständlichen und notwendigen Bestandteil des Studiums von Mineralen unter dem Elektronenmikroskop geworden ist. Die Suspensionsmethode ist seit den Anfängen der Elektronenmikroskopie bekannt und somit auch gut ausgearbeitet. Bei uns empfahl als einer der ersten J. Kazda (1949) diese Methode zur Erforschung von Tonmineralen an. Mit der Ausarbeitung der Methode zur Gewinnung eines Abbildes der Oberfläche von Bruchflächen, also eines Abdruckes, durch D. Bradley (1954) und deren Modifikation für das Studium von Ton- und anderen Mineralen durch T. F. Bates (1955) und T. F. Bates, J. J. Comer (1955) welche durch eine Reihe weiterer Forscher weiterverfeinert wurde, wurde eine wichtige Methode zur Erforschung der Minerale gewonnen, mit deren Hilfe es möglich ist, die Grundcharakteristik der Minerale in Tonen zu bestimmen und wichtige Angaben zu gewinnen, die mit anderen Methoden unerreichbar

* RNDr. M. Harman, CSc., Geologisches Institut der Slowakischen Akademie der Wissenschaften, Bratislava, Štefániková 41.

wären. Es sind das vor allem Angaben über die Position der Tonminerale im Gestein und dessen Ultramikrotextur.

Hier wird in der elektronenmikroskopischen Praxis zum erstenmal die Auswertung der Ultramikrostrukturen und Ultramikrotexturen unter dem Elektronenmikroskop nach einem an anderer Stelle angeführten Vorschlag der Klassifikation durchgeführt (M. Harman 1968). Grundlegend bei dieser Klassifikation, bei der je nach Form und Ordnung der Teilchen, resp. nach ihrer Grösse um 15 Typen von Ultramikrostrukturen und -turen unterschieden werden ist die Feststellung, dass Typen von Ultramikrotexturen mit geordneten (parallelen) Orientierungsachsen der Teilchen, sich in der Genese markant von jenen mit verschiedenartigen Orientierungsachsen unterscheiden. Dabei wurde von der Grunderkenntnis ausgegangen, dass die in situ entstandenen Tonminerale, Kristalle und Aggregate bilden, die unregelmässig und nach verschiedenen Richtungen hin orientiert sind, während zerstörte, redeponierte und erneut sedimentierte Tone gewöhnlich eine mit der Basisfläche (001) parallele Orientierung der Teilchen aufweisen. Gewiss hatte dieser Vorgang mehrere Übergangsphasen. In dieser Richtung dauert unser Studium noch an und dessen Ergebnisse sollen laufend veröffentlicht werden. Der Grundsatz, der ein Studium dieser Erscheinungen ermöglicht besteht darin, dass die Probenabnahme parallel orientiert mit der Schichtung oder anderen makrotexturellen Merkmalen durchgeführt werden, was in dieser Arbeit peinlichst befolgt wurde. Jedenfalls kann dies als Neunutzung der Elektronenmikroskopie, u. zw. zum Studium der Entstehungsproblematik von Tonen, speziell jener, deren Genese bislang diskutabil ist, betrachtet werden.

Jede dieser beiden sich gegenseitig ergänzenden Grundarten der Elektronenmikroskopie, hat noch etliche Modifikationen, welche zur Lösung besonderer Probleme geeignet sind. Bei solch einer breiten Skala an Applikationen gereicht es nur zum Schaden, wenn für gewöhnlich bloss eine der Methoden zur Anwendung gelangt, womit kaum die reale Möglichkeit einer Nutzung der gesamten Reichweite der Elektronenmikroskopie gegeben ist. Oftmals ist gerade die angewandte Methode zur Lösung der gegebenen Problematik wenig geeignet, und in der Endphase gibt dann das gewonnene Resultat im Vergleich mit Ergebnissen anderer Forschungsarten Anlass zu unberechtigter Skepsis und Zweifel an der Reichweite der Möglichkeiten der Elektronenmikroskopie bei der Erforschung von Tonen und von Mineralen überhaupt.

Zweck dieser Arbeit ist es darauf hinzuweisen, dass durch geeignete Kombination und die Verwendung einiger Grundmethoden, zumal der Suspensionsmethode und die Methoden des Abdruckverfahrens (und nicht zuletzt der Methode der selektiven Elektronenmikrodiffraktion, auf die in dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden soll), Resultate gezeitigt werden können, welche der Elektronenmikroskopie bei der Erforschung der Tone eine wichtige Position sichern.

Grundregeln der Zubereitung von Präparaten

Eine ausführliche Beschreibung der Technik einer Zubereitung von Präparaten für die einzelnen Methoden, fällt aus dem Rahmen dieser Arbeit; diese ist schliesslich aus in- und ausländischen Handbüchern vollauf bekannt. Es gilt jedoch, die Bedingungen zu erläutern, unter welchen es bei den einzelnen Methoden möglich ist Fehlergebnisse oder die Entstehung von Artefakten in höchst möglichem Ausmass zu umgehen.

a) bei der Suspensionsmethode, bei der die Morphologie, somit der Charakter der Kristallformen, deren Intaktheit, Ausmasse und weitere morphologische Eigenschaften

eine grosse Rolle spielen, ist eine schonende Methode der Desintegration am wichtigsten. In dieser Hinsicht ist von den bisher bekannten Methoden der Ultraschall am geeignetsten. Die bei uns gebräuchlichen Werte — 2 Minuten bei 24 kHz — zeitigen gute Ergebnisse. Eine Beschädigung der Kristalle des Kaolinites durch mechanische Einflüsse bei der Separation, kann manchmal fälschlich als deren Korrosion gedeutet werden. Auch Erscheinungen von Entrollungen und Spaltungen der Röhrchen des Halloysits und anderer Minerale können durch eine ungeeignete, allzu intensive Desintegration und nicht durch natürliche Bedingungen verursacht worden sein. Die Grösse der Aggregate von Montmorilloniten und Hydroglimmern kann ebenfalls vom Grade der Desintegration abhängig sein. Diese Erscheinungen können im Abdruckverfahren zuverlässig gelöst werden. Von groben mechanischen Methoden der Desintegration muss bei der Zubereitung von Präparaten zur Elektronenmikroskopie abgesehen werden.

b) beim Abdruckverfahren ist es häufig sehr schwierig, eine möglichst ebene Bruchfläche zu gewinnen. Im Falle einer überaus gegliederten Oberfläche ist es zweckmässig aus zwei, gegenseitig um 90° gewendeten Richtungen zu beschatten, womit eine ausreichende Plastizität des abgebildeten Objekts erzielt wird. Eine wichtige Anforderung stellt die orientierte Abnahme der Tongesteinsprobe dar, welche bei der Bestimmung der Ultramikrotextur und somit bei der Bestimmung dessen, ob es sich um ein redeponiertes oder ein in situ entstandenes Mineral handelt, wichtig ist. Im Hinblick auf die Studien der Ultramikrotextur ist es überaus wichtig, dass die Probe vor der Präparation völlig trocken ist (vakuumieren oder ausfrieren). Es ist zweckmässig, die Auswahl der Proben unter dem Lichtmikroskop zu kontrollieren, vor allem, wenn das Gestein eine feine Schichtung aufweist. Zur Steigerung der Objektivität bei der Auswertung ist es notwendig, von jedem Objekt eine grössere Anzahl von Elektronogrammen zu verfertigen (mindestens 10—15 Abbildungen).

Die Minerale der Gruppe des Kaolinites gewähren die grösste Möglichkeit einer Identifikation mittels der Suspensionsmethode. Kaolinite, vor allem die Typen mit höherer Kristallinität, zeichnen sich durch typisch scharfe pseudohexagonale Umgrenzung, mit einem Winkel zwischen den Kanten von 106—140°, Halloysit wieder durch röhrenförmige Kristalle, die Formen des Dickits und Nakrits gewöhnlich durch pseudohexagonale Plättchen, häufig mit Interferenzlinien, aus.

Hexagonale Formen treten sowohl beim Molybdän (III)-oxid (MoO_3), als auch bei den Hydratationsprodukten von Kalziumaluminaten (zumal des C_3A , 12 H_2O) u. a. auf; eine Verwechslung mit dem Kaolinit ist aber praktisch ausgeschlossen, da es sich um sehr verschiedene Paragenesen handelt. Fälle von Vorkommen plättchenförmigen Halloysits wurden bereits beschrieben (E. C. Loughnan, D. C. Craig 1960, R. H. Robertson u. a. 1954 und andere), sind jedoch ziemlich selten. Das entscheidende Wort hat in allen solchen Zweifelsfällen im Rahmen der Elektronenmikroskopie, die selektive Elektronenmikrodiffraction.

Beim Vergleichsstudium der Suspensionen mit den Abdrücken kann man zu der Schlussfolgerung gelangen, dass die Unterschiede der Interpretation, im Vergleich mit den übrigen Gruppen der Tongesteine minimal sind. Währenddessen man in der Suspension sogar elementare Kristalle verfolgen kann, sieht man in den Abdrücken die Gestalt ganzer Aggregate, deren Lage im Gestein, den Verlauf ihrer Bildung aus den ursprünglichen Mineralen und je nach Grad der Vollständigkeit ihrer Umgrenzung — der Kristallinität (bzw. der Anordnung des Strukturgitters), auch die genetische Zugehörigkeit (M. F. Vikulova, V. A. Sitov 1966), obzwar auch entgegengesetzte Ansichten verlautet wurden (H. Ponder, D. Keller 1960).

Falls die Aggregate des Kaolinites im Abdruck nicht die charakteristische pseudo-hexagonale Umgrenzung aufweisen, kann ihre Zugehörigkeit durch strukturelle Ätzung, die eigentlich eine unvollkommene Auflösung der Aufdampfungsschicht der Probe nach dem System D. E. Bradley (1954) darstellt, geklärt werden — Abb. 1.



Abb. 1. Unanov bei Znojmo. Durch Strukturätzung (vorzeitiger Abbruch der Lösung in HF) erschienen auf dem unregelmässig umgrenzten Kaolinaggregat pseudo-hexagonale Formen. 1-stufiger Abdruck der Bruchfläche, 7 000 \times vergr.

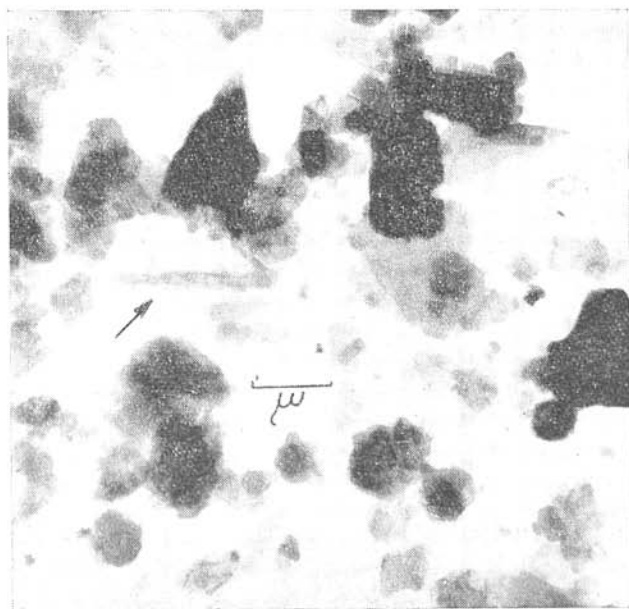


Abb. 2. Sedlec. Pseudo-hexagonale Plättchen Kaolinitis, prismatischer Kristall des Illits (?) durch Pfeil gekennzeichnet. Suspension, 10 600 \times vergr.

Beim Halloysit kann sowohl in der Suspension, als auch im Abdruck, der Charakter des röhrenförmigen Baues des Kristalls, dessen kreis- oder winkelförmiger (gewöhnlich sechseckiger) Durchschnitt (G. S. Gricaenko, N. D. Samotoin 1962), sein zonarer Bau und die winkelförmigen Durchschnitte (A. S. Gorškov 1966) und



Abb. 3. Sedlec. Ungeordnete Orientierung von Aggregaten des Kaolinites. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche 7 000 \times vergr.

