

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ

Geotechnische Serie, Lieferung 47

Herausgegeben mit Subvention der Eidgenossenschaft von der

Schweizerischen Geotechnischen Kommission

Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

in Zusammenarbeit mit der

Studiengesellschaft zur Nutzbarmachung schweizerischer Lagerstätten

mineralischer Rohstoffe

Untersuchungen über die Verwendbarkeit schweizerischer Rohstoffe als Bindetone für Giessereiformsande

VON

FRANZ HOFMANN

UND

TJERK PETERS

KOMMISSIONSVERLAG: KÜMMERLY & FREY, GEOGRAPHISCHER VERLAG, BERN

1969

DRUCK: ASCHMANN & SCHELLER AG, BUCHDRUCKEREI ZUR FROSCHAU, ZÜRICH

Vorwort der Schweizerischen Geotechnischen Kommission

An der Sitzung vom 18. Januar 1969 lag der Kommission ein Manuskript der Herren PD Dr. F. Hofmann und PD Dr. Tj. Peters «Untersuchungen über die Verwendbarkeit schweizerischer Rohstoffe als Bindetone für Gießereiformstoffe» vor. Die vorwiegend experimentelle Arbeit wurde gefördert durch die Studiengesellschaft zur Nutzbarmachung schweizerischer Lagerstätten mineralischer Rohstoffe. Die Kommission nahm die Arbeit, die schweizerische Tonvorkommen sowohl nach der praktischen Seite wie auch im Sinne der Grundlagenforschung behandelt, gerne für die Geotechnische Serie der Beiträge entgegen. Die Herausgabe erfolgt gemeinsam mit der oben genannten Studiengesellschaft. Die Untersuchungen wurden ausgeführt an der Zentralen Forschungs- und Entwicklungsabteilung, Formstofflaboratorium, Georg Fischer Aktiengesellschaft, Schaffhausen, und am Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Bern, Tonlaboratorium. Den Autoren möchte sie für ihre interessante tonmineralogische Forschungsarbeit den besten Dank aussprechen.

Für den Inhalt von Text und Figuren sind die Verfasser allein verantwortlich.

Zürich, Februar 1969

Für die Schweizerische Geotechnische Kommission

Der Präsident: Prof. Dr. F. de Quervain

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abstract | 5 |
| Zielsetzung und Arbeitsaufteilung | 6 |
| Einleitung | 7 |
| Arten der Bindetone in Formsanden | 8 |
| Probenauswahl und Probenverzeichnis. | 9 |
| A. Vulkanogene Tone im Südtessin | 9 |
| B. Mesozoische Tone des Jura Gebirges | 10 |
| C. Siderolithformation (Huppererden und Bolustone) | 11 |
| D. Molasse und Pliozän | 11 |
| E. Pleistozäne Tone | 12 |
| Formstofftechnologische Untersuchungen | 12 |
| Aufbereitung der Testmischungen | 12 |
| Aufbereitungs- und Prüfwassergehalt | 13 |
| Prüfung der Bindefähigkeit | 15 |
| Versuchsergebnisse. | 17 |
| Wasserbedarf und Bindefähigkeit im grünen Zustand | 17 |
| Trockenbindefähigkeit. | 21 |
| Aktivierbarkeit und Quellvermögen | 22 |
| Feuerfestigkeit | 23 |
| Kalkgehalt. | 23 |
| Zusammenfassende technologische Beurteilung | 24 |
| Mineralogie und Sedimentpetrographie der Proben | 28 |
| Methodisches | 28 |
| Sandanteil | 28 |
| Karbonatgehalt | 28 |
| Tonmineralien | 28 |
| Versuchsergebnisse. | 28 |
| Sand- und Karbonatgehalt. | 28 |
| Tonmineralogie | 29 |
| Vulkanogene Tone im Südtessin | 29 |
| A 1: Grüner Ton von Arosio | 29 |
| A 2: Weißer Ton von Arosio. | 34 |
| A 3: Weißer Ton von Caslano | 36 |
| A 4: Ton von San Giorgio | 39 |
| Die Keupertone B 1 und B 2 | 40 |
| Die Opalinustone B 3, B 4, B 5 und B 6 | 43 |
| Die Huppererden C 1, C 2, C 3 und C 4, und die Bolustone C 5 und C 6 | 45 |
| D 1: Septarienton von Laufen | 50 |
| D 2: Weißer Ton von Bonfol | 52 |
| E 1: Löß-Lehm von Allschwil. | 53 |
| E 2: Schwemmlehm von Bubendorf | 55 |
| E 3: Brauner Lehm von Neunkirch | 55 |
| Diskussion. | 56 |
| Dankwort | 58 |
| Literatur | 59 |

Abstract

An investigation was carried out on the possibility of finding suitable Swiss bonding clays for foundry moulding sands. Samples of various origins, ranging from Permian to Quaternary age were tested. The results of the geological, technological and mineralogical investigations are given in the present paper.

Laboratory test mixtures were prepared in order to determine the water requirement and the green and dry bonding properties of the clays selected. The highest bonding capacities were observed with Permian and Triassic volcanic clays from Southern Ticino, with Keuper clays and with kaolinite clays of Eocene and Pliocene age. Even in the case of the best clays tested, at least twice as much clay would have to be added to moulding sand mixtures in order to produce strength and general workability levels common with normal montmorillonitic foundry bentonites.

The Jurassic Opalinus clays, occurring in large quantities in Switzerland, as well as comparable weakly bituminous clays appear to have reacted with the organic material present: in spite of their considerable purity, their bonding properties are rather low, and these clays therefore are of only very limited interest as foundry bonding clays.

The clay mineral portion contained in the technically most suitable clays either consisted of very pure illite or of regular or irregular illite/montmorillonite mixed layers in the case of the volcanic clays, of well-crystallized illite in regular hexagonal platelets of approx. 0.1 micron diameter in the case of the Keuper clays or of very fine grained kaolinite in the case of the Eocene siderolithic clays. A very important factor for the suitability of a clay as a moulding sand binder is high purity.

The genetical conditions largely determine the suitability of a clay for foundry use and therefore also the possibility of finding geological formations containing respective clay deposits.

Unaltered, rather pure montmorillonitic bentonites of volcanic origine with high bonding capacity only occur as thin layers in the Tertiary Molasse basin and are of little practical interest. For the present investigation, they were considered for comparative purposes only. The bonding capacities of similar volcanic clays of Permian and Triassic age as tested for the present research programme appear to have been reduced by potassium-pick-up as well as by the influence of heavy overburden, resulting in their present composition.

Clays formed under extreme weathering conditions are frequently found in the Eocene siderolithic formation as pockets of residual kaolinite clays in the Jura mountains. Sediments transported over a long distance and deposited in an environment where aggradation of the minerals occurred, are found in large quantities in the Keuper of the Jura mountains. In the Alps, the clay deposits usually have been too much under the influence of regional Alpine metamorphism to be of any value for foundry purposes. Tertiary sedimentation in the Molasse basin was too quick to allow new formation and transformation of clay minerals or carbonate removal. The same is true for most of the clay-bearing formations of the Jura mountains.

In case of need, many of the clays investigated would be quite suitable for preparing foundry moulding sands, replacing bentonites. Some of the kaolinite clays even have good refractory properties required in the steel foundry, and their quality approaches the one of good imported refractory clays.

Zielsetzung und Arbeitsaufteilung

Anlaß zur vorliegenden Arbeit war der Vorschlag des einen von uns (F. H.) an die «Studiengesellschaft zur Nutzbarmachung schweizerischer Lagerstätten mineralischer Rohstoffe», eine Abklärung über die Verwendbarkeit schweizerischer Rohstoffe als Bindetone für Gießereisande vorzunehmen. Das in der Folge im Rahmen der «Studiengesellschaft» bearbeitete Projekt diente vor allem einer Beschaffung von Unterlagen für Mangelzeiten. Über die reine Eignungsprüfung hinaus resultierten aus den durchgeführten Untersuchungen zahlreiche, höchst interessante Befunde technologischer, tonmineralogischer, sedimentpetrographischer, geologischer, genetischer und lagerstättenkundlicher Art, die eine Publikation gerechtfertigt erscheinen lassen.

Die formstofftechnologischen und einige sedimentpetrographische Untersuchungen wurden im zentralen Formstofflaboratorium der Georg Fischer Aktiengesellschaft, Schaffhausen, vorgenommen. Die tonmineralogischen Untersuchungen, durchgeführt im Tonlabor des Mineralogisch-Petrographischen Institutes der Universität Bern, waren nur möglich dank der großzügigen finanziellen Unterstützung der Kommission zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung aus Arbeitsbeschäftigungskrediten des Bundes. Sie erlaubten unter anderem die Anschaffung des für die Tonuntersuchungen unentbehrlichen Diffraktometers.

Einleitung

Tongebundene Gießereiformsande sind magere keramische Massen. Sie bestehen im wesentlichen aus einer körnigen Grundmasse, dem eigentlichen Sand, und einem Bindeton, der dem Sand den verarbeitungsgerechten Zusammenhang gibt. Dazu kommen meist noch Zusatzstoffe. Zur Erzielung der optimalen formtechnischen Eigenschaften muß der tongebundene Formsand entsprechend seinem Wasserbedarf formgerecht-feucht mit Wasser plastifiziert werden und darf weder zu trocken noch zu feucht sein.

Früher wurden in Gießerei-Formsandsystemen vorwiegend natürliche tonhaltige Formsande, sogenannte «Natursande» verwendet, die von der Lagerstätte her bereits über einen ausreichenden Gehalt an Bindeton verfügen.

Normalerweise werden Gießereiformsande nicht nur einmal verwendet, sondern wieder aufbereitet. Durch die thermischen Einflüsse beim Gießen wird ein Teil des Bindetons totgebrannt und ist mit Wasser nicht wieder plastifizierbar. Der nach dem Abgießen und Auspacken einer Gießform anfallende sogenannte «Altsand» hätte deshalb zunehmend sich verschlechternde formtechnische Eigenschaften und würde an wirksamem Bindeton verarmen, würde der totgebrannte Ton nicht laufend ersetzt. Formsande, ausschließlich aus Neumaterial aufbereitet, werden hauptsächlich in der Stahlgießerei verwendet.