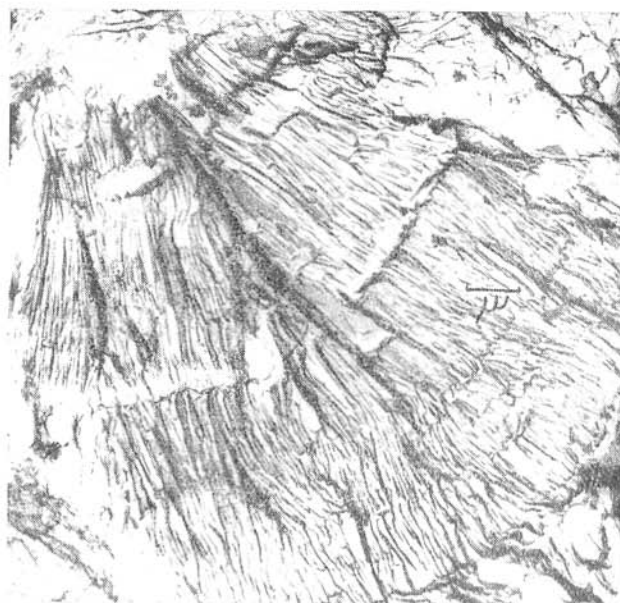


Abb. 4. Sedlec. Fächerartiges Aggregat des Kaolinites. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 7 000 \times vergr.

neuerdings mittels der Methode der Dekorationsabdrücke, die Erscheinungen der Epitaxie an der Oberfläche der Röhren beobachtet werden (G. S. Gričenko, N. D. Samotoin 1966). Eine weitere morphologische Eigenheit — die Entwicklung in Form von langen Prismen (T. F. Bates, J. J. Comer 1959) und die Erscheinung der Spaltung der Röhren (T. F. Bates, F. A. Hildebrand, A. Swineford 1950), wird als Zeichen der Zugehörigkeit zum Metahalloysit erachtet. Es verdient der Bemerkung, dass solcherlei morphologische Bestimmungen aus den Abdrücken, gewöhnlich mit den durch DTA und Röntgenbeugung gewonnenen Resultaten gut korrespondieren.

Von vielen Lokalitäten der Kaolinitgruppe ist bei uns jene von Sedlec (Westböhmen), wo der Kaolinit das Produkt des Zerfalls des Karlsbader Granits ist, bekannt. Ausser den typisch pseudohexagonalen Plättchen, welche am besten in der Suspension beobachtet werden können, kann hier auch eine kleine Menge unregelmässig, auch pseudo-hexagonal umgrenzter Plättchen länglicher Formen identifiziert werden. Derartige Formen wurden im Sedlecer Kaolinit als Illit bestimmt — J. Kona, Z. Borovec 1964 — Abb. 2. Häufig sind auch unzerlegte Reste der ursprünglichen Minerale. Die Abdrücke weisen eine aggregate ungeordnete und aggregate fächerartige Ultramikrotextur auf (Abb. 3, 4), was auf authigenen Ursprung hinweist. Die Ultramikrostruktur ist blattförmig (tafelförmig), ungleichkörnig.

Von ähnlichem Charakter ist die Lokalität des gut geordneten Kaolinites der Lokalität Zlámánek (Südostslowakei), welcher wahrscheinlich das Produkt tertiärer Verwitterung paläozoischer arkosenartiger Metaquarzite ist (J. Križáni 1966, I. Kraus 1967). Die Suspension zeigt gut umgrenzte pseudohexagonale Plättchen von Kaolinit mit einer bedeutenden Menge unzerlegter, ursprünglicher Minerale sowie akzessorisch auch Halloysit (Abb. 5). Der Abdruck gewährt die Beobachtung des Aufwachsens der Kristalle des Kaolinites an den Flächen des Feldspates, während der Quarz bloss unre-

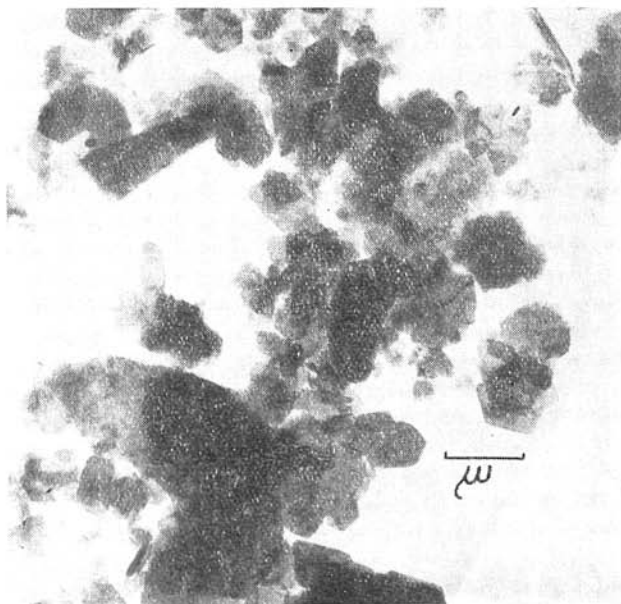


Abb. 5. Zlámánek. Pseudohexagonale Kristalle des Kaolinites. Suspension, 10 600 X vergr.

gelmässig gebildete, abgerundete Flächen zeigt. Die Orientation der Aggregate ist unregelmässig, ähnlich wachsen auch die Röhren des Halloysits mit kreisförmigem Durchschnitt direkt an den zerfallenden Feldspäten auf. Die Ultramikrotextur ist ein typisches Merkmal der authigen Entstehung (Abb. 6) und sie lässt sich als aggregat ungeordnet mit blattförmiger (tafelförmiger) ungleichkörniger Ultramikrostruktur bezeichnen.

Eine interessante Entwicklung der Minerale der Kaolinitgruppe (zusammen mit den Al-Hydraten) stellen die Proben aus den Tongesteingeröllen der Póltár Formation dar (I. K r a u s 1967). In der Suspension sind hier unregelmässige, zum Teil abgerundete, gewöhnlich undurchsichtige Teilchen, als auch kleinere plättchenförmige Kristalle zu beobachten (Abb. 7). Der Abdruck zeigt parallel orientiert placierte, linsenförmige Teilchen mit vereinzelt entwickelten geraden Kanten pseudo-hexagonalen Charakters. Halloysit tritt in dieser Probe nur sporadisch auf (Abb. 8). Die Ultramikrotextur ist aggregat parallel mit linsenförmiger, gleichkörniger Entwicklung der Ultramikrostruktur. Die feindispersen (von der durchschnittlichen Grösse von $0,5\ \mu\text{m}$), intensiv abgeschliffenen und bruchstückartigen Kristalle und Aggregate, deren charakteristische Kanten nur selten erhalten geblieben sind würden davon zeugen, dass es sich um Kaolinit mit weniger geordneter Kristallstruktur handelt; die Beimengungen vereinzelter flacher Plättchen sind Al-Hydrate und Reste unzerlegter Minerale, höchstwahrscheinlich Quarz. Die gute Orientation der Aggregate und Plättchen nach 001 führt zu der Voraussetzung, dass die Minerale einen intensiven Transport von der Stelle ihrer Entstehung überwunden haben, und der mechanische Abschleiß der hier so ausdrucksvoll zutage tritt, kann teilweise die Ursache einer niedrigeren Kristallinität darstellen. Nach der Zerstörung des ursprünglichen Sediments und der weiteren Redeponierung gelangten sie, in Form abgeschliffener Bruchstücke, in die sandigen Tone der Póltár Formation. Das Gestein machte also einen zweifachen Transport durch, da, wie aus den Erkenntnis-

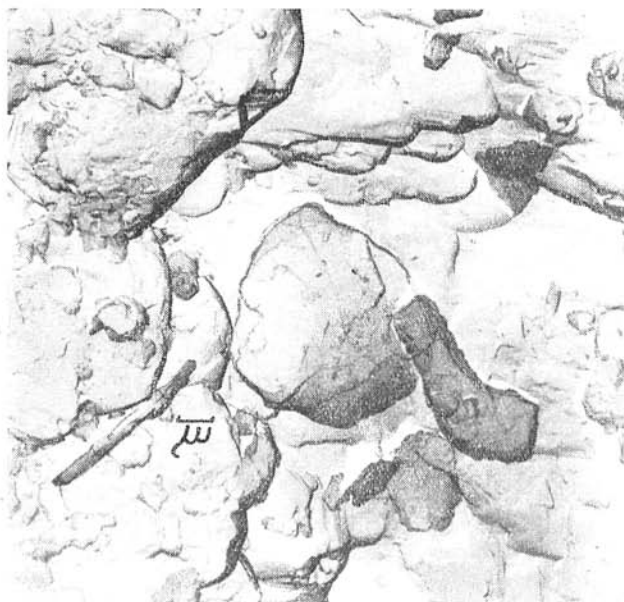


Abb. 6. Zlámance. Das Aufwachsen von Aggregaten des Kaolinit und des Halloysits an Feldspäten. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, $4\ 600\times$ vergr.

sen der Mikrotextur ersichtlich, sich die mechanischen Einflüsse des Transportes der Geröllstücke unmöglich auf den Abschleiß der Aggregate der Tonminerale im Inneren der Geröllstücke ausgewirkt haben kann. Die Erscheinungen von Spaltung und Entwicklung von Halloysit-Röhrchen, welche I. Kraus (1967) identifizierte, müssen im Hinblick auf die so intensiven destruktiven Einflüsse, eher den mechanischen Ein-

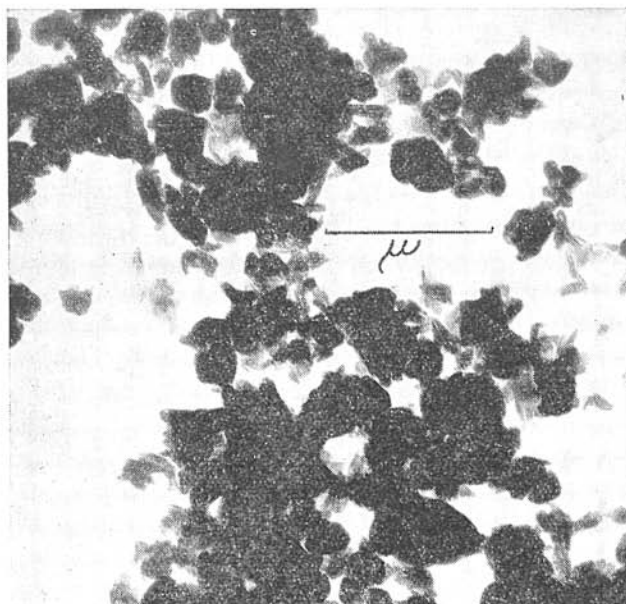


Abb. 7. Poltár. Tonsteingerölle. Kaolinit mit ungeordneter Struktur und Halloysit. Suspension, 22 400 \times vergr.

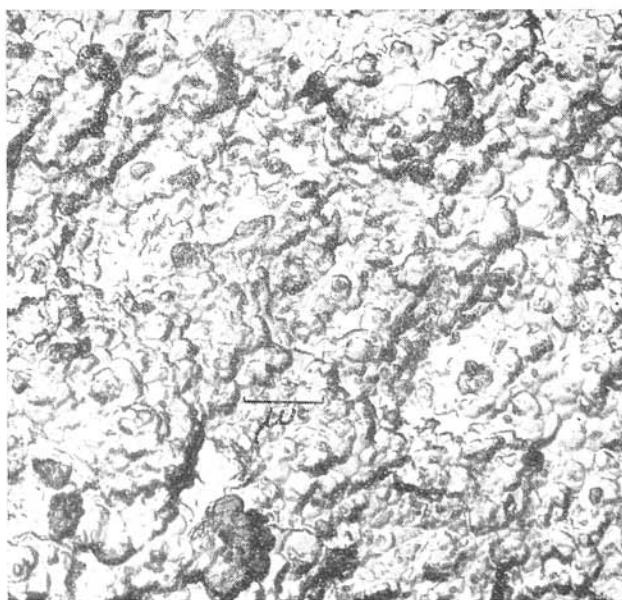


Abb. 8. Poltár. Tonsteingerölle. Linsenförmige Aggregate des Kaolinit. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 10 600 \times vergr.

wirkungen des Transportes, als dem Wechsel der Bedingungen im neuen Milieu zugeschrieben werden. Die neuesten Röntgenanalysen dieser Probe bestimmen (laut persönlicher Mitteilung von I. Kraus) eindeutig die Zugehörigkeit der Mehrzahl der Minerale zum hydratisierten Halloysit. Mit Rücksicht auf die atypische Form, verdient diese Problematik der weiteren Studie. Die Prüfung auf Gegenwart von

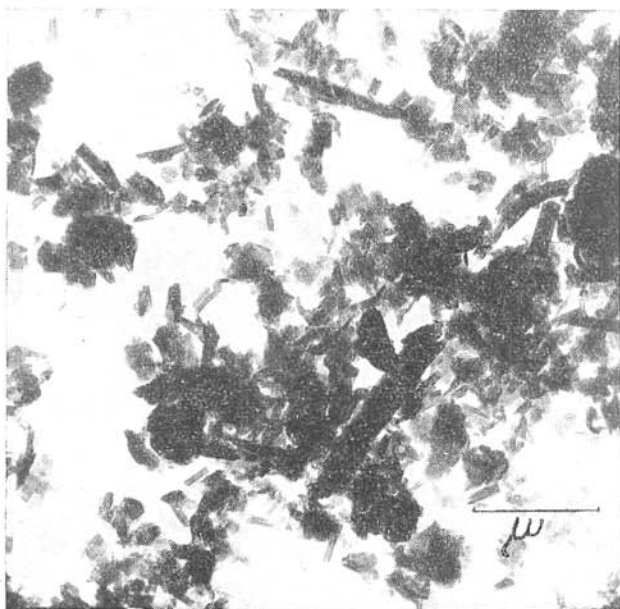


Abb. 9. Biela Hora. Halloysit mit Kaolinit. Suspension 16 800 X vergr.



Abb. 10. Biela Hora. Unregelmässige Orientierung von Halloysitkristallen. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 16 800 X vergr.

Allophan, mittels Applikation der Methode der selektiven Lösung unter dem Elektronenmikroskop (M. H a r m a n 1968) verlief negativ.

Bei den Halloysit-Tonen der Lagerstätte Biela Hora bei Michalovec (Ostslowakei), deren Entstehung der Verwitterung rhyolithischer Pyroklastiken zugeschrieben wird, können in der Suspension sowohl röhrenförmige Kristalle des Halloysits von der Länge bis zu $1,5\text{ }\mu\text{m}$ und der Stärke bis zu $0,2\text{ }\mu\text{m}$, als auch feindisperser, plättchenförmiger, gewöhnlich pseudo-hexagonal umgrenzter Kaolinit, zusammen mit einer Menge von Bruchstücken unregelmässiger, scharfkantiger undurchsichtiger Körner unzerlegter Minerale beobachtet werden (Abb. 9). Am Abdruck der Bruchstelle können Kristalle von Halloysit ähnlicher Ausmasse beobachtet werden, was ein Zeichen dafür ist, dass die Desintegration bei der Bereitung der Suspension schonend durchgeführt wurde und keinerlei Einfluss auf die Form der Teilchen ausübte. Die Ultramikrotextur ist ungeordnet, mit röhrenförmiger Entwicklung der gleichkörnigen Ultramikrostruktur, was die Beobachtung der Kristalldurchschnitte, welche teils kreisförmig, teils sechseckig sind, ermöglicht (Abb. 10). Es ist wahrscheinlich, dass im Hinblick auf die ungeordnete Orientierung, die Tonminerale in situ entstanden sind. Durch die Methode der selektiven Lösung wurden in Michalovecer Halloysit-Tonen kleine, teilweise ovale und scharfkantige Gebilde der Grösse bis zu $0,3\text{ }\mu\text{m}$ identifiziert, die dem Allophan entsprechen; dies beeinflusst die Überlegungen über die Genese dieser bisher diskutierten Lagerstätte zugunsten einer hypergenen Entstehung.

Die Gegenwart von Halloysit in den Ton-Sedimenten des pannonischen Lignit-Beckens in Pukanec (Mittelslowakei) wurde gerade mittels der Methoden der Elektronenmikroskopie festgestellt (M. H a r m a n 1964), und es kann dieser Fundort als der zweite bedeutende der Slowakei bezeichnet werden. Im Profil dieser interessanten Lagerstätte können mehrere Zonen mit unterschiedlichem Gehalt an Halloysit, ob feindisperser Kaolinit vom Typ „fire clay“ oder mit Beimengungen organischer Substanzen oder

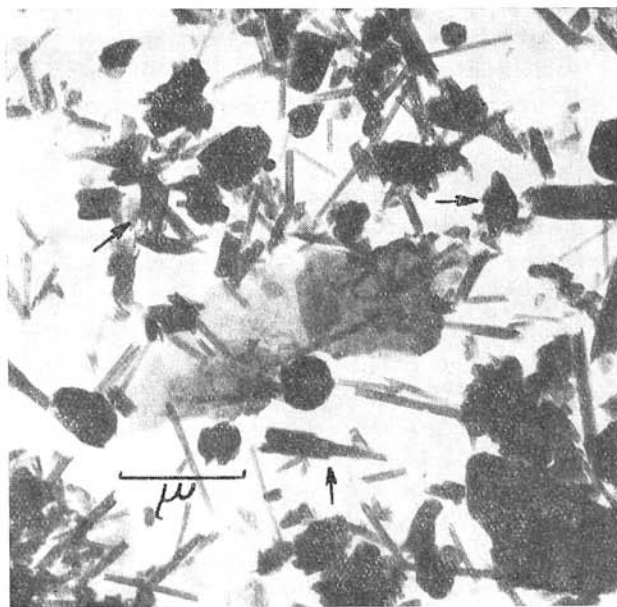


Abb. 11. Pukanec. Erscheinungen des gegenseitigen ineinanderschiebens von Segmenten und des Entrollens der Halloysitröhren (durch Pfeil gekennzeichnet). Suspension, $16\,800\times$ vergr.

Diatomeen, festgestellt werden. Die Lokalität ist vermittels der Methoden der Elektronenmikroskopie zur Genüge ausgewertet. Der Erwähnung verdient hier zumal die Lage im Liegenden des Haupt-Lignit-Flözes aus der zentralen Lage des Beckens (Bohrung PH 9—48,1 m), welche, wie am Präparat aus der Suspension ersichtlich, interessante Gebilde des Halloysits, vom Standpunkt deren Morphologie, enthält: es sind dies teilweise Entrollungen der Röhrechen, ihre Spaltung, die sich ineinander schiebenden Segmente und die winkelförmigen Durchschnitte usw., weiters die plättchenförmigen, meist unregelmässig oder nur zum Teil pseudo-hexagonal beschränkten Kristalle weniger geordneten Kaolinites (Abb. 11). Bis zu $2\text{ }\mu\text{m}$ grosse, meist sphärische undurchsichtige Teilchen, konnten dank der Methode der selektiven Lösung zum Grossteil als Allophan bestimmt werden. Im Abdruck der Bruchfläche kann bei starker Vergrösserung die Oberfläche des fächerförmig berstenden winkelförmigen Röhrechens des Halloysits beobachtet werden, was nach T. F. Bates, F. A. Hildebrand und A. Swineford (1950) auf dessen Zugehörigkeit zum Metahalloysit hinweist (Abb. 12). Die Anordnung der Minerale in Pukanceer Tonen, zumal in einigen Lagen, zeitigt einem abweichenden Orientationsgrad, was von der Möglichkeit einer Zufuhr einiger Tonminerale hauptsächlich Kaolinites vom Entstehungsort, aus dem Gebiet der verwitternden Andesite in den Sedimentationsraum, zeugen könnte. Die Ultramikrostruktur ist blattförmig (tafelförmig) bis röhrenförmig je nach vorherrschender Menge eines bestimmten Minerals, und ungleichkörnig.

Die Minerale aus der Gruppe des Montmorillonits zeichnen sich beim Studium der Suspensionsmethode und der Methoden des Abdruckverfahrens, durch unterschiedliche Eigenschaften aus. In den Suspensionen lassen sich die feindispersen Teilchen und deren Aggregate ohne regelmässige Umgrenzung, meist mit verschiedenem Grade des Zerfliessens der Konturen, was eine Funktion des Eindringens von Wasser in den Zwischenschichtraum des Kristallgitters des Minerals darstellt, beobachten. Der z. B. in Alkohol dispergierte Montmorillonit, weist unter dem Elektronenmikroskop keinesfalls zerfliessende Konturen auf. Nichtsdestoweniger ist diese Erscheinung will-

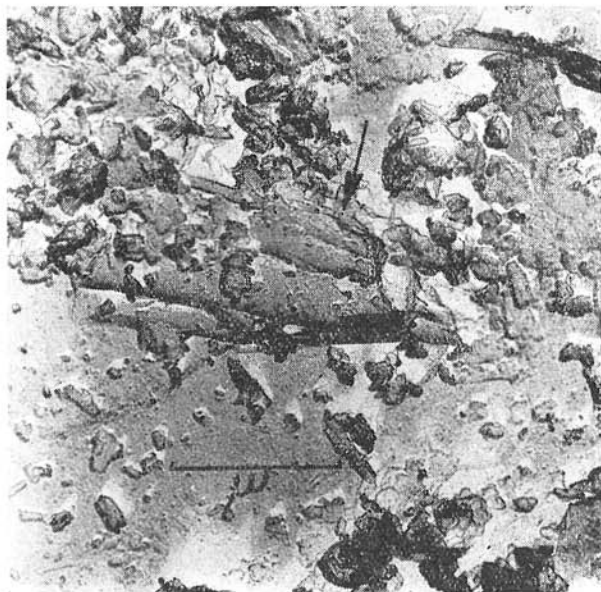


Abb. 12. Pukancee, Fächerartige Spaltung von Halloysitröhrechen (durch Pfeil gekennzeichnet). Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, $22\,400\times$ vergr.

kommen und dient unter dem Elektronenmikroskop als eines der diagnostischen Merkmale bei der Identifizierung des Montmorillonits.

Die Form und wie manchmal angeführt wird, auch die Dispersität, der Teilchen des Montmorillonits, sind eine Funktion des Gehaltes an Austauschungen. So z. B. sind

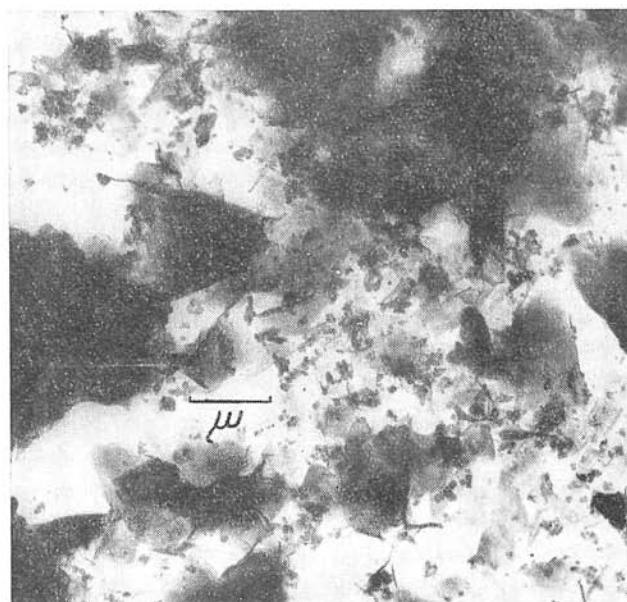


Abb. 13. Kuzmice. Montmorillonit und feindisperser Kaolinit. Suspension, 10 600 \times vergr.