Im Normalfall bewegt sich der Formsand einer Gießerei in einem Kreislauf: Aufbereiten – Formherstellung – Abgießen – Auspacken – Wiederaufbereiten. Bei Verwendung natürlichen, tonhaltigen Formsandes wird der anfallende Altsand mit einem bestimmten Zusatz solchen «Natursandes» in der Aufbereitungsanlage regeneriert. In der Regel enthalten solche natürlichen Formsande zwischen 15 und 25% Bindeton. Dies bedeutet, daß ein wesentlich größerer Anteil – also zwischen 85 und 75% – an Sandkomponente zusammen mit dem Bindeton zugesetzt, insbesondere aber vorher auch zugeführt und gelagert werden muß. In den meisten Fällen erhält der Sandkreislauf als Neumaterialzufuhr aber nicht nur Bindeton zur Wiederaufbereitung, sondern auch Kern-Altsande. Kernsande sind in der Regel mit geringen Mengen an nichttonigen Bindern (z. B. pflanzliche und tierische Öle, Stärkebinder, Kunstharze, Wasserglas, Zement) aufbereitete Quarzsande, die thermisch oder auf kalt-chemischem Wege aushärten und die oft kompliziert gestalteten Kerne ergeben, die in die tongebundene Außenform eingesetzt werden und Hohlräume im Gußstück bestimmen. Beim Abgießen zerfallen sie und bilden eine erwünschte Komponente des in die Wiederaufbereitung gehenden Altsandes: in den meisten Fällen bilden sie die wichtigste, jedoch indirekte Frischsandzufuhr ins Sandsystem.

Heute werden in zunehmendem Maße sogenannte «synthetische Formsande» verwendet. Statt tongebundener Formsand wird dem Sandsystem zur Konstanthaltung seiner formtechnischen Eigenschaften nur noch reiner Bindeton zugesetzt. Dazu kommt, falls der Kernsandanfall aus der ausgepackten Form nicht ausreicht, ein bestimmter Anteil tonfreien Neusandes. Ganz allgemein gilt, daß der Kreislaufsand in seiner Zusammensetzung den Proportionen des bei der Wiederaufbereitung zugeführten Neumaterials entspricht (Kernsand + allfälliger direkt zugesetzter tonfreier Sand + Bindeton). Der Kreislaufsand besteht aus dem eigentlichen Sand (meist Quarzsand), aus aktivem und aus totgebranntem Bindeton. Dieser umhüllt in Form thermisch fixierter, schamottisierter Hüllen die Sandkörner, die beim Gießen über die Totbrenntemperatur des Tons erhitzt wurden. Bei nicht ausreichender Frischsandzufuhr treten im Formsand mit der Zeit Oolithisierungserscheinungen durch wiederholten konzentrischen Aufbau totgebrannter Bindetonhüllen auf. Dies kann bei nicht genügender Feuerfestigkeit des Bindetons mit der Zeit zu Schwierigkeiten führen; bei richtigem Verhältnis von Neusand zu Neubindeton können aber diese Vorgänge so gesteuert werden, daß optimale Konditionierungsvorgänge im Kreislaufsand resultieren (F. HOFMANN, 1966).

Ein Kreislaufsand muß somit durch die zugeführten Neukomponenten in seinen Eigenschaften gesteuert werden. Eine gewisse Menge an Altsand (am Gußstück haftend oder direkt zum Schuttplatz geführt) muß laufend aus der Gießerei herausgeführt werden, damit die Gesamtmenge an Kreislaufsand konstant bleibt. Die abzuführende Menge verbrauchten Sandes entspricht der ins Sandsystem eingeführten Menge an Neumaterial.

Das Arbeiten mit «synthetischem» Formsand hat den Vorteil, daß die Körnung der Sandkomponente und die Art des Bindetons unabhängig voneinander ausgewählt werden können. Ein wesentlicher Vorteil besteht aber auch darin, daß weit geringere Mengen an Rohstoffen transportiert, umgeschlagen und gelagert werden müssen. «Natursande» enthalten sehr viel Sand als Trägermaterial für den Ton, aber auch als Ballast für die Sandwirtschaft; außerdem sind sie wesentlich schlechter in den Altsand einzuhomogenisieren als feingemahlene Bindetone.

Arten der Bindetone in Formsanden

Natürliche tongebundene Formsande enthalten meist illitische, teilweise auch kaolinitische Bindetone oder deren Gemische. In einigen gießereitechnisch verwendeten Grünsanden ist Glaukonit alleiniger Bindeton. Alle diese Tonarten haben mittelhohe Bindekraft, entsprechend den in der vorliegenden Arbeit besprochenen Versuchen.

Für *synthetische Formsande* werden hauptsächlich Bentonite, teilweise aber auch feuerfeste Tone verwendet.

Bentonite, fast ausschließlich vulkanogene, vorwiegend aus Montmorillonit bestehende Tone, haben im Mittel eine doppelt so hohe Bindekraft wie irgendwelche andere in Betracht kommende Bindetone. Diese hohe Bindefähigkeit (vgl. Fig. 8) ist der Hauptgrund für ihre bevorzugte Verwendung als Bindetone, hauptsächlich für Kreislaufsande in Naßgußanlagen. Der für ein bestimmtes formtechnisches Verhalten und für ein bestimmtes Festigkeitsniveau im verdichteten Zustand nötige Tongehalt ist deshalb sehr niedrig: 10% Gehalt ist bereits ein hoher Wert, während mit natürlichen Formsanden aufbereitete Tone stets mehr als 10% Ton enthalten müssen, um gleichwertige Eigenschaften zu erzielen.

In Europa werden die normalerweise als Ca-Tone vorkommenden Bentonite meist mit Soda in einer der Basenaustauschkapazität entsprechenden Menge (meist um 4% Na_2CO_3) «aktiviert», was zur Erzielung eines befriedigenden Ergebnisses durch Verkneten des mindestens bergfeuchten Bentonits mit der Soda geschehen muß. Die Sodaaktivierung bewirkt eine Feindispersierung des Bentonits, die thermische Beständigkeit wird verbessert (F. HOFMANN, 1959, 1963, 1965) und die Widerstandsfähigkeit gegenüber Sandausdehnungsfehlern, bedingt durch die thermische Quarzsandexpansion erhöht (H. G. LEVELINK, 1958; W. PATTERSON und D. BOENISCH, 1961; F. HOFMANN, 1965). Immerhin ist nicht zu übersehen, daß z. B. in USA in großem Umfang und mit Erfolg auch seit langem nichtaktivierte Ca-Bentonite verwendet werden (Mississippi Southern Bentonites): puffernd und endotherm wirkende Zusatzstoffe und betriebliche Konditionierungsvorgänge (F. HOFMANN, 1966) können nämlich den Einfluß des Bindetons auf bestimmte Fehlererscheinungen stark dämpfen oder völlig ausschalten.

Natürliche Natriumbentonite kommen in technisch ausbeutbaren Mengen praktisch nur in Wyoming und South Dakota vor (Western Bentonites). Diese offenbar durch den Einfluß von Meerwasser mit Na abgesättigten Tone zeichnen sich gegenüber fast allen andern erhältlichen Bentoniten durch eine höhere Dispersität und durch ein erheblich höheres Trockenbindevermögen aus, was besonders in der Stahlgießerei erwünscht ist. Die hohe Trockenfestigkeit von Sanden mit Wyoming-Bentoniten als Bindetone läßt sich durch Sodaaktivierung von Ca-Bentoniten nicht erzielen.

Feuerfeste Bindetone (Kaolinite) werden besonders für die Aufbereitung von Schamotte-Formmassen in der Stahlgießerei verwendet, bei denen anstelle von Quarzsand eine künstliche körnige Grundmasse aus kalzinierendem und anschließend gemahlenem und klassiertem feuerfesten Ton verwendet wird. Nicht selten werden feuerfeste Tone aber auch für synthetische Trockenguß-Sande verwendet.

Die Festigkeit von Formsanden mit feuerfesten Tönen als Bindemittel ist sowohl im verarbeitungsfeuchten («grünen») wie vor allem auch im getrockneten Zustand umso höher, je feiner dispers diese Tone sind. Die besten Qualitäten stammen aus dem Pariserbecken (Provins).

Gewöhnliche, weder bentonitische noch feuerfeste Tone werden nur in geringem Umfang als Bindetone für Gießereisande verwendet, weil das Angebot an guten Bentoniten und an feuerfesten Tönen groß genug ist.

Die gegenüber bentonitgebundenen Formsanden zwangsläufig tonreicheren natürlichen Formsande und die synthetischen Sandmischungen mit entsprechend hohen Gehalten an feuerfestem Bindeton sind weniger wasserempfindlich und gleichzeitig fetter und damit bildsamer. Sie ergeben auch höhere Trockenfestigkeiten, neigen weit weniger zu Quarzexpansionsfehlern und konnten sich deshalb besonders für die Herstellung großer, wesentlich von Hand hergestellter Formen behaupten, die vor dem Gießen getrocknet werden. In der zunehmend mechanisierten und automatisierten Naßgußformerei, in der die Formen im grünen Zustand abgegossen werden, dominieren aber synthetische, bentonitgebundene Sande.

Es wäre ohne weiteres möglich, nichtbentonitische, gewöhnliche oder auch feuerfeste Tone mit guter Bindefähigkeit in synthetischen Naßgußanlagen zu verwenden. Es wäre jedoch im Mittel im Vergleich zu Bentoniten ein etwa doppelt so hoher Verbrauch zu erwarten, was in erster Linie eine Frage der Wirtschaftlich-

keit und der Liefermöglichkeiten ist. Bentonitgebundene Sande haben durchaus nicht nur Vorteile: sie trocknen rascher aus, weil der nötige Zusatz und damit der Wasserbedarf des Sandes gering sind; der geringe Gehalt an Bindeton bedeutet hohen Quarzsandgehalt und damit stets die Gefahr der Entstehung von Quarzausdehnungsfehlern. Daß die höher tonhaltigen natürlichen Formsande in dieser Hinsicht weit narrensicherer waren, ist eine bekannte Tatsache. Synthetische Sande auf der Basis von nichtbentonitischen Tonen könnten verschiedene Vorteile von Bentonitsanden und von natürlich tongebundenen Formsanden sinnvoll kombinieren. Leider ist diese Möglichkeit unter dem großen Angebot von Bentoniten ganz übersehen worden, verdient aber weit mehr Beachtung. Vielleicht kann die vorliegende Arbeit gerade in dieser Hinsicht neue Wege aufzeigen.

Probenauswahl und Probenverzeichnis

Für Gießereizwecke kommen in erster Linie karbonatarme oder -freie Tone mit geringem Sandgehalt in Betracht, die in genügend großer Menge vorkommen und sich gegebenenfalls rationell abbauen lassen. Die wenigen schweizerischen geringmächtigen Bentonitvorkommen, die allenfalls in Mangelzeiten abgebaut werden könnten, wurden für die vorliegende Arbeit nicht mitberücksichtigt. Die Untersuchungen galten in erster Linie den in wesentlich größeren Schichtmächtigkeiten vorkommenden, im Bedarfsfall leicht zugänglichen und abbaubaren Vorkommen, über die meist noch keine Unterlagen über die Eignung als Bindetone vorliegen. Mit in die Arbeit einbezogen wurden einige vulkanogene Tonlagen in Perm und Trias des Südtessins, von denen der Ton von Caslano bereits einmal für Gießereizwecke verwertet wurde.

Folgende Proben wurden ausgewählt:

A. VULKANOGENE TONE IM SÜDTESSIN

In den permischen Ablagerungen von Arosio im Malcantone (Kanton Tessin, vgl. P. GRAETER, 1952) wurden 1965 im Rahmen von Feldbegehungen für sedimentpetrographische Untersuchungen (F. HOFMANN, 1966) bisher nicht beschriebene Vorkommen von vulkanogenen Tonen aufgefunden, die vor allem zum Vergleich mit den Triastonen und wegen der möglicherweise nicht unbeträchtlichen Mächtigkeiten für die vorliegende Arbeit untersucht wurden:

A 1: Grüner Ton, Arosio: Koord. 713100/99880/860. Aufschluß längs Waldsträßchen. Einschluß von reinem grünem Ton in violetterm permischem vulkanischem Tuff, der selbst auch tonig ist.

A 2: Weißer Ton, Arosio: Koord. wie Nr. A 1.
Größere Masse weißen Tons, im Südteil des Aufschlusses.

Aus der Trias des Luganersee-Gebietes wurden folgende Tone untersucht:

A 3: Weißer Ton von Caslano: Die untersuchte Probe stammt aus dem Steinbruch am Seeufer bei P. 273, 700 m SSE Caslano, Kanton Tessin. Koord. 712100/91300. Der Steinbruch liegt in der Basiszone des permo-triadischen Deckgebirges, das das Kristallin des Monte Caslano überlagert. In den basalen Schichten des Mendoladolomits (Anisien) des Monte Caslano ist eine konkordant eingelagerte, weniger als 0,5 m mächtige Schicht eines weißen, vulkanogenen Tons eingelagert, die vom Mai bis Juni 1945 durch die Georg Fischer Aktiengesellschaft, Schaffhausen, auf der W-Seite des Monte Caslano (Schivanoia) zunächst im Tagebau, dann bergmännisch abgebaut und in den Gießereibetrieben in Schaffhausen als Bindeton verwertet wurde.

Das Tonvorkommen war schon lange bekannt (L. LAVIZZARI, 1845, 1849, 1863) und wurde als Smectit abgebaut, wovon noch alte Stollen zeugen. Der Mangel an geeigneten Tonen veranlaßte aufgrund der alten Literaturangaben den Abbau von 1945.

Erste tonmineralogische Untersuchungen führten im Zusammenhang mit dem genannten Abbau S. MAGYAR und A. VON MOOS (1947) durch. Neuere technologische und sedimentpetrographische

Untersuchungen und die Deutung des Vorkommens als vulkanogene Tonlage gab F. HOFMANN (1956). Aus diesen Untersuchungen ging bereits hervor, daß es sich beim Ton von Caslano um einen sehr reinen Illit handelt.

Im Südteil des Steinbruchs SSE Caslano wurde folgendes Detailprofil von oben beobachtet (F. H. 1965, vgl. auch M. REINHARD und A. SPICHER, 1967):

| | | |
|--|------|--------|
| Mendola-Dolomit, unten plattig und z. T. sandig | x | m |
| Weißer, vulkanogener Ton A 3 von Caslano | max. | 0,3 m |
| Plattiger Dolomit, z. T. sandig | | 0,7 m |
| Tonschiefer mit plattigen Dolomitlagen | | 0,7 m |
| Gelber vulkanogener Ton | | 0,01 m |
| Dolomit mit Mergelzwischenlagen | | 0,2 m |
| Dolomit mit dünnen Tonlagen | | 0,25 m |
| Tonschiefer | | 0,3 m |
| Plattige Dolomite mit Mergelzwischenlagen | | 1,5 m |
| Bunte, vorwiegend rote Sandmergel und Sandsteine mit einzelnen dolomitischen Lagen | | 1,2 m |
| Dolomit, sandig | | 0,4 m |
| Rötlichgraue, dünnplattige, feinkörnige Sandsteine, dominierend vulkanogenes Material | | 1,3 m |
| Servino, konglomeratisch-brekkios, rötlich-braun, verrukanoartig, mit einzelnen feinkörnigen, grünlichen Lagen | | 3,0 m |
| Weißer, quarzitischer Sandstein, einzelne tonige Lagen | | 1,4 m |
| Grünliche, glimmerige, wenig zementierte Sandsteine | | 0,7 m |
| Weißer, quarzitische Sandsteine | | 6,0 m |
| Rotbraune, glimmerig-sandige Mergel | | 1,5 m |
| Verrukanoartiges Basiskonglomerat, braunrot | | 0,4 m |
| Dunkelvioletter permischer Porphyrit-Tuff mit grünen Toneinschlüssen | x | m |

A 4: Grauweißer Ton, Mte. S. Giorgio: 10 cm mächtige Tonlage in der Grenzbitumenzone der Trias des Mte. S. Giorgio, Fossilgrabungsstelle des Paläontologischen Institutes der Universität Zürich, Koord. 716512/85537/902 (F. KUHN-SCHNYDER, 1963, H. RIEBER, 1965). Die Schicht Nr. 72 der Grenzbitumenzone besteht aus einer etwa 30 cm dicken Zone bituminöser Schiefer, in die vier Lagen vulkanogener Ton eingelagert sind. Die zweite und die vierte Lage von unten sind nur max. 1 cm mächtig, die erste 2 bis 7 cm. Untersucht wurde die dritte Lage (A 4), die 10 cm mächtig ist. In geringem Abstand unter und über dieser bituminösen Zone kommen weitere, aber nur sehr dünne Lagen vulkanogener Tone, außerdem auch Kristalltufflagen vor (vgl. auch W. MÜLLER, R. SCHMID und P. VOGT, 1964).

B. MESOZOISCHE TONE DES JURAGEBIRGES

Untersucht wurden karbonat- und sandarme Keupertone aus dem Kanton Schaffhausen und vier Proben von Opalinuston, welcher Horizont (Aalénien) wohl das größte zusammenhängende Tonvorkommen der Schweiz darstellt.

B 1: Grüner Keuperton, Schleithelm: Etwa 50 cm mächtige grüne Lage in mehr grauem, ähnlichem Ton, etwa 2 m unter der Basis des Schilfsandsteins. Aufgelassene Grube Hallerberg, NE Schleithelm, Koord. 679360/289580/535.

B 2: Rot-grün gefleckter Keuperton, Hallau: Etwa 2 m mächtiger Tonhorizont, 1967 aufgeschlossen in der Baugrube für ein neues Wasserreservoir NW der Bergkirche Hallau, Koord. 676550/284275/510. Die Probe stammt aus der Zone zwischen Hauptsteinmergel und Schilfsandstein.

Die Opalinustone bilden eine 80 bis 100 m mächtige, eintönige Serie von mergeligen Tonen, die im Tafel- und Faltenjura weit verbreitet ist. Nach oben werden sie im allgemeinen etwas gröber, und es schalten sich häufig Kalkbänkchen und verkalkte fossile Grabspuren ein.

B 3: Opalinuston Seewen SO: Grube der Ziegelei Laufen, Koord. 616900/252100. Grubendurchschnitt. Die Grube ist in einem stark verrutschten Hang angelegt, weshalb der Opalinuston ziemlich zerfallen ist. In einem Horizont sind viele fossile Grabspuren vorhanden, die mit hartem, kalkreicherem Material ausgefüllt sind.

B 4: Opalinuston Belchen: Der Opalinuston wurde im Belchentunnel zweimal durchfahren (von 1690 bis 1980 m und von 2630 bis 2775 m, vom Nordportal gemessen). Er wird von der Ziegelei Hägendorf verwertet. Die untersuchte Probe stammt aus der Halde der Ziegelei.

B 5: Opalinuston Holderbank AG: Tonmehl «Opalit» der Tonwarenfabrik Holderbank, verwendet als Dichtungston, gelegentlich auch von Gießereien bezogen.

B 6: Opalinuston Siblingen SH: Grube Hinter-Pflumm der Ziegelei Paradies, Schlatt TG. 1,5 km NNE der Siblingerhöhe, Koord. 680300/287700/580. Grubendurchschnitt.

C. SIDEROLITHFORMATION (Huppererden und Bolustone)

Vier Proben von sandreichen Huppererden stammen aus den Vorkommen westlich der Aare, zwei Proben sind sandarme Bolustone aus dem Kanton Schaffhausen.

C 1: Huppererde, gelb, Lausen BL: Material, abgebaut von den Tonwerken Lausen AG, Grube S Lausen, Koord. 624300/256350/480–500.

C 2: Huppererde, weiß, Lausen BL: Ausgesprochen weiße Huppererde aus der gleichen Grube wie C 1.

C 3: Huppererde, rot, S Aedermannsdorf SO: Grube, Koord. 613075/238350. Dieses Material wird getrocknet und gemahlen an Gießereien geliefert und als Zusatz, hauptsächlich zu Trockenguß-Sanden, verwendet.

C 4: Huppererde bis Boluston Hornegg-Graben SE Aedermannsdorf SO: Gelbes Material aus Gruben am Nordhang des Schaltenberges. Koord. 613950/238350.

C 5: Boluston, gelb, Beringen SH: Sehr reiner Boluston, abgebaut in der Grube Färberwiesli der Steinzeugfabrik Schaffhausen. Koord. 686680/284000/560. Versuchsweise erfolgreich als Bindeton für Schamotte-Formmassen bei der Georg Fischer Aktiengesellschaft, Schaffhausen, verwendet. Weitere Verwertung für diesen Zweck scheiterte am Fehlen von geeigneten Trocknungs- und Mahlanlagen.

C 6: Boluston, ockergelb, Lohn SH: Grube der Ziegelei Lohn am südwestlichen Dorfrand von Lohn. Koord. 692330/289920/620.

D. MOLASSE UND PLIOZÄN

Karbonatarme oder -freie Tone sind in der Molasse selten und kommen nur in dünnen Lagen vor. Entsprechend gering ist die Verwertungsmöglichkeit der Molassepelite. Untersucht wurde ein Septarienton (Rupélien) von Laufen BE, jedoch mehr aus theoretischem Interesse (Kalkgehalt zu hoch).