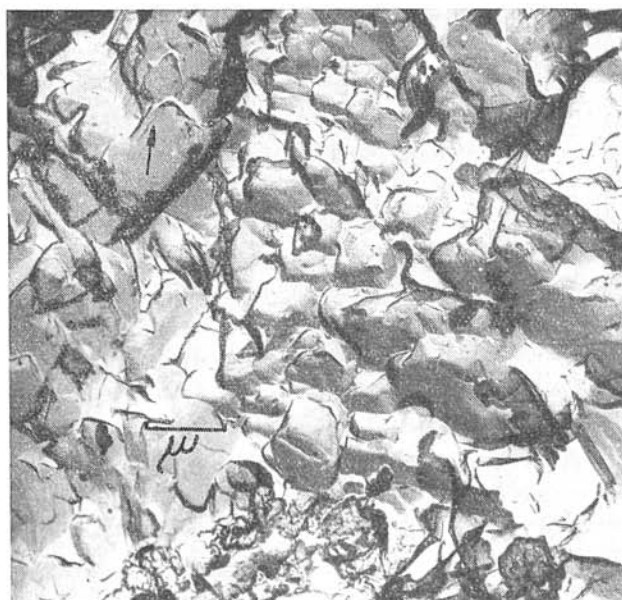


Abb. 14. Kuzmice. Aggregate von Montmorillonit, Cristobalit (?) durch Pfeil gekennzeichnet. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 10 600 \times vergr.

Aggregate von Ca^{2+} Montmorilloniten meist grobdispers, die Zerfliessung der Konturen ist weniger ausgeprägt und tut sich eher als allmähliche Abnahme der Stärke zu den Rändern hin kund, während Na Ca^2 Montmorillonite zwar grosse Aggregate bilden, die aber deutlich aus feindispersen dünnen Teilchen mit verlaufenden Kanten, welche sich

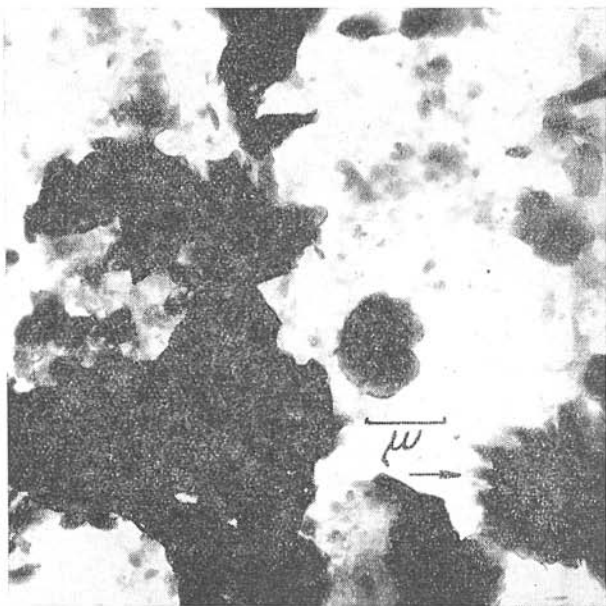


Abb. 15. Fintice. Montmorillonit, Beidelit (durch Pfeil gekennzeichnet). Suspension, 10 600 X vergr.

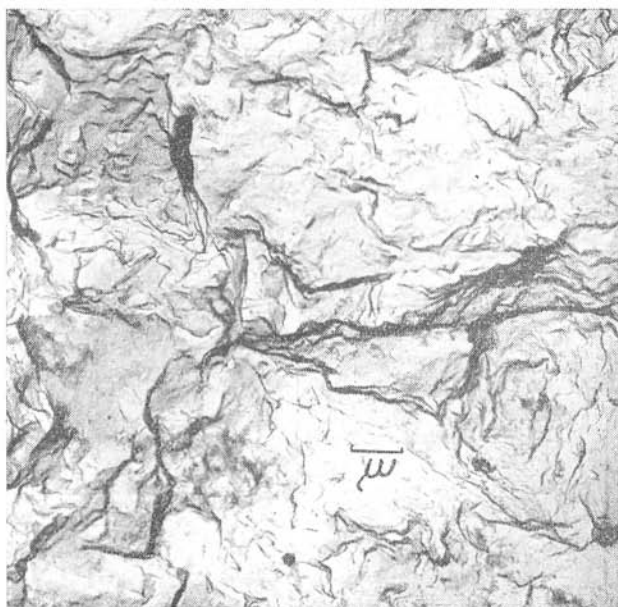


Abb. 16. Fintice. Gut parallel orientierte, blättchenförmige Aggregate von Montmorillonit. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 7 000 X vergr.

oftmals zu typischen pfeilartigen Gebilden zusammenrollen, zusammengesetzt sind. Die eigentliche Frage der Dispersität in Suspensionen ist diskutabel: sie ist gewöhnlich vom Desintegrationsgrad abhängig. Eine verlässliche Beurteilung ermöglicht gewöhnlich die Untersuchung einer grösseren Anzahl von Proben der verschiedenen Lokalitäten, welche unter gleichen Voraussetzungen dispergiert wurden, oder die Bestimmung der Grösse der Aggregate im Abdruck. Die Abdrücke zeigen ein anderes Bild des Montmorillonits — hier kann die ursprüngliche Form der Aggregate mit meist scharf umgrenztem blatt- oder schuppenartigem Charakter, ihre Orientierung im Gestein und die häufige Deformation, die die Folge der Veränderlichkeit des Wassergehaltes der Zwischenschichtsräume darstellen, studiert werden.

Der Montmorillonit aus Bentonit-Tonen der Lokalität Kuzmice am Fusse des Prešov-Tokajer vulkanischen Gebirges (Ostslowakei), ist das Produkt der Verwitterung effusiver und pyroklastischer vulkanischer Gesteine. Die Suspension weist grosse Aggregate des Montmorillonits (bis zu $2\ \mu\text{m}$) mit verlaufenden Kanten und mit für Ca Montmorillonite typischen pfeilartigen bis pinselförmigen Gebilden auf. Der Kaolinit ist in Form von feindispersen kleinen Plättchen mit scharfer Umgrenzung (von der Grösse um $0.2\ \mu\text{m}$) oftmals mit etlichen pseudo-hexagonalen Kanten entwickelt. Sehr häufig sind scharfkantige, undurchsichtige Teilchen unzerlegter Minerale (meist sekundären Cristobalits — J. K o n t a 1957) (Abb. 13). Demgegenüber gewährt der Abdruck das Bild von teilweise scharfkantigen, teils abgerundeten grossen Aggregaten des Montmorillonits, die durch feindispersen Zement verkittet sind. Vereinzelt, grössere Aggregate, (welche in Abb. 14 durch Pfeil gekennzeichnet sind) mit entwickelten kristallographischen Kanten, nehmen eine unterschiedlich orientierte Stellung, entgegen der gesamten, parallel geordneten Grundmasse ein. Es kann angenommen werden, dass hier die Bildung von Mineralen auch nach Abschluss des Sedimentationsprozesses noch fortgesetzt wurde. Es handelt sich hier um ein Beispiel relikter (porphyroblastischer) Ultramikrotextur mit parallel

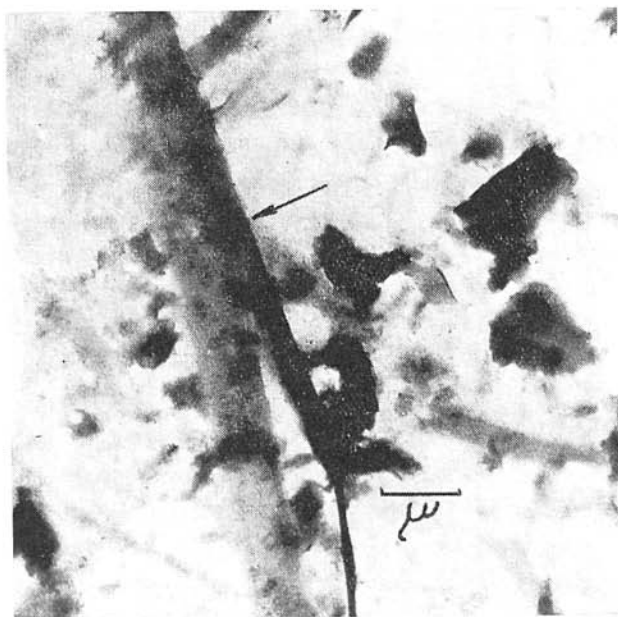


Abb. 17. Sampo. Der sich nach 001 spaltende prismatische Kristall des Nontronits (durch Pfeil gekennzeichnet). Suspension, 10 600 X vergr.

geordneten Teilchen, die eine ungleichkörnige schuppenförmige Ultramikrostruktur aufweisen.

Der Bentonit aus Fintice (am Nordrand des Prešov-Tokajer vulkanischen Gebirges — Ostslowakei) entstammt den Lagen von Tongesteinen in untermiozänen tuffitischen und sandigen Sedimenten, die von V. R a d z o (1959) ausführlich beschrieben wurden. In der Suspension können unter dem Elektronenmikroskop vor allem Ca Montmorillonit mit bedeutender Zerfliessung der Konturen, als auch grosse Aggregate (bis zu $2,5\ \mu\text{m}$) mit vermindertem Quellungsvermögen, oftmals von sternförmiger Entwicklung (Beidellit?), weiters feindisperser ($0,3\ \mu\text{m}$), pseudo-hexagonal gut umgrenzter Kaolinit, wie auch eine bedeutende Menge unzerlegter Reste der ursprünglichen Minerale beobachtet werden. Halloysit tritt akzessorisch ($0,5\ \mu\text{m}$) auf (Abb. 15). Der Abdruck zeigt eine geordnete parallele aggregate. Ultramikrostruktur häufig mit stufenartigen Bruchflächen der Aggregate mit typischen Deformationen (Abb. 16). Zeitweise kann der Typ reliktischer Ultramikrostruktur mit parallel orientierten Teilchen identifiziert werden. Die Einschlüsse bestehen aus unzerlegten Resten des ursprünglichen Minerals (Amphibol?). Die Ultramikrostruktur ist schuppenförmig und ungleichkörnig. Die Ultramikrostruktur weist auf eine orientierte, ruhige Sedimentation der schon fertigen Tonminerale hin, was im Widerspruch mit den bisherigen Ansichten über die Entstehung von Montmorillonit im Sedimentationsraum durch unterseeische Zersetzung rhyolithischer Pyroklastiken, der sogenannten Halmyrolyse, steht (J. S l á v i k 1962). Im Hinblick auf die bunte mineralogische Zusammensetzung, die Reste verschiedenartig zersetzter gesteinsbildender Silikate und die parallele Orientierung der Tonmineralteilchen kann angenommen werden, dass das Gestein eher durch die Zerstörung und die Redeponierung der fossilen Verwitterungsrinde vulkanischen, höchstwahrscheinlich pyroklastischen Gesteins entstand.

Ein interessantes Problem der Elektronenmikroskopie, stellt die Morphologie des Nontronits, eines der Minerale aus der Gruppe des Montmorillonits, dar. Es kann in

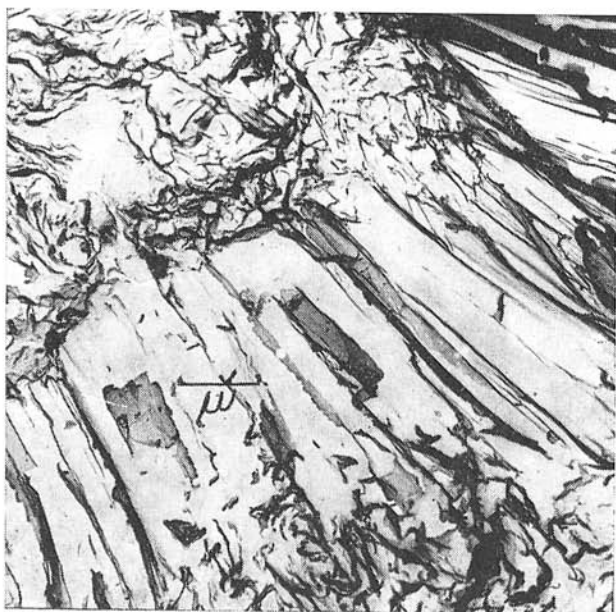


Abb. 18. Sampor. Fächerartiges Aggregat des Nontronits mit typischer Spaltbarkeit. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, $10\ 600\times$ vergr.

zwei Modifikation beobachtet werden: in Form von feindispersen faserartigen Kristallen, häufig an den Rändern mit zerfließenden Konturen, und von langen plättchenförmigen prismatischen Kristallen mit den typischen Erscheinungen der Spaltbarkeit nach 001. Laut C. S. Ross und B. S. Hendricks (1945), ist diese Spaltbarkeit die

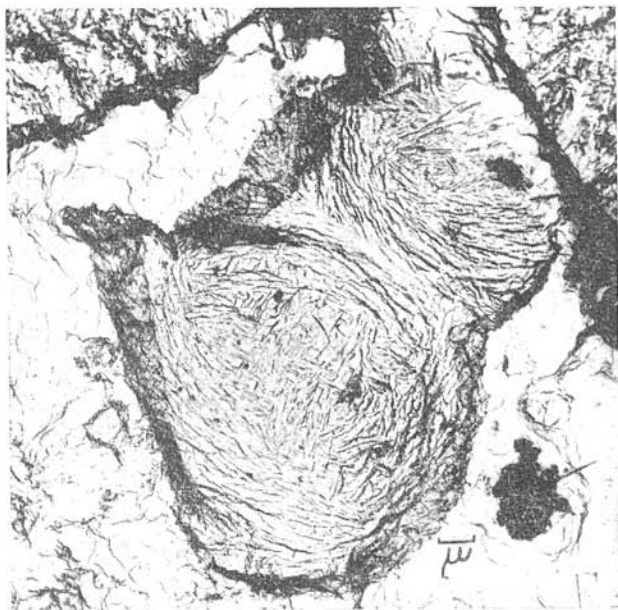


Abb. 19. Sampoř. Sphärische Pseudomorphosen einer feindispersen Modifikation des Nontronits. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 4 600 \times vergr.

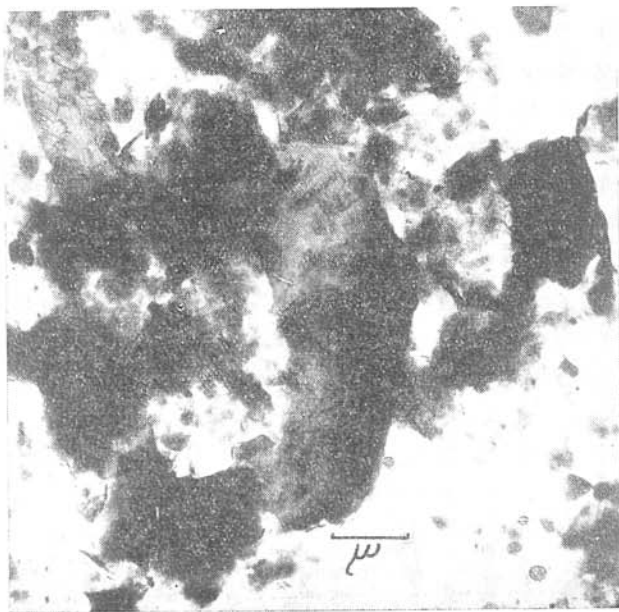


Abb. 20. Vernéřovice. Illit mit Montmorillonit. Suspension, 10 600 \times vergr.

Folge von einseitigen Spannungen in der Kristallstruktur die wieder Folge des Austausches von Al^{3+} für Fe^{3+} ist. Typische Erscheinungen solch einer Morphologie können an den von I. K r a u s (1967) beschriebenen Nontroniten der Lokalität Sampoř im Badiner Talkessel (Mittelslowakei) beobachtet werden; hier kommen diese in den Rissen von

Abb. 21. Verněřovice. Stufenförmige Brüche der Schuppen von Illit. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 4 600 \times vergr.

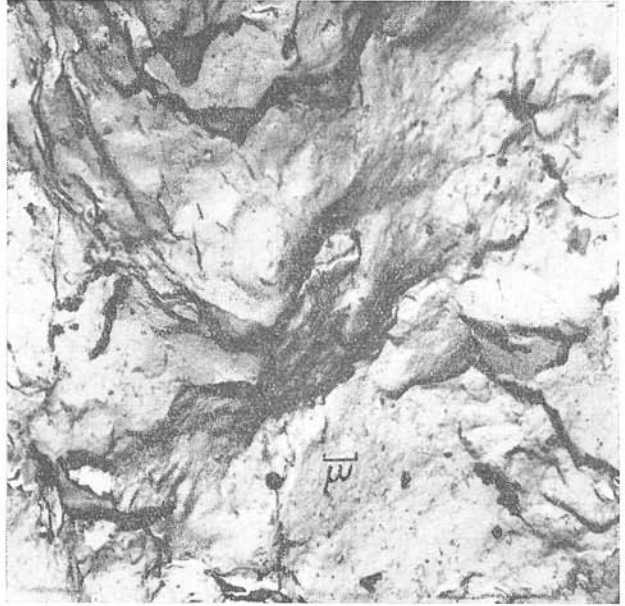
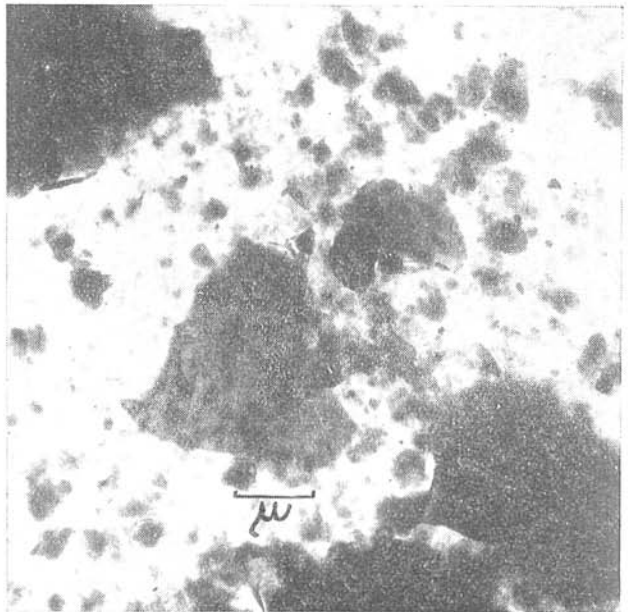


Abb. 22. Vonšov. Grosse Plättchen von Illit, feindisperser Kaolinit und Montmorillonit. Suspension, 10 600 \times vergr.



zerlegten pyroxenischen Andesiten oder in Form von Geröll in grobkörnigen andesitischen Pyroklastiken vor. Das Elektronogramm der Suspension der Probe dieser Lokalität zeigt einesteils feindisperse faserförmige Teilchen von der Grösse von 0,5–1,0 μm , andernteils auch ein Exemplar eines langen, prismatischen Kristalls, bei dem die Spaltung in zwei Individuen verschiedener Stärke nach 001 beobachtet werden kann (Abb. 17). Es handelt sich hier also nicht um selbstständige Kristalle, sondern offensichtlich um das Resultat der Spaltbarkeit grösserer Individuen als Folge der Desintegrationsstufe bei der Zubereitung von elektronenmikroskopischen Präparaten. Der Abdruck der Bruchfläche derselben Probe bestätigt die Existenz grösserer Aggregate (bis zu 15 μm) mit deutlich angedeuteter, manchmal fast radial verlaufender blattförmig-prismatischer Spaltbarkeit, sowie die ungeordnete Stellung der erwähnten Aggregate im Gestein. Es ist interessant, dass solch grössere Individuen durch feindisperse Modifikationen desselben Materials verkittet sind (Abb. 18). Die sphärischen Gebilde dieser feindispersen Form kann die Pseudomorphose des Nontronits nach den ursprünglichen Strukturen sein (Opal?) (Abb. 19). Häufig sind Bruchstücke sowie auch ganze Kristalle mehr oder minder gut entwickelter Individuen von Quarz, Feldspat u. a. Minerale von verschiedener Grösse. Die Ultramikrotextur stellt einen typisch ungeordneten Typ mit verschiedenen Orientierungsachsen der Minerale (bzw. ihrer Richtungen der Spaltbarkeit) dar. Es treten auch Typen aggregater, ungeordneter und fächerförmiger Ultramikrotextur auf. Dies würde vom Verlauf einer Nontronisation in situ und das aus ziemlich verschiedenartigen Material. Zeugnis ablegen. Die Ultramikrostruktur ist blättchenförmig, ungleichkörnig.

Die Gruppe der Hydroglimmer legt eine bedeutende Variabilität der Teilchenformen an den Tag. In Suspensionen sind sie, scharf umgrenzt, gut beobachtbar: die isometrischen und länglichen plättchenförmigen Kristalle sind gewöhnlich, zum Unterschied vom Montmorillonit, von konstanter Stärke und haben manchmal Interferenzstreifen. Häufig sind Erscheinungen der Korrosion, bzw. von Veränderungen,

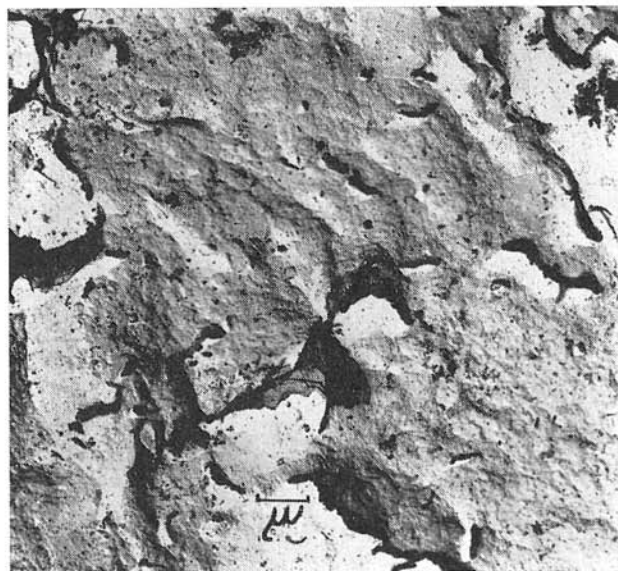


Abb. 23. Vonšov. Parallel orientierte Schuppen des Illits. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 7 000 \times vergr.

zumal an den Rändern der Plättchen. Das Auftreten von Spaltungen oder des geringfügigen Zerfließens der Konturen am Rande der Hydroglimmer ist nach M. F. V i k u l o v a (1952) ein Beweis, für das Übergangsstadium zum Beidellit. Die Abdrücke zeigen, da es sich zumeist um durchschwemmte Sedimente handelt, das Bild gut sortierten Materials. Gewöhnlich bilden sie typisch blättchen- und schuppenförmige, gelegentlich deformierte Aggregate mit gut umgrenzten unregelmässigen Rändern, die stufenförmig übereinander liegen, deren einzelne Teilchen zwar schwer zu beobachten sind, aber trotzdem ist die Mikrotexur des Gesteins gut sichtbar.