Wesentlich attraktiver ist hingegen der zu den pliozänen Vogesensanden zu zählende grau-weiße Ton von Bonfol (Ajoie), der für keramische Zwecke abgebaut wird.

D 1: Septarienton, Laufen BE: Grube «Uf Saal» der Ziegelei Laufen. Koord. 604950/250950/400. Grubendurchschnitt. Im unteren und mittleren Teil der Grube sind die Mergel massig, sehr feinkörnig und sandarm. Im oberen Teil, gegen die kalkigen Sande der «Cyrenenmergel» werden sie sandiger.

D 2: Weiß-grauer Ton, Bonfol: Grube. Koord. 579550/259400/470. Oben in der Grube trifft man rote und graue Tone, vermischt mit Schotter; sie gehen nach unten mit ziemlich scharfer Grenze in gelbe, rote und weiße Tone über. Aus dieser Partie stammt die untersuchte Probe. In einem tieferen Niveau, das gegenwärtig durch Abfalldeponien der Basler Chemischen Industrie zugedeckt ist, befindet sich der weiße Ton, der im Zweiten Weltkrieg durch die AG für Keramische Industrie, Laufen, für feinkeramische Zwecke verwendet wurde (Bericht des Bureaus für Bergbau Nr. 4096-1946 und H. LINIGER und F. HOFMANN, 1965).

E. PLEISTOZÄNE TONE

Untersucht wurden karbonatfreie Vorkommen von Löß- und alluvialen Schwemmlehmen:

- E 1: Lößlehm, Allschwil BL:* Grube der Ziegelei Passavant-Iselin & Cie. AG, Koord. 608150/265800. Im S-Teil der Grube Ost ist über dem Deckenschotter ein 16 m mächtiges Profil mit vier Löß-Schichten und 6 Verlehmungszonen vorhanden. Mehr nach N, etwa in der Mitte der Grube, sind die Löß-Schichten mit Ausnahme der obersten Lage alle verlehmt und z. T. verschwemmt. Das Profil über dem Deckenschotter ist hier nur noch 9 m hoch. Die untersuchte Probe stammt aus einer 2 m mächtigen, karbonatfreien Lößlehmschicht über 4 m Schotter, der seinerseits Septarienton überlagert.
- E 2: Alluvial-Lehm, Bubendorf BL:* Koord. 622500/256050. Dieser Schwemmlehm wird von der Firma Bau- und Industrie-Keramik AG, Lausen, verwertet.
- E 3: Brauner Ton, Neunkirch SH:* Grube Hungerbuck WSW Neunkirch, Koord. 678100/282000/P. 432. Abbau für die Ziegelei Paradies, Schlatt TG. 3 m brauner, völlig entkalkter Ton überlagern glaziale, teilweise entkalkte Sande. Das Vorkommen wurde von F. SCHALCH (1916) als Löß gedeutet. Es handelt sich aber vermutlich um sekundär entkalkten, rißeiszeitlichen Schwemmlehm.

Formstofftechnologische Untersuchungen

Wie bereits aus der Einleitung hervorgeht, hat der Bindeton im Gießereiformsand den Zweck, bei relativ kleinem Gehalt die körnige Masse, den eigentlichen Sand, zu plastifizieren und ihm nach dem Verdichten im Formkasten eine ausreichende Festigkeit zu verleihen und eine gute Reproduktion des Modells zu gewährleisten. Die formtechnischen Eigenschaften des aufbereiteten Sandes und jene der verdichteten Form sind abhängig von der Qualität der Aufbereitung des Formsandes, von Tongehalt und Tonqualität, vom Wassergehalt und vom Verdichtungsgrad (vgl. F. HOFMANN, 1966).

Zur Herstellung der Form wird der tongebundene Formsand mit Wasser plastifiziert, wobei der Sand einen in sehr engen Toleranzen liegenden formgerechten Wassergehalt aufweisen muß. Für die Herstellung der Form und das Abheben des Modells sind die Grünbindeigenschaften des im Sand enthaltenen Tons von Interesse. Das gleiche gilt aber auch für den häufigen Fall, da die Formen im ungetrockneten, «grünen» Zustand abgegossen werden (Naßguß). Die Trockenbindekraft des Tones spielt hingegen in jedem Fall beim Auspacken des Gußstücks aus der Form eine Rolle, da auch bei grün abgegossenen Formen ein Teil des Sandes austrocknet und eine zu hohe Trockenfestigkeit je nach Art der Einrichtung zu Knollenbildung und damit zu Schwierigkeiten führen kann (schlechte Siebbarkeit des Sandes für die Rückgewinnung, Verlust an wertvollem Material, das nicht durch Auspackrüttel-Roste geht).

Von besonderer Bedeutung ist das Trockenbindevermögen natürlich für Trockengußformen.

Im Vordergrund des Interesses bei der Prüfung von Bindetonen stehen deshalb deren Bindeeigenschaften im «grünen», d. h. aufbereitungs- und verarbeitungsfeuchten und im getrockneten Zustand. Dazu werden mit Prüfquarzsanden Testmischungen mit konstantem Tonzusatz und bei gleichbleibenden Aufbereitungsbedingungen hergestellt, wie nachstehend beschrieben.

AUFBEREITUNG DER TESTMISCHUNGEN

Für die Testmischungen zur Prüfung der Tone für die vorliegende Arbeit wurde homogenisierter Prüfquarzsand H 32 aus Haltern, Deutschland, verwendet. Die Tone wurden zwischen 105 und 110 °C im Ofen getrocknet und anschließend in einer Schwingmühle gemahlen (ofengetrocknete Tone sind leichter und feiner mahlbar als nur luftgetrocknete).

Die Testmischungen wurden wie folgt zusammengestellt:

| | |
|----------------------|---------------|
| Prüfquarzsand H 32*) | 2500 g = 100% |
| Ton, getrocknet | 250 g = 10% |

Bei der Prüfung von Bentoniten werden im allgemeinen wegen der höheren Bindefähigkeit nur 5% zugesetzt. Einige entsprechende Vergleiche wurden mit Tonen aus dem Südtessin durchgeführt.

Die Testmischung wird im Labormischer (Kollergangtyp, System Simpson, Bauart Georg Fischer AG, Fig. 1) aufbereitet. Zuerst wird 1 Minute trocken vorgemischt, dann wird das nötige Wasser zugesetzt und anschließend wird 5 Minuten feucht aufbereitet. Normalerweise werden mehrere gleiche Testmischungen, jedoch bei unterschiedlichem Wassergehalt, hergestellt.

AUFBEREITUNGS- UND PRÜFWASSERGEHALT

Bindeton-Testmischungen wie auch Formsande im allgemeinen dürfen nicht bei einem willkürlich festgelegten Wassergehalt geprüft werden. Als magere keramische Massen reagieren feuchte Formsande in ihren Eigenschaften sehr empfindlich auf geringe Unterschiede im Wassergehalt (vgl. z. B. Fig. 3, 6, 7). Der Wasserbedarf, bei dem ein Sand die gewünschten formgerechten Eigenschaften besitzt, ist für verschiedenartige Formsandmischungen individuell verschieden. Irgendwelche Eigenschaftsvergleiche können nur vorgenommen werden, wenn der Befeuchtungsgrad identisch ist.

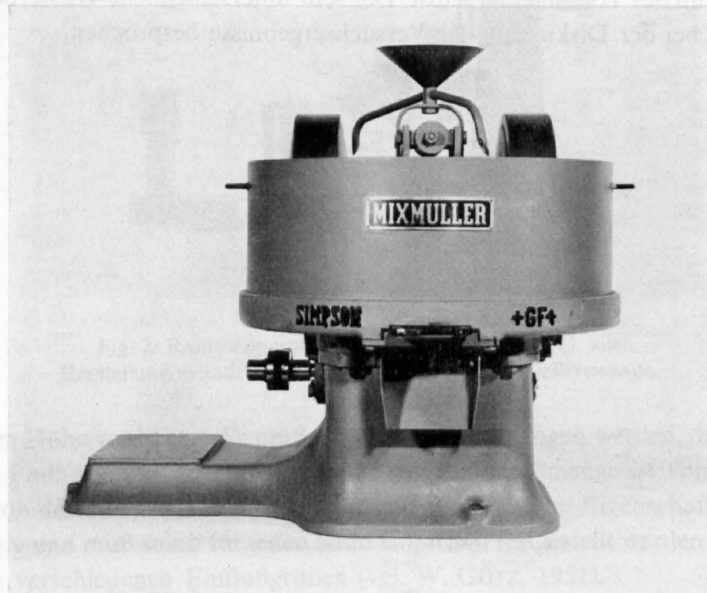


Fig. 1. Laboratoriums-Mischkollergang, System Simpson, Bauart Georg Fischer AG, zur Aufbereitung von Prüfmischungen für Bindetone und von Gießereisandmischungen im allgemeinen.

Als Bezugswassergehalt wurde für die Vergleiche der Eigenschaften der untersuchten Tone für die vorliegende Arbeit gemäß üblicher Praxis der «handformgerechte Wassergehalt» verwendet. Dies ist der Befeuchtungsgrad, auf den ein Handformer einen Formsand einstellt, bei dem der Sand sich weder zu feucht noch zu trocken anfühlt und wie ihn ein erfahrener Laborant ohne weiteres auf $\frac{1}{10}\%$ genau differenzieren kann. Erst in neuerer Zeit wurden Möglichkeiten gefunden, die etwas subjektive Handprobe durch experimentelle Verfahren zu ersetzen: Je trockener der Sand ist, umso leichter läßt er sich sieben. Diese Siebbarkeit kann in einem rotierenden Trommelsieb bestimmt werden und wird «Moldability» (Formbarkeit) genannt (H. W. DIETERT, A. L. GRAHAM, R. T. DAKSIEWICZ und T. H. HANNA, 1962).

*) Quarzwerke Köln.

Der nach 10 Sekunden auf dem Drehsieb mit $\frac{1}{8}$ " lichter Maschenweite verbleibende prozentuale Sandanteil wird Moldability-Index genannt; bei sehr trockenem Sand, der ganz durch das Sieb fällt, ist er 100%. Handformgerechter Befeuchtungsgrad, bestimmt im Labor der Georg Fischer Aktiengesellschaft, entspricht einem Moldability-Index von 80%.

Bei gleichem Befeuchtungsgrad haben Formsande, unter konstanten Bedingungen lose gesiebt, auch ein gleiches Schüttgewicht, unabhängig von Wasserbedarf, Tonart und Tongehalt. Die Folge davon ist auch eine gleiche Verdichtbarkeit. Die Bestimmung der Verdichtbarkeit (prozentuale Höhenabnahme beim Verdichten lose geschütteten Formsandes durch Pressen mit einer Kraft von 10 kg/cm^2 von 100 mm Ausgangshöhe; F. HOFMANN, 1969) ergibt eine neuartige, sehr genau reproduzierbare und über einen beliebigen Feuchtigkeitsbereich anwendbare Methode, den Befeuchtungsgrad experimentell zu bestimmen. Handformgerechte Befeuchtung entspricht einer Verdichtbarkeit (Höhenabnahme) von 45%. Die Verdichtbarkeitsmessung hat gegenüber der Schüttgewichtsbestimmung den Vorteil, als rein volumetrisches Verfahren vom durchschnittlichen (scheinbaren) spezifischen Gewicht des Sandes unabhängig zu sein.

Der Wasserbedarf eines Sandes hängt von verschiedenen Faktoren ab:

Eine wichtige Einflußgröße ist die Sandbasis selbst, hauptsächlich deren Kornstruktur. Poröse Körner unausgereifter Sande erhöhen den Wasserbedarf. Für die vorliegenden Untersuchungen wurde ein vorwiegend aus monokristallinen Quarzkörnern bestehender, gewaschener, reiner Prüfsand H 32 verwendet. Der Einfluß der Sandbasis war somit konstant und vernachlässigbar klein.

Eine weitere wichtige Einflußgröße ist der Bindeton. Mit steigendem Tongehalt steigt naturgemäß der Wassergehalt. Für Testmischungen mit gleichbleibendem Tongehalt ist auch dieser Einfluß konstant, und es bleibt nur noch der Einfluß des Tonminerals selbst. Der sehr unterschiedliche Wasserbedarf der verschiedenen untersuchten Tone wird bei der Diskussion der Versuchsergebnisse besprochen.

PRÜFUNG DER BINDEFÄHIGKEIT

Die Bindefähigkeit im verarbeitungsfeuchten und im getrockneten Zustand ist die wichtigste Information, die für die Beurteilung der Eignung eines Bindetons für Formsandzwecke benötigt wird. Die Bindekraft des Tons äußert sich in den Festigkeitseigenschaften des verdichteten Sandes. Da die Festigkeiten eines Sandes aber auch in entscheidendem Maße vom Verdichtungsgrad des Sandes abhängen, muß unter konstanten Bedingungen verdichtet werden.

Bei der Standard-Prüfung wird der Sand mit dem Rammapparat (Fig. 2) durch dreimaliges Fallenlassen eines Rammgewichts von 6666 g über eine Fallhöhe von 5 cm zu einem zylindrischen Prüfkörper von 50 mm

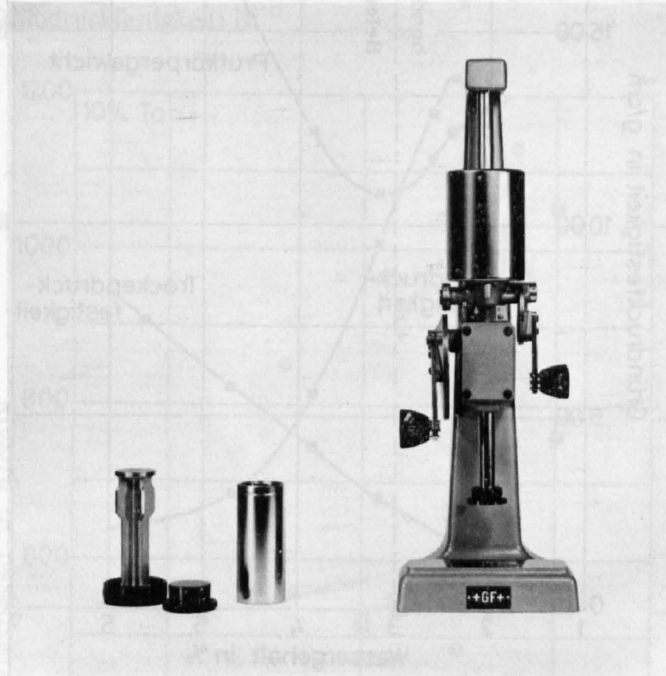


Fig. 2. Rammapparat, Bauart Georg Fischer AG, zur Herstellung zylindrischer Normprüfkörper für Gießereisande.

Durchmesser und 50 mm Höhe verdichtet. Es muß so viel Sand eingewogen werden, daß nach den drei Rammschlägen die konstante Endhöhe von 50 mm resultiert. Die Einwaagemenge ist vom Wassergehalt, von der Körnung des Sandes, von dessen spezifischem Gewicht und von weiteren Eigenschaften, die die Verdichtbarkeit bestimmen, abhängig und muß somit für jeden Sand empirisch festgestellt werden. Das Prüfkörpergewicht selbst widerspiegelt die verschiedenen Einflußgrößen (vgl. W. GÖTZ, 1951).

Am so verdichteten Prüfkörper werden die Festigkeitseigenschaften bestimmt. Für die Charakterisierung der Bindefähigkeit genügt im allgemeinen die Druckfestigkeitsmessung.

In Abhängigkeit vom Wassergehalt zeigen tongebundene Sande, zum Normprüfkörper wie beschrieben verdichtet, charakteristische Prüfkörpergewichts- und Festigkeitskurven. Ein typisches Beispiel gibt Fig. 3,

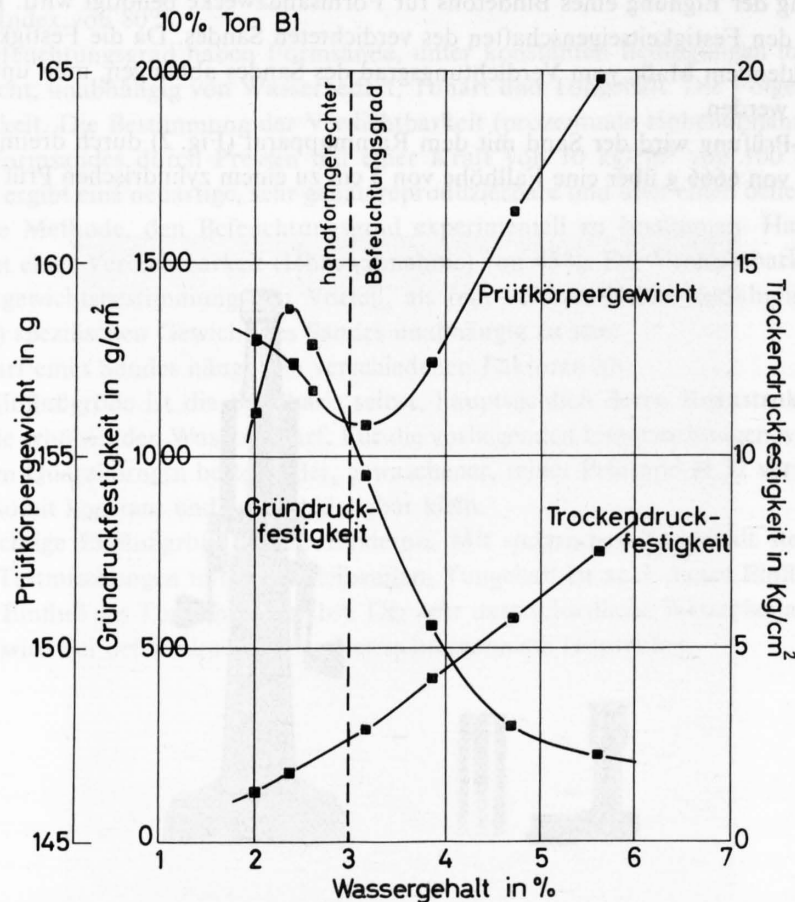


Fig. 3. Abhängigkeit von Prüfkörpergewicht, Grün- und Trockendruckfestigkeit vom Aufbereitungswassergehalt bei einer Prüfmischung aus Quarzsand H 32 mit 10% Ton B 1 (Keuper, Schleithem).

das eine 10prozentige Testmischung mit dem Ton Nr. B 1 aus dem Keuper von Schleithem charakterisiert. Das Prüfkörpergewicht zeigt ein Minimum auf der trockenen Seite des handformgerechten Befeuchtungsgrades, was aber nur für rein tongebundene Sande mit monokristalliner Quarzsandbasis und ohne weitere Zusätze gilt. Das Gründruckfestigkeitsmaximum liegt stets auf der trockenen Seite des handformgerechten Wassergehalts. Die Trockenfestigkeit steigt – im Gegensatz zur Grünfestigkeit – mit steigendem Wassergehalt stark an.

VERSUCHSERGEBNISSE

Die wichtigsten sedimentpetrographischen und technologischen Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Sie werden nachfolgend im einzelnen diskutiert:

Wasserbedarf und Bindefähigkeit im grünen Zustand

In Fig. 4 sind die Grunddruckfestigkeitswerte der untersuchten Tone bei 10% Zusatz zu den Testmischungen und bei handformgerechtem Wassergehalt graphisch dargestellt. Aus dem Diagramm geht hervor, daß der Wasserbedarf für den handformgerechten Befeuchtungsgrad umso größer ist, je höher die Bindefähigkeit (ausgedrückt durch die Grunddruckfestigkeit) ist.