Ein typischer Fall solchen Gesteins sind die Illite aus Vernéřovice (Nordostböhmen) im Permschieferton, welche erstmals von J. K o n t a (1957) beschrieben wurden. In Suspension treten sie als grobdisperse, oftmals sogar undurchsichtige plättchenförmige Kristalle mit unregelmässiger Umgrenzung von der Grösse bis zu $4-5\text{ }\mu\text{m}$, vereinzelt mit Interferenzschlieren, auf. Ein Teil der Komponente kommt in der feindispersen Entwicklung vor und das in Form ungrösser ($0.5\text{ }\mu\text{m}$) isometrischer oder länglicher Teilchen mit scharfumgrenztem oder seltener mit verlaufendem Rand; im letzteren Falle kann es sich um eine kleine Beimengung von Montmorillonit handeln. Üppig treten scharfkantige unzerlegte Mineralbruchstücke, ehestens von Quarz, auf (Abb. 20). Der Abdruck der Bruchfläche, die parallel mit der Schieferung orientiert ist, zeigt die für Illite typischen stufenförmigen Brüche der grossen Platten und Schuppen des Illits die parallel mit der Schieferung orientiert sind; häufig treten auch grosse Bruchstücke verhältnismässig gut erhaltenen Quarzes auf. Die Ultramikrotexur parallel und zeitweise relik, mit parallel orientierten Teilchen. Die Ultramikrostruktur pflegt am häufigsten blättchenförmig bis schuppenförmig, ungleichkörnig zu sein (Abb. 21).

Ähnlichen Charakters ist der Illit der Lokalität Vonšov (Westböhmen), die aus miozänen Sedimenten des Cheb-Beckens stammt. Die grösstenteils feindispersen Tonminerale (durchschnittlich von der Grösse $0.5-1.0\text{ }\mu\text{m}$) sind meist hypidiomorph begrenzt, ausgenommen die pseudohexagonalen Plättchen des Kaolinitis. Einige Aggregate mit

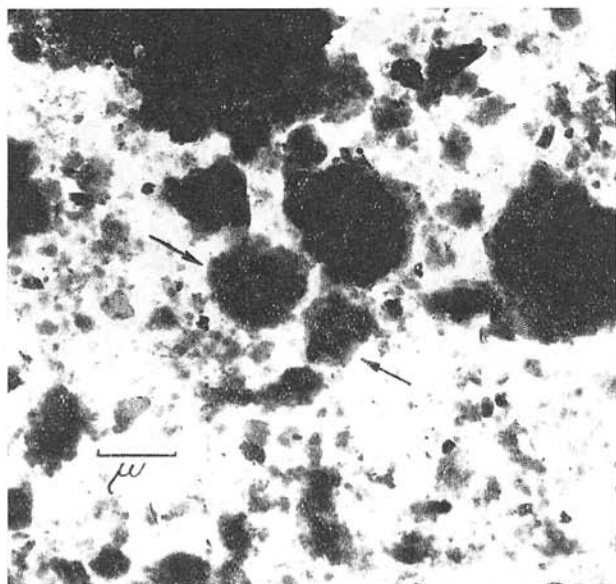


Abb. 24. Verwitterungsrinde von Vulkaniten des Gebietes Vihorlat-Popričny. Lokalität Husák. Plättchen von Hydroglimmern mit korrodierten Rändern (durch Pfeil gekennzeichnet), feindisperser Kaolinit und Montmorillonit. Suspension $10\,600\times$ vergrr.

verschwommenen Konturen würden auch auf Beimengungen von Montmorillonit schliessen lassen (Abb. 22). Die Ultramikrotextur der Bruchfläche weist eine hohe parallele Orientierung der Oberflächen der schuppenförmigen Tonminerale mit vereinzelt Krümmungen (Deformationen) auf (Abb. 23).

Die redeponierten fossilen Verwitterungsrinden der Vulkanite des Gebietes Vihorlat—Popričný (Ostslowakei) enthalten oftmals Minerale der Gruppe der Hydroglimmer (J. Kvitkovič, M. Harman 1963). Sie bilden hier unregelmässige plättchenförmige Teilchen deren Ränder oftmals Spuren der Korrosion oder von mechanischen Beschädigungen aufweisen. Vereinzelt enthalten sie Beimengungen von Montmorillonit und

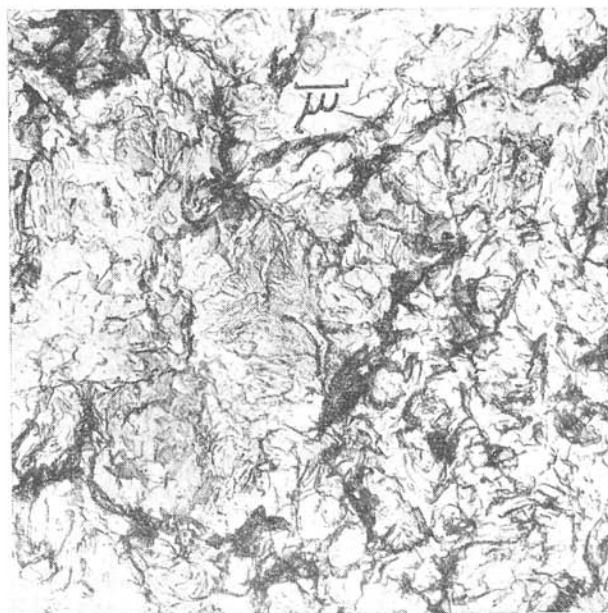


Abb. 25. Verwitterungsrinde von Vulkaniten des Gebietes Vihorlat-Popričný, Lokalität Husák. Unorientierte Aggregate von Tonmineralen. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 7 000 X vergr.

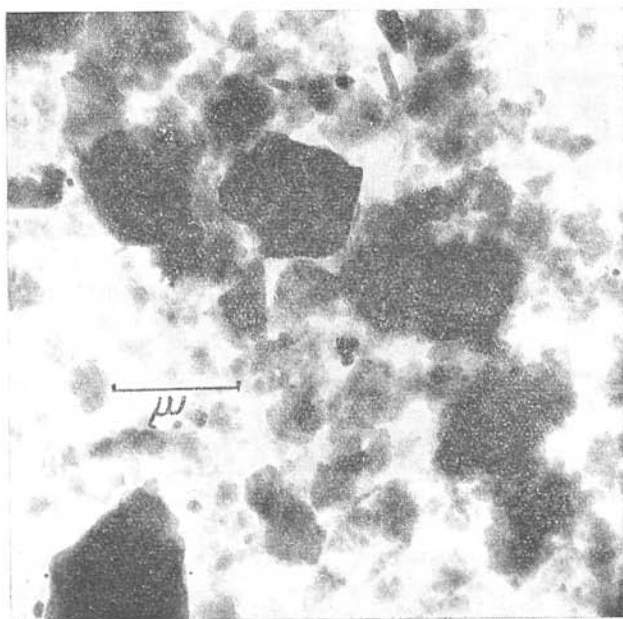


Abb. 26. Pozdišovce. IM-Strukturen, feindisperser Montmorillonit, Kaolinit und Halloysit. Suspension, 16 800 X vergr.

feindispersen Kaolinites (Abb. 24). Der Abdruck zeigt erkenntlich geringer geordnete Orientierung der Teilchen, die tieferen, undurchschwemmten Partien haben auch ungeordnete aggregate, relikte parallele Ultramikrostruktur. Im Hinblick auf den hohen Gehalt an unvollständig zersetzten Silikaten, pflegt die Bruchfläche ziemlich ungleichmässig zu sein. Es handelt sich hier um intensiv, witterung vulkanischen Gesteines (Abb. 25). Die Ultramikrostruktur ist gewöhnlich blättchenförmig bis schuppenförmig, ungleichkörnig.

Die Tongesteine der Sedimente der oberpannonischen Pozdišover Schotterformation (Ostslowakei), sind das Produkt der Sedimentation von Tonmineralen aus verwitterten paläogenen flyschartigen sandigen Schiefern und teilweise auch aus rhyolithischen

Abb. 27. Pozdišovec. Parallel orientierte Textur der Schuppen von Aggregaten der Tonminerale. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 7 000 \times vergr.

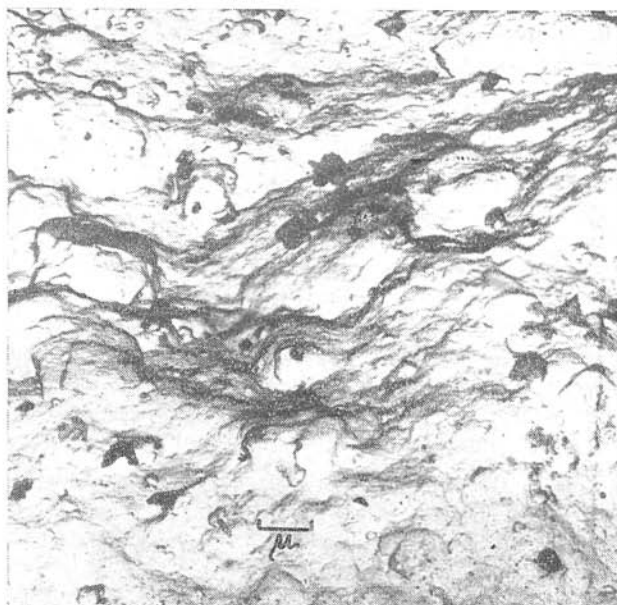
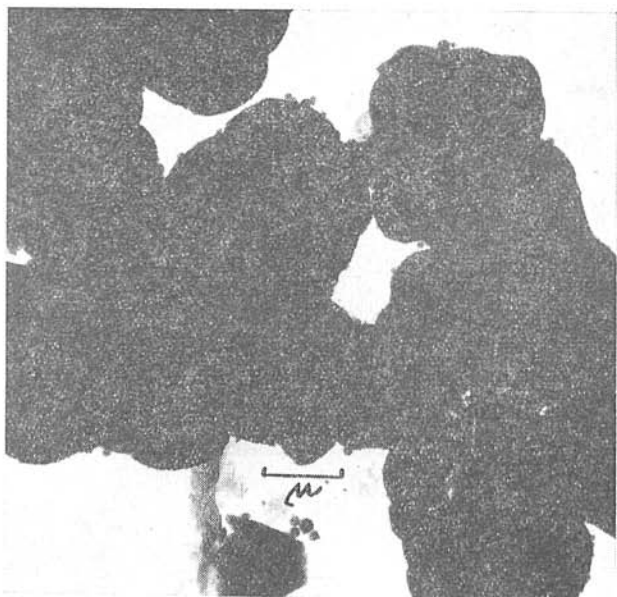


Abb. 28. Zlaté Hory—Modrá štola. Allophan. Undurchsichtige sphärische Gebilde. Suspension, 10 600 \times vergr.



Pyroklastiken. In der Suspension kann man das bunte Gemenge von Mineralen, vom feindispersen Kaolinit mit schwach geordneter Kristallstruktur (von der Grösse um $0.5\text{--}0.8\text{ }\mu\text{m}$), oftmals mit einigen entwickelten pseudohexagonalen Kanten und den Anzeichen einer mechanischen Destruktion, über akzessorischen Halloysit (von der Länge bis zu $0.5\text{ }\mu\text{m}$), isometrische Aggregate des Montmorillonits mit seinen verschwommenen Rändern, bis zu dem üppig entwickelten, plättchenförmigen, unregelmässig beschränkten scharf umgrenzten Tonmineral sehen, das von V. R a d z o (1963) als ein Mineral mit Wechsellagerungsstruktur von Illit und Montmorillonit identifiziert wurde (Abb. 26). Die Ultramikrotextur, die im Abdruck einer orientierten Probeabnahme beobachtet wurde zeigt einen guten, für redeponiertes Material typischen Bau blättchenförmiger, abgerundeter Aggregate mit zeitweiligem Vorkommen von relikter Ultramikrotextur mit parallel orientierten Teilchen (Abb. 27). Die Ultramikrostruktur ist blättchenförmig bis schuppenförmig, ungleichkörnig.