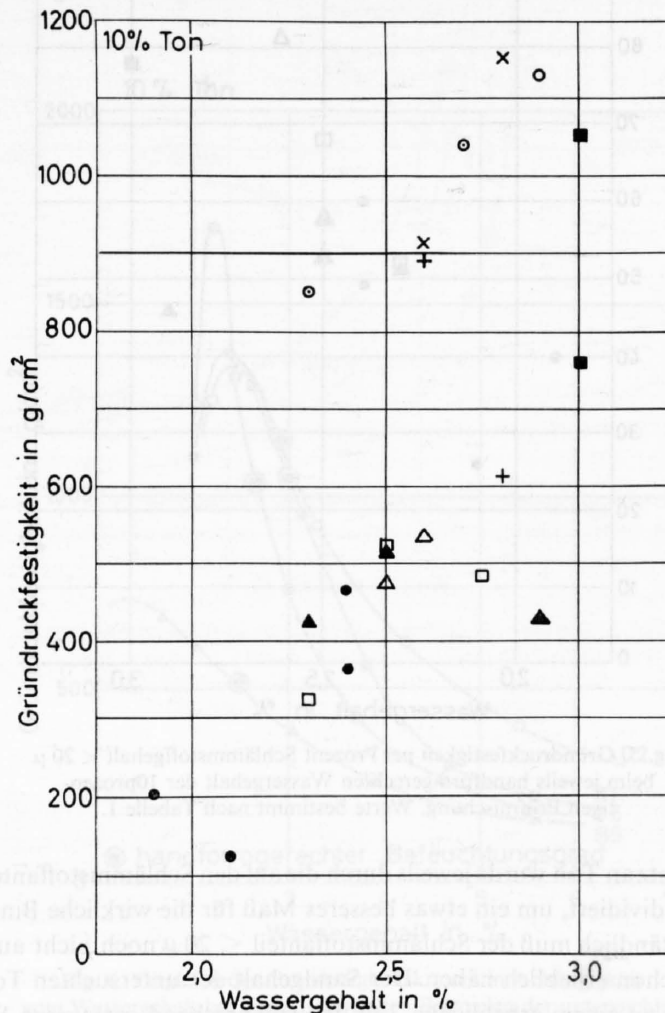


Fig. 4. Grunddruckfestigkeitswerte in Beziehung zum jeweiligen handformgerechten Wassergehalt der Prüfmischungen der untersuchten Bindetone. Testmischungen aus Prüfquarzsand H 32 mit je 10% Tonzusatz.

Die Bolustone aus dem Kanton Schaffhausen, drei Tessiner Tone, insbesondere jener von Caslano, der grüne Keuperton von Schleithelm und der weiße Ton von Bonfol bilden eine deutlich sich abhebende Gruppe besonders hoher Bindefähigkeit, deren Wasserbedarf gegenüber allen andern Tönen im Vergleich zur Bindefähigkeit geringer ist.

Die Opalinustone erreichen nur mäßige Bindefähigkeiten, wie auch die quartären Tone. Die Huppererden und sandigen Bolustone westlich der Aare sind den sandarmen Bolustonen von Schaffhausen weit unterlegen und ergeben nur mittelmäßige bis sehr geringe Festigkeiten.

In Fig. 5 wurde die Grunddruckfestigkeit als Maß für das Bindevermögen nur auf den Schlämmstoffgehalt unter $20\ \mu$ des jeweiligen Tons bezogen, also ohne Sand, der zur Bindung nicht beiträgt. Die jeweilige Grün-

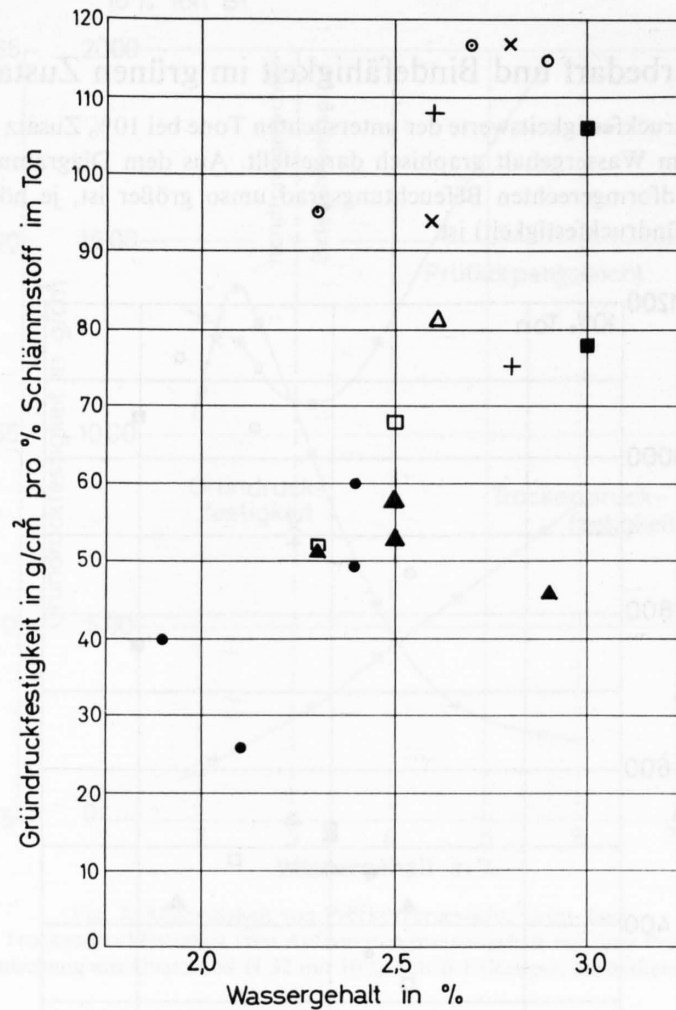


Fig. 5. Grunddruckfestigkeit per Prozent Schlammstoffgehalt $< 20\ \mu$ beim jeweils handformgerechten Wassergehalt der 10prozentigen Prüfmischung. Werte bestimmt nach Tabelle 1.

druckfestigkeit bei 10% Zusatz an Ton wurde jeweils durch die auf den Schlammstoffanteil $< 20\ \mu$ des jeweiligen Tons entfallenden Prozente dividiert, um ein etwas besseres Maß für die wirkliche Bindekraft des enthaltenen Tons zu erhalten. Selbstverständlich muß der Schlammstoffanteil $< 20\ \mu$ noch nicht aus reinem Ton bestehen, kommt aber diesem Wert schon erheblich näher. Der Sandgehalt der untersuchten Tone reduziert den effektiven Tongehalt und erklärt zu einem erheblichen Teil den entsprechend geringeren Wasserbedarf; dieser ist aber auch vom Tonmineral selbst noch abhängig.

Fig. 5 verschiebt das aus Fig. 4 gewonnene Bild nicht grundsätzlich. Verschlechtert wird jedoch insbesondere die Position der nicht sehr sandreichen Opalinustone, deren Bindekraft somit in jeder Hinsicht als eher bescheiden bewertet werden muß. Auffällig ist dabei der erhöhte Wasserbedarf des Opalinustons vom Belchen.

Erstaunlich hoch ist die Bindekraft des karbonatreichen und somit relativ tonarmen Septarientons von Laufen. Um diesen Befund näher zu überprüfen, wurde ein fetter Septarienton aus dem Bett der Sorne SW Delsberg (Koord. 592360/245180) sandfrei geschlämmt und anschließend mit verdünnter Ameisensäure entkalkt, ausgewaschen, filtriert, getrocknet und gemahlen, womit ein gereinigter angereicherter Septarienton erhalten wurde. Dieses Material ergab bei 10% Zusatz und einem formgerechten Wassergehalt von 2,8% eine Gründruckfestigkeit von 1100 g/cm² und eine Trockendruckfestigkeit von 6,1 kg/cm², also ausgesprochen hohe Werte. Leider ist beim fetten Septarienton immer mit hohen Karbonatgehalten zu rechnen.

Fig. 6 gibt einen Vergleich der Gründruckfestigkeitskurven in Funktion des Wassergehaltes für einige ausgewählte typische Beispiele der untersuchten Tone. Je höher die Bindefähigkeit ist, umso größer ist auch die Wasserempfindlichkeit. Dies ist besonders ausgeprägt der Fall beim Boluston C 5 vom Färberwiesle-Beringen, dessen Festigkeitsmaximum überraschend hoch liegt.

Bei extrem hohen Wassergehalten streben die Kurven zusammen. Stabilisierend wirkt sehr hohe Dispersität (Bonfol).

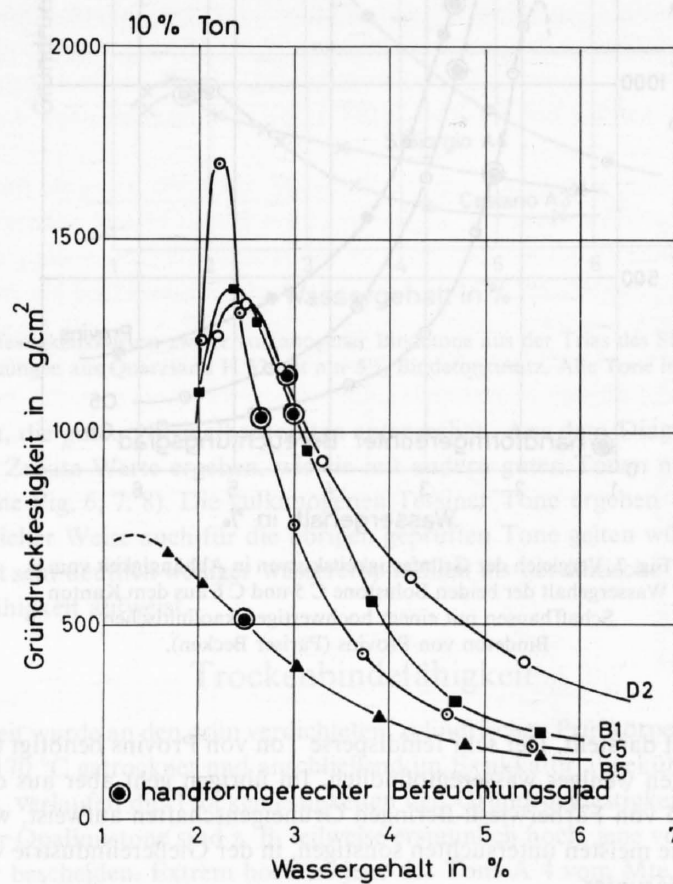


Fig. 6. Vergleich der Grünfestigkeitskurven in Abhängigkeit vom Wassergehalt bei vier ausgewählten Beispielen der untersuchten Tone.

In Fig. 7 wurden die beiden Bolustone aus dem Kanton Schaffhausen mit einem feuerfesten Ton von Provins aus dem Pariserbecken verglichen, welches als Material für Gießereizwecke verwendet wird und eine aus-

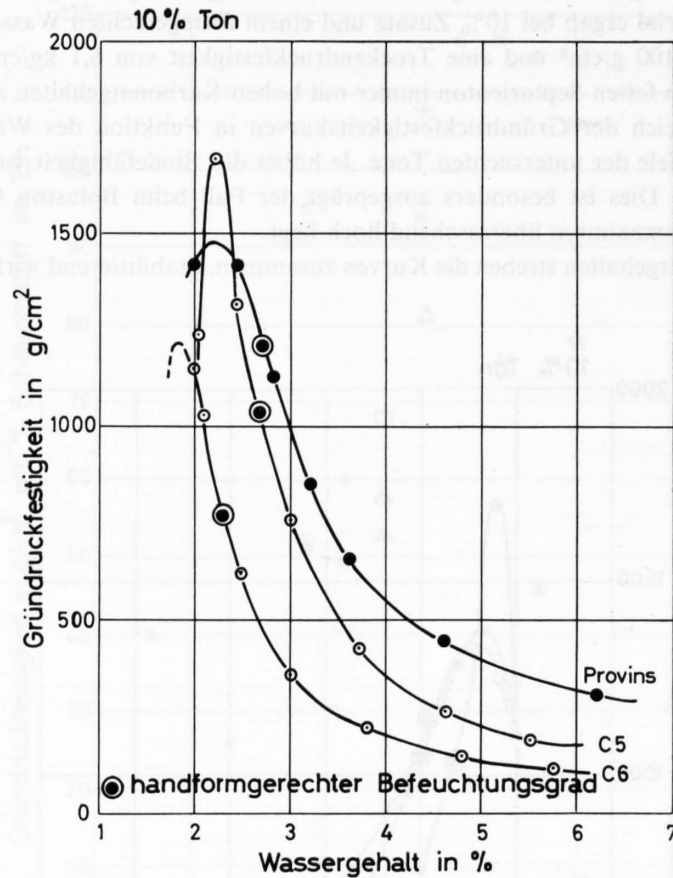


Fig. 7. Vergleich der Grünfestigkeitskurven in Abhängigkeit vom Wassergehalt der beiden Bolustone C 5 und C 6 aus dem Kanton Schaffhausen mit einem hochwertigen kaolinitischen Bindeton von Provins (Pariser Becken).

gesprochene Spitzenqualität darstellt. Der sehr feindisperse Ton von Provins benötigt etwas mehr Wasser und ist bei hohen Wassergehalten weniger wasserempfindlich. Im übrigen geht aber aus dem Diagramm hervor, daß besonders der Ton C 5 von Färberwiesli-Beringen Grüneigenschaften aufweist, wie sie sehr guten feuerfesten Tonen eigen sind. Die meisten untersuchten sonstigen, in der Gießereiindustrie verwendeten feuerfesten Bindetone liegen deutlich darunter.

Fig. 8 vergleicht die Bindeeigenschaften der beiden Triastone aus dem Südtessin mit jenen des Bentonits von Bischofszell (vgl. auch F. HOFMANN, 1956), aber bei nur 5% Zusatz. Der Bentonit von Bischofszell

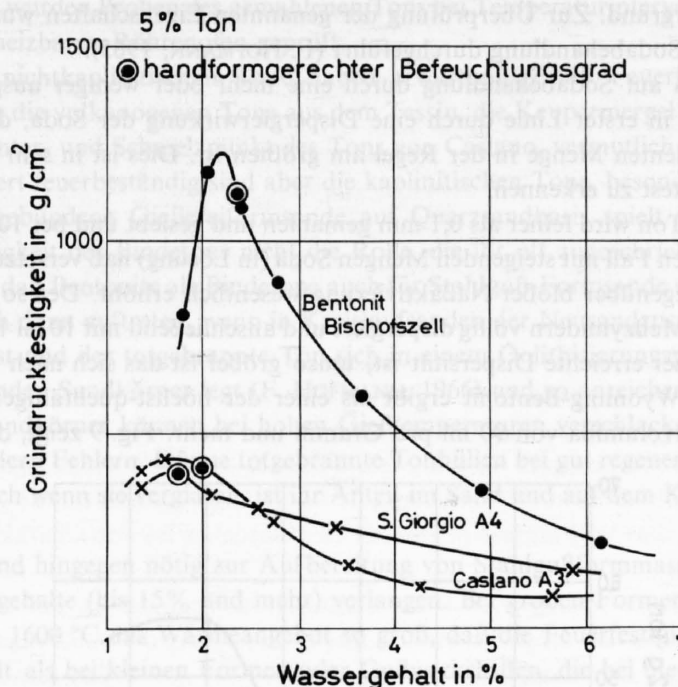


Fig. 8. Vergleich der Grünfestigkeitskurven zweier vulkanogener Bindetone aus der Trias des Südtessins mit jener des Bentonits von Bischofszell. Prüfmischungen aus Quarzsand H 32 mit nur 5% Bindetonzusatz. Alle Tone im Naturzustand (nicht aktiviert).

ergibt Grünfestigkeiten, die guten Normalbentoniten entsprechen. Aus dem Diagramm geht deutlich hervor, daß Bentonite bei 5% Zusatz Werte ergeben, wie sie mit andern guten Tönen nur bei 10% Zusatz erreicht werden (vgl. Diagramme Fig. 6, 7, 8). Die vulkanogenen Tessiner Töne ergeben bei 5% Zusatz nur bescheidene Werte, was in gleicher Weise auch für die übrigen geprüften Töne gelten würde. Der Mixed-Layer-Ton vom Mte. S. Giorgio ist sehr deutlich weniger wasserempfindlich als der illitische Ton von Caslano, der keine innerkristalline Quellfähigkeit aufweist.

Trockenbindefähigkeit

Die Trockenfestigkeit wurde an den grün verdichteten, zylindrischen Prüfkörpern bestimmt, nachdem diese im Ofen 1 Stunde bei 170 °C getrocknet und anschließend im Exsikkator abgekühlt worden waren.

Wie Tabelle 1 zeigt, verlaufen die Trockenfestigkeiten den Gründruckfestigkeiten nicht proportional. Die Trockenfestigkeiten der Opalinustone sind z. B. teilweise erstaunlich hoch, jene von Tönen hoher Grünbindefähigkeit teilweise eher bescheiden. Extrem hoch ist jene des Tons A 4 vom Mte. S. Giorgio. Sie liegt in der Nähe der nur bei Wyoming-Bentoniten beobachteten Spitzenwerte. Überdurchschnittlich hoch ist auch der Wert des Septarientons D 1 von Laufen, trotzdem er nur etwa 50% Schlammstoff (exkl. Sand und Karbonat) enthält. Die zum Vergleich geprüfte, geschlämmte und entkalkte Septarientonprobe von der Sorne SW Delsberg ergab 6,1 kg/cm², also einen dem Befund von Laufen entsprechenden, hohen Wert. Festzuhalten ist die Tatsache, daß die Töne A 4, S. Giorgio, und D 1, Laufen, in marinem Milieu abgelagert wurden und gleichzeitig erheblich montmorillonithaltig sind und daß auch der natürliche Na-Bentonit von Wyoming aus vulkanischer bentonitischer Asche hervorging, die im Meer sedimentierte (vgl. E. M. W. KNECHTEL und S. H. PATTERSON, 1962).

Von besonderem Interesse sind die Werte der Bolustone aus dem Kanton Schaffhausen. Der Ton von Färberwiesli ergibt einen relativ guten Wert von 3,8 kg/cm², der über dem Durchschnitt gewöhnlicher feuerfester Bindetone liegt, aber die hohen Werte von 5 bis 6 kg/cm² bei 10% Zusatz, wie sie bei den feuerfesten Tönen von Provins aus dem Pariserbecken beobachtet werden, nicht erreicht. Immerhin kann der Ton von Färberwiesli auch von diesem Gesichtspunkt her als gutes Material angesprochen werden.

Aktivierbarkeit und Quellvermögen

Die Quellfähigkeit und die Reaktion auf Soda-Aktivierung stehen bei den untersuchten Tönen als Nicht-Bentonite nicht im Vordergrund. Zur Überprüfung der genannten Eigenschaften wurden an einigen Proben Sedimentationstests nach Sodabehandlung durchgeführt (F. HOFMANN, 1965).

Ca-Bentonite reagieren auf Sodabehandlung durch eine mehr oder weniger ausgeprägte Erhöhung der Quellfähigkeit, verursacht in erster Linie durch eine Dispergierwirkung der Soda, die bei einer der Basenaustauschfähigkeit äquivalenten Menge in der Regel am größten ist. Dies ist in sehr aufschlußreicher Weise durch den Sedimentationstest zu erkennen.

Der zu untersuchende Ton wird feiner als 0,1 mm gemahlen und gesiebt und bei 105 °C getrocknet. Je 2 g wurden für den vorliegenden Fall mit steigenden Mengen Soda (in Lösung) naß versetzt und wieder getrocknet, was die Sprengwirkung gegenüber bloßer Naßaktivierung wesentlich erhöht. Der so behandelte Ton wurde in 90 ml Wasser in 100-ml-Meßzylindern völlig dispergiert und anschließend mit 10 ml 1 m-NH₄Cl-Lösung ausgeflockt. Je höher die vorher erreichte Dispersität ist, umso größer ist das sich nach 1 bis 2 Tagen stabilisierende Sedimentvolumen. Wyoming-Bentonit ergibt als einer der höchst-quellfähigen Bentonite auch ohne Sodabehandlung Sedimentvolumina von 90 ml pro Gramm und mehr. Fig. 9 zeigt, daß der schwer aktivier-

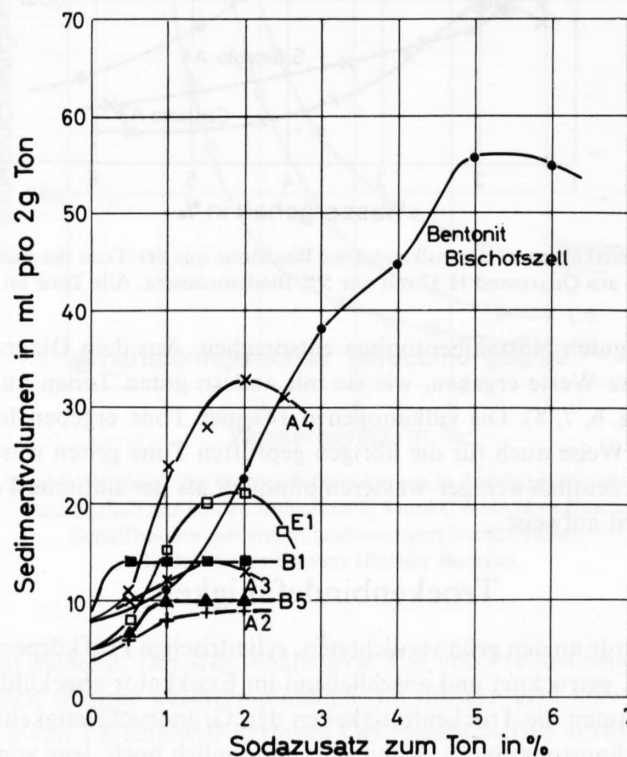


Fig. 9. Einfluß steigenden Sodazusatzes auf das Sedimentvolumen bei 6 Beispielen der untersuchten Töne. Vergleich mit dem Verhalten des Bentonits von Bischofszell. Nachweis der Aktivierbarkeit mit Soda. Ausflocktest mit NH₄Cl.

bare Bentonit von Bischofszell unter den gewählten Versuchsbedingungen bei 5% Soda ein maximales Sedimentvolumen von gut 55 ml pro 2 g ergibt, was in der Tat dem Sodabedarf zu seiner optimalen Aktivierung entspricht. Der gleiche Wert von 5% Soda wird auch mit andern Verfahren ermittelt. Vergleichsweise ergeben die ausgewählten Proben aus dem Versuchsprogramm für die vorliegende Arbeit wesentlich geringere Werte. Deutlich auf Sodaaktivierung sprechen die montmorillonithaltigen Proben A 4 (Mixed-Layer) S. Giorgio und E 1 Allschwil (sandfrei ausgewaschen) an. Für beide Töne ergibt sich aus dem Sodabedarf zur optimalen Dispergierung ein Montmorillonitgehalt von etwa 40 bis 50%, was nicht schlecht mit den Ergebnissen der tonmineralogischen Untersuchungen übereinstimmt.