Von den weiteren in Tonen auftretenden Mineralen verdienen der Erwähnung besonders die freien Hydrate des Al und vor allem Allophan. Die Identifizierung dieses Minerals ist im Hinblick auf seinen amorphen Charakter, mittels Röntgenanalyse unmöglich und die DTA bestimmt den Allophangehalt bloss bei dessen höheren Gehalten im Gestein. Bisher stützte sich die Identifizierung des Allophans mittels Elektronenmikroskop auf dessen charakteristische sphärische Formen, die in der Suspension als undurchsichtige runde Gebilde, bzw. deren Zusammenballungen auftreten (Abb. 28). Ausser diesen Formen, die in erdartigen Allophanen oder in allophanhaltigen Tonen ausgebildet sind, kommt noch eine glasartige, harte Form vor, die keinerlei charakteristische sphärische und kugelförmige Gebilde aufweist. Nach der Desintegration können unter dem Elektronenmikroskop bloss unregelmässige Bruchstücke beobachtet werden. Mit Rücksicht darauf, dass die Allophane ein typisch hypergenes Mineral darstellen, und ihre Gegenwart im Gestein, auch in kleinen Mengen, eine ziemliche

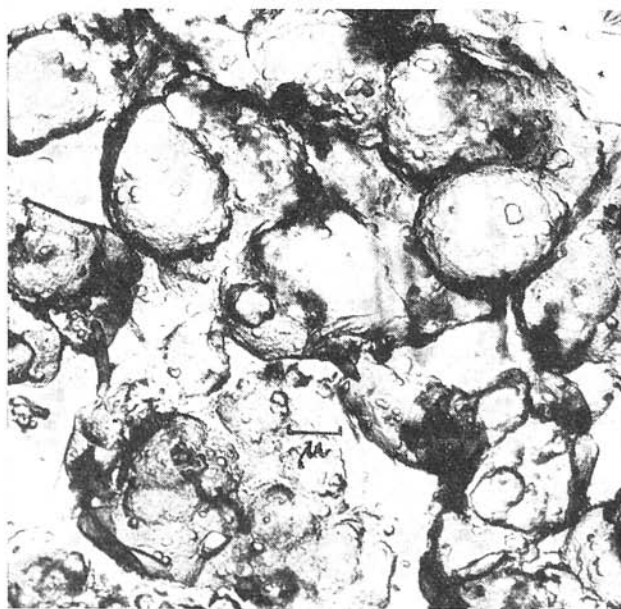


Abb. 29. Zlaté Hory—Modrá štola, Allophan. Typische kleine halbkugelförmige Vorsprünge auf den abgerundeten Flächen der Teilchen. Einstufiger Abdruck der Suspension, $7\,000\times$ vergr.

Bedeutung vom Standpunkt der Lösung dessen Genese hat, wurde die Methode der selektiven Lösung ausgearbeitet, die eine Identifizierung auch kleiner Mengen dieses Minerals gewährleistet (M. Harman 1968), und welche den Unterschied in der Abbildung aus der Suspension und dem Abdruck nützt. Das Wesen dieser Methode bildet die selektive Einwirkung eines Gemisches von 10 %-igen Lösungen von K_2CO_3 und NaOH auf eine Suspension jenes Tones, der Allophan enthalten soll. Dieser Ton wurde vorher auf die Spaltfläche von NaCl aufgetragen, bedampft, mit Kohlenstoff verstärkt und dann von der Oberfläche des NaCl entfernt. Allophan, der in diesem Reagens gut löslich ist, ist als Abdruck erkennbar, während die übrigen Minerale und auch die freien Al-Hydrate in ursprünglichem, unverändertem Zustand bleiben (wie in Suspension) (Abb. 29, 30). Diese Methode ermöglicht die Identifizierung auch unscheinbarer Mengen Allophans, was bisher mit keiner anderen Methode erzielt werden konnte. Auf diese Weise wurde die Mehrzahl aller bisher bekannten Vorkommen von Allophan in der Tschechoslowakei studiert. Ausserdem wurden neue Vorkommen gefunden, so z. B. in Pukanec, Biela Hora, Pezinok usw., was einen bedeutenden Einfluss auf die Lösung der Genese dieser Lokalitäten hat und umgekehrt konnte die Gegenwart von Allophan in einer Reihe anderer Lokalitäten ausgeschlossen werden. Diese Methode trug zu der Erweiterung der Erkenntnisse von der Morphologie des Allophans bei. So z. B. konnten bei allen Typen an den sphärischen Oberflächen kleine, halbkugelförmige Vorsprünge gefunden werden was sowohl für den glas- als auch für den erdartigen Allophan typisch ist.

Vom Standpunkt des Vorkommens der übrigen Silikate und anderer Minerale in Tonen muss erwähnt werden, dass sich diese in den Suspensionen bloss als unregelmässige (ausgenommen einige Karbonate), scharfkantige, undurchsichtige Bruchstücke beobachten lassen ohne dass es möglich wäre sie näher zu bestimmen. Demgegenüber und in Anbetracht dessen, dass die Oberflächen der Abdrücke — oftmals mit erhaltenen



Abb. 30. Rožnava, Mária baňa. Allophan mit Halloysit. Demonstrierung der Methode des selektiven Lösens. 10 600 \times vergr.

und erkennbaren kristallographischen Formen oder Spaltbarkeitscharakter ausgestattet — beobachtet werden können, können je nach Zugehörigkeit (auch wenn bloss orientierungsmässig), nach Stellung im Gestein, Korrosionsstufe und gegebenenfalls nach weiteren Eigenschaften, wertvolle Angaben zum Formungsprozess des studierten Gesteins

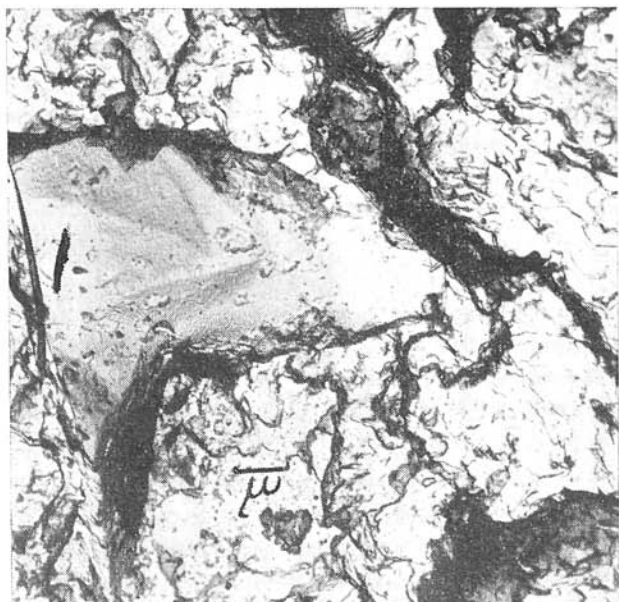


Abb. 31. Podháj. Verwitterung von Rhyolith, der korrodierte Rest des ursprünglichen Minerals (Quarz?). Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 7 000 X vergr.

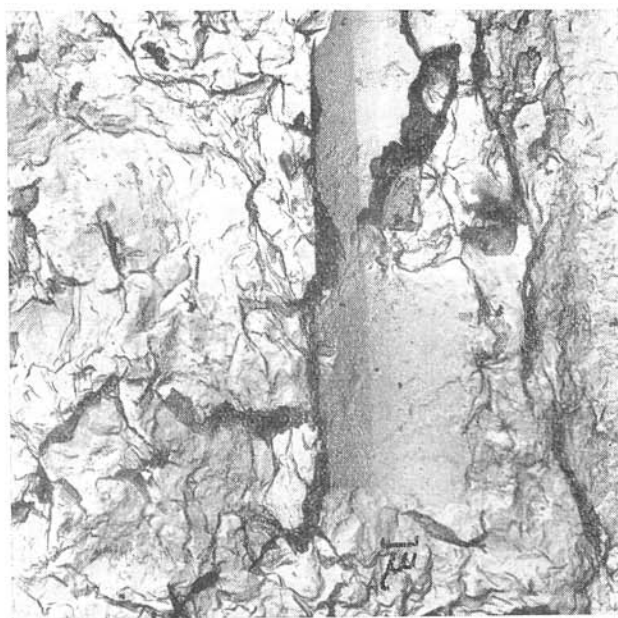


Abb. 32. Fintice. Überrest kaolinitisch verwitternden Amphibols (?) im Bentonit. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 4 600 X vergr.

gewonnen werden. Solche Beispiele lassen sich mittels Abbildung 31, 32, 33 und 34 demonstrieren. Ähnlich hat auch die Verwendung der Suspensionsmethode und die des Abdruckverfahrens, beim Studium von Organismenresten in Tonen, seine Begründung (Abb. 35, 36).



Abb. 33. Sompör. Korrodierter Kristall des Quarzes im Nontronit. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 7 000 \times vergr.

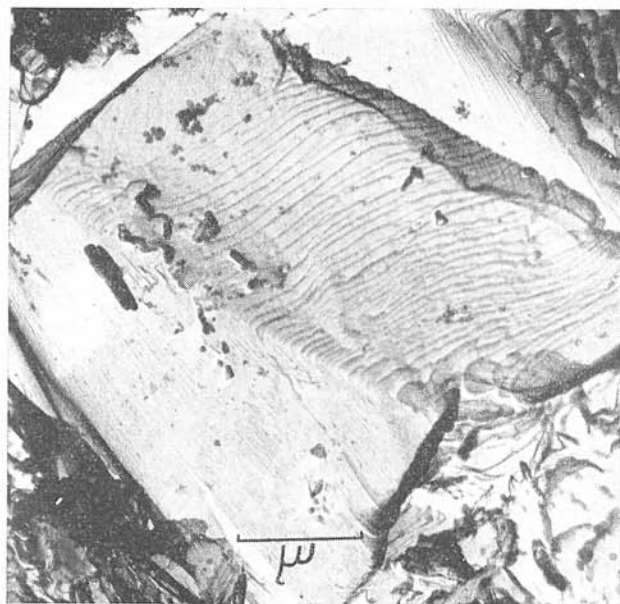


Abb. 34. Podháj. Verwitterung von Rhyolit, korrodierter Feldspatrest (Mikroklin?). Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 16 800 \times vergr.

Schlussfolgerungen

Die Elektronenmikroskopie zählt heute zu den wichtigen Methoden bei der Erforschung von Tonmineralen und -gesteinen. Grundsätzlich handelt es sich hier um zwei Präparationsmethoden von Tonen zur Elektronenmikroskopie: die Suspensionsmethode und das Abdruckverfahren. Jede, der beiden Methoden, gibt bei einigen Mineralgruppen (z. B. bei der, der Montmorillonite und der Hydroglimmer), ganz spezifisch unterschiedliche Erkenntnisse; bei anderen Mineralgruppen wieder (z. B. bei der des Kaolinites), ist der Unterschied des Charakters der Resultate geringer. Das Ausmass der bisherigen Möglichkeiten der Elektronenmikroskopie wird sich in Zukunft noch vergrössern, da einige Kategorien der Erkenntnisse noch im Stadium der Entwicklung sind (z. B. die Frage der Ultramikrotextur, der Ultramikrostruktur usw.).

Zum jetzigen Zeitpunkt sind die Möglichkeiten der einzelnen Methoden grundsätzlich folgende:

a) in Suspensionen, wo die Morphologie der Teilchen der Tonminerale den Grundwert darstellt, kann diese in erster Reihe — bei einigen Gruppen in entscheidendem Ausmass, bei anderen wieder orientierungsmässig — zu diagnostischen Zwecken herangezogen werden. Von weiteren Applikationen verdienen erwähnt zu werden: die Granulometrie der Teilchen, deren gegenseitiges Verhältnis und die Bestimmung des Dispersionsgrades, weiters die orientierungsmässige Bestimmung des Kristallisationsgrades (und dessen Beziehung zum Aufbau des Strukturgitters), der Grad der mechanischen oder chemischen Beschädigung (Korrosion), die Bestimmung der Menge und des Verhältnisses kristalliner und amorpher Komponenten, die Möglichkeit der Beobachtung von Mikroorganismen und weitere, weniger wichtige Applikationen und Angaben.

Eine separate Stellung nehmen die Methoden vom Übergangstyp ein, bei welchen sich in ein und demselben Präparat, die Resultate beider Methoden, der Suspensionsmethode und des Abdruckverfahrens, bewähren. Hierher gehören die Methode der selektiven Lösung und die Methode der Strukturätzung. Beide Methoden befinden sich noch in

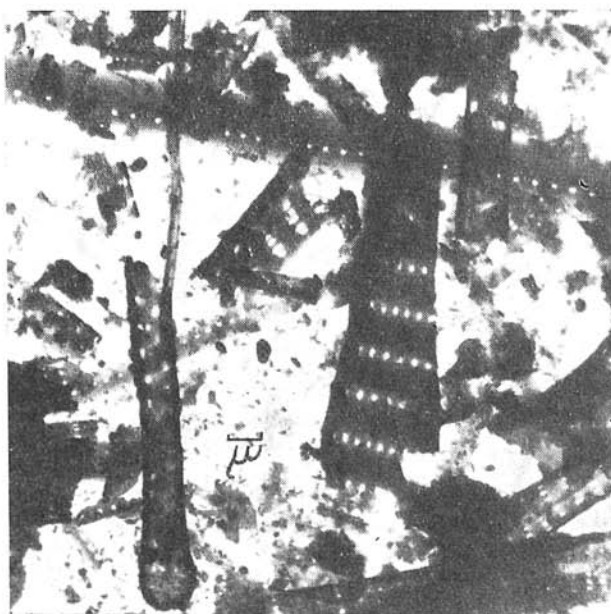


Abb. 35. Močiar. Diatomit mit feindispersen Halloysit. Suspension, 4 600 X vergr.

Entwicklung und haben angesichts der Möglichkeit einer Applikation auf weitere Minerale, eine bedeutende Zukunft.

b) die Methode des Abdrucks natürlicher Bruchflächen hat, was die Resultate anbelangt, einige Berührungspunkte mit der Suspensionsmethode. Solche sind z. B. die Verfolgung der Morphologie und der Ausmasse der Mineralteilchen. Der Abdruck jedoch, ermöglicht deren Studium in unbeschädigtem Zustand; er gibt die Möglichkeit zum Studium der Form von ganzen Aggregaten und deren gegenseitiges Verhältnis, ermöglicht den Verlauf der Kristallisation von Tonmineralen, die Erscheinungen der Korrosion, und dies auch der übrigen Silikate und anderer, in Tonen gegenwärtiger Minerale zu verfolgen (z. B. die Verfolgung des Verwitterungsprozesses bei Feldspäten usw.) Zu den wichtigsten Vorteilen zählt jedoch die Möglichkeit einer Verfolgung der Ultramikrostruktur des Gesteins in Abhängigkeit von den Bedingungen der Genese, die Möglichkeit einer Verfolgung der Epi- und Diagenese und folgedessen die Klärung des Formierungsprozesses des Tongesteins. Von weiteren Modifikationen verdient die Verfolgung der Erscheinungen der Epitaxie mittels der Methode von Dekorationsabdrücken erwähnt zu werden.

Die Elektronenmikroskopie hat aber auch ihre Nachteile. Zu den wichtigsten zählen: das verhältnismässig kleine Blickfeld während der Beobachtungen, die schwierige Präparation sowie auch der beschränkte Bereich der Interpretation bei einigen Problemen. So wäre es z. B. falsch, die grösste Betonung auf die Diagnostik als Folge der Morphologie der einzelnen Teilchen, zu legen, da sich gegenwärtig die Diagnostik vermittels der Elektronenmikrodiffraktion im Rahmen der Elektronenmikroskopie oder durch andere Arten von Studien, viel genauer verwirklichen lässt. Der Schwerpunkt einer effektiven Nutzung und die Zukunft der Elektronenmikroskopie, liegt in der Lösung von Problemen der Textur, der Genese und der Lithologie. Bei einer komplexen Bewertung der Elektronenmikroskopie und deren heutiges Ausmass an Möglichkeiten kann festgestellt werden, dass diese bei der Erforschung der Tonminerale und Tongesteine eine hervorragende Stellung einnimmt.

Übersetzt von E. Walzel.

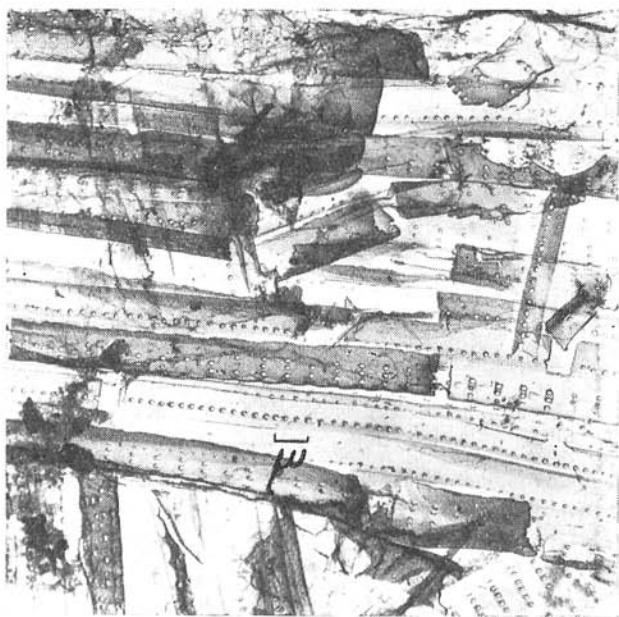


Abb. 36. Močiar. Diatomit — Oberflächenstruktur der Segmente von Organismen. Einstufiger Abdruck der Bruchfläche, 4 600 \times vergr.

SCHRIFTTUM

- Bates T. F., 1955: Electron microscopy as a method of identifying clays. *Clays and Clay Technology*, Calif. Div. Mines Bull. 169. — Bates T. F., Comer J. J., 1955: Electron microscopy of clay surfaces. *Clays and Clay Minerals*, Nat. Acad. Sci. Nat. Res. Council publ. 395, Washington. — Bates T. F., Hildebrand F. A., Swineford A., 1950: Morphology and structure of endellite and halloysite. *Am. Mineral* 35, 7—8. — Bates T. F., Comer J. J., 1959: Further observation on the morphology of chrysotile and halloysite. *Clays and Clay Miner.*, Proc. of the Sixth nat. Conf. on clays and clay min., London—New York—Paris—Los Angeles. — Behne W., Müller W., 1954: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Morphologie von Halloysiten. *Naturwiss.* 41. — Beutelspacher H. van der, Marel H. W., 1961: Kennzeichen zur Identifizierung von Kaolinit, „Fire-clay“ Mineral und Halloysit, ihre Verbreitung und Bildung. *Tonindustrie-Zeitung* 85, 22—24, Goslar. — Bradley D. E., 1954: Evaporated carbon films for use in electr. micr., *Brit. J. appl. Phys.* 5, 65. — Čuchrov F. V., 1955: Kolloidy v zemnej kore. *Izd. AN SSSR*, Moskva. — Griceaenکو G. S., Rudnickaja E. S., Gorškova A. I., 1961: Elektron-naja mikroskopiija mineralov. *Izd. AN SSSR*, Moskva. — Griceaenکو G. S., Samotoin N. D., 1966: Izučenie mikrotopografii poverchnostej skolov mineralov metodom dekorirovanija. *Sb. Fizičeskie metody issl. min. osad. prod.*, *Izd. Nauka*, Moskva. — Harman M., 1959: Kurze Übersicht der geologischen und paragenetischen Verhältnisse der Erzgänge in der Umgebung von Pukanec. *Acta geol. et geogr. Univ. Com.*, *Geologica* 2, Bratislava. — Harman M., 1964: Halloysit aus Pukanec und seine Genese. *Geol. sborn. Slov. akad. vied* 15, 2, Bratislava. — Harman M., 1966: Untersuchungen von Pyrit mit den Methoden der Elektronenmikroskopie. *Geol. sborn. Slov. akad. vied* 17, 1, Bratislava. — Harman M., 1968: Die selektive Löslichkeit als neue Methode zur Identifizierung des Allophans unter dem Elektronenmikroskop. *Im Druck*. — Kazda J., 1949: Použití elektronového mikroskopu v keramice. *Stavivo* 27, Praha. — Konta J., Borovec Z., 1964: Illit separovaný z přírodního kaolínu v Sedlici na Karlovarsku. *Auszüge aus Vorträgen bei der III. Konf. über Tonminer. und Petrol.* UK, Praha. — Konta J., 1957: Jilové minerály Československa. Praha. — Kraus I., 1967: Mineralogicko-genetické pomery ílových sedimentov vo vnútorných kotlinách stredného Slovenska a v poltárskej formácii. *Kand. Dissertationsarbeit. Archiv katedry ner. sur. a geochemie PFUK*, Bratislava. — Križani I., 1966: Geologické a mineralogicko-petrografické pomery v Ipeľskej doline. *Diplomarbeit. Archiv katedry ner. sur. a geochemie PFUK*, Bratislava. — Kvitkovič J., Harman M., 1963: Niekoľko poznámok o výskyte kôry zvetrávania a jej vzťahu ku reliéfu v pohorí sopečného oblúka Vihorlat-Popričny. *Geogr. časopis Slov. akad. vied* 14, 3, Bratislava. — Loughnan E. C., Craig D. C., 1960: An occurrence of fully hydrated halloysite at Muswellbrook N. S. W., *Amer. Mineral.* 45. — Ponder H., Keller D., 1960: Geology, mineralogy and genesis of selected fire-clays from Latah County, Idaho. *Clays and Clay Min.*, 8-th Nat. Conf. — Radzo V., 1963: Mineralogicko-chemický výskum keramických ílov od Pozdišovce. *Geol. práce, Zprávy* 27, Bratislava. — Radzo V., 1959: Mineralogicko-chemický rozbor bentonitu od Fintic okres Prešov. *Geol. práce, Zprávy* 16, Bratislava. — Reimer L., 1967: Elektronenmikroskopische Untersuchungs- und Präparationsmethoden. Berlin—Heidelberg—New York. — Rekšinskaja L. G., 1966: Atlas elektronnych mikrofotografij glinistych mineralov i ich prirodnyh asociacij v osadočnych porodach. *Izd. Nedra*, Moskva. — Rekšinskaja L. G., 1966: Vozmožnosti elektronmikroskopičeskogo izučeniija osadočnych porod. *Vestn. Mosk. Univ.* IV, 6, Moskva. — Robertson R. H. S., Brindley G. W., Mackenzie R. C., 1954: Mineralogy of kaolin clays from Pugu, Tanganyika. *Amer. Mineral.* 39. — Ross C. S., Hendricks S. B., 1945: Minerals of the montmorillonite group. *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 205 B. — Slávik J., 1962: Geológia a genéza niektorých ložísk pelitov v neogéne východného Slovenska. *Geol. práce* 63, Bratislava. — Šachova P. A., 1958: Vspomogatelnye metody pri elektronmikroskopičeskom issledovanii glin i glinistych mineralov. *Sb. Issl. i ispolz. glin*, *Izd. Univ. Evov.* — Vikulova M. F., Šitov V. A., 1966: Novye dannye po issledovaniju glinistych porod s pomoščju replik. *Sb. Fiz. metody issl. min. osad. porod*, *Izd. Nauka*, Moskva. — Vikulova M. F. and Koll., 1957: Metodičeskoe rukovodstvo po petrografo-mineralogičeskomu izučeniju glin. *Gosgeoltechizdat*, Moskva. — Vikulova M. F., 1952: Elektronmikroskopičeskie issledovanija mineralov glin. *Gosgeolizdat*, Moskva.

Zur Veröffentlichung empfohlen von B. Čičel.