Die übrigen untersuchten Proben reagieren nur wenig auf Sodabehandlung. – Es ist möglich, daß z. B. bei humussäurehaltigen Proben ein Teil der Soda zur reinen Neutralisation verbraucht wird.

Feuerfestigkeit

An einigen interessierenden Proben wurden die Temperatur der beginnenden Sinterung und der Schmelzpunkt bestimmt. Dazu wurden Proben des gemahlenen Tons bei Temperaturintervallen von 50 °C je 5 Minuten in einem bis 1500 °C heizbaren Röhrenofen geprüft.

Die untersuchten nichtkaolinitischen Tone haben erwartungsgemäß Feuerfestigkeitseigenschaften wie Bentonite. Dies gilt für die vulkanogenen Tone aus dem Tessin, die Keupermergel und die Opalinustone. Auffallend niedrig sind Sinter- und Schmelzpunkt des Tons von Caslano, vermutlich wegen seines hohen Alkali-gehaltes. Bemerkenswert feuerbeständig sind aber die kaolinitischen Tone, besonders C 5.

Für normale, tongebundene Gießereiformsande auf Quarzsandbasis spielt wegen ihres geringen Ton-gehaltes die Feuerfestigkeit des Bindetons nicht die Rolle, die ihr oft zugeschrieben wird. Der beste Beweis dafür ist die Tatsache, daß Bentonite als Bindetone auch für Stahlguß-Formsande verwendbar sind. Schwierig-keiten können lediglich dann auftreten, wenn in Kreislaufsanden der Neusandzusatz im Verhältnis zum Neu-Tonzusatz zu gering ist und der totgebrannte Ton sich in einem Oolithisierungsprozeß konzentrisch um die stets wieder zirkulierenden Sandkörner legt (F. HOFMANN, 1966) und so anreichert. Dicke Hüllen nichtfeuer-festen Tons um die Sandkörner können bei hohen Gießtemperaturen verschlacken und führen zu Anbrenn-erscheinungen und andern Fehlern. Dünne totgebrannte Tonhüllen bei gut regenerierten Kreislaufsanden sind hingegen harmlos. Auch wenn sie verglasen, ist ihr Anteil im Sand und auf dem Korn für die Entstehung von Fehlern zu klein.

Feuerfeste Tone sind hingegen nötig zur Aufbereitung von Stahlgußformmassen auf Schamottebasis, die relativ hohe Bindetongehalte (bis 15% und mehr) verlangen. Bei großen Formen aus Schamotte ist bei den Gießtemperaturen um 1600 °C das Wärmeangebot so groß, daß die Feuerfestigkeit der Formstoffe eine be-deutendere Rolle spielt als bei kleinen Formen oder Gußwerkstoffen, die bei niedrigeren Temperaturen ver-gossen werden. Praktische Versuche über längere Perioden haben erwiesen, daß z. B. der Boluston C 5 vom Färberwiesli auch für große Stahlguß-Schamotteformen ausreichend feuerfest war und zu keinerlei Schwierig-keiten führte. Auch der Ton von Bonfol wäre für Stahlgußzwecke in vielen Fällen feuerfest genug. Natürlich wären aber diese relativ feuerfesten Tone auch für Trockengußformen und gegebenenfalls für Naßguß ver-wendbar, auch wenn die Ansprüche an die Feuerfestigkeit weniger hoch wären.

Am höchsten ist offensichtlich die Feuerbeständigkeit der weißen, eisenarmen Huppererde von Lausen, die aber als Bindeton nicht in Frage kommt. Der stark eisenhaltige Boluston von Aedermannsdorf ist weniger feuerfest, wird aber mit Erfolg als Tonspender für Grauguß-Sande verwendet.

Kalkgehalt

Ein mäßiger Kalkgehalt im Bindeton schadet nach langjährigen praktischen Erfahrungen nicht. Zu hoher Karbonatgehalt könnte in kritischen Fällen bei der CO₂-Abspaltung unter hohem Wärmeangebot möglicher-weise zu Gasblasen und ähnlichen Gußfehlern führen. Zuviel Kalk im Ton geht wie auch zuviel Sand auf Kosten der wirksamen Tonsubstanz, was eine zunächst vorwiegend wirtschaftliche Frage ist.

Der beim Gießen in gußnahen Partien gebrannte Kalk wird beim Wiederaufbereiten in Kalziumhydroxyd verwandelt, das als Puffer gegen die in kohlenstaubhaltigen Sanden entwickelten SO₂-Gase wirkt und somit einen eher positiven Effekt hat.

10% Kalk (oder Dolomit) im Bindeton können durchaus noch toleriert werden. Die Septarientone mit 30 bis 35% Karbonat liegen aber entschieden zu hoch. Oberflächlich entkalkte Lagerstätten scheinen bei diesen an sich interessanten Tönen zu fehlen.

ZUSAMMENFASSENDE TECHNOLOGISCHE BEURTEILUNG

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß in der Schweiz sehr gute Bindetone vorkommen und daß solche Formstoffe durchaus nicht nur unter den vulkanogenen Lagen im Südtessin zu suchen sind. Besonders große Reserven bieten der Keuper und die Bolustonlagerstätten, während die Molasse wegen zu hohen Karbonatgehaltes nur geringe Aussichten bietet.

Keupertonvorkommen mit geringem Sand- und Karbonatgehalt könnten in der Trias der Nordschweiz mit relativ geringem Aufwand in kurzer Zeit ausfindig gemacht werden.

Gute fette Bolustone kommen nur im Kanton Schaffhausen in größeren Lagerstätten vor. Die untersuchten Vorkommen aus den westlicheren Juragebieten sind wesentlich sandiger und von bestenfalls mittelmäßiger, meist geringerer Qualität als Bindetone. Die größten Schaffhauser Vorkommen liegen auf dem Reiat. Der untersuchte Ton C 6 ist eine Qualität, die den Durchschnitt einer gegenwärtig für grobkeramische Zwecke ausgebeuteten Grube darstellt. Es könnten bei Bedarf noch reinere Qualitäten aufgeschlossen werden, ähnlich dem hochwertigen Ton C 5 vom Färberwiesli. Weitere Lagerstätten befinden sich vermutlich in den alten Bohnerzgebieten auf dem Klettgauerrücken (Lauerberg – Wannenberg – Roßberg). Die Schaffhauser Bolustone erreichen ohne weiteres Qualitäten, die sich als feuerfeste Tone für Stahlgußzwecke eignen.

Auch der Ton von Bonfol hat nicht nur eine sehr gute Bindefähigkeit, sondern ist darüber hinaus noch so feuerfest wie die Bolustone. Das Vorkommen hat jedoch ausgesprochen lokalen Charakter, aber eine durchaus wirtschaftliche Ausdehnung.

Gegenüber diesen, durch die vorliegenden Untersuchungen nachgewiesenen guten und in großer Menge vorkommenden Bindetonen tritt die mögliche wirtschaftliche Bedeutung der vulkanogenen Südtessiner Tone, die nur in sehr dünnen Lagen auftreten, und die bergmännisch im Stollenbau gewonnen werden müßten, deutlich in den Hintergrund.

Alle genannten Tone könnten als Bindetone für Formsande in Frage kommen. Gegenüber Bentoniten wäre ein rund doppelt so hoher Zusatz nötig, um gleichartige Eigenschaften zu erzielen. Die Opalinustone sind demgegenüber weniger attraktiv. Allein verwendet, wären wegen der geringen Bindefähigkeit sehr hohe Zusätze nötig, um ausreichende Grünwerte zu erlangen (Fig. 10). Positiv ist die teilweise gute Trockenfestigkeit zu

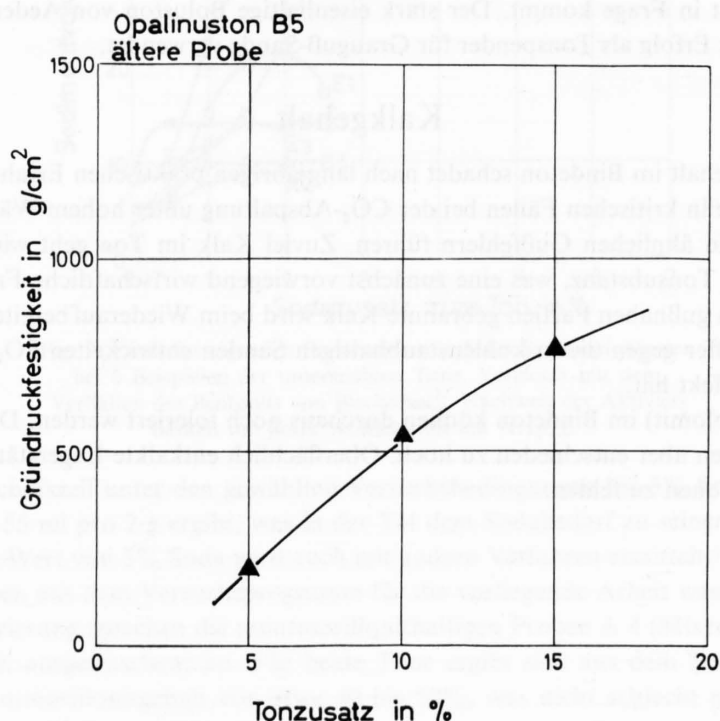


Fig. 10. Grünbindevermögen von Opalinuston. Einfluß steigenden Tonzusatzes auf die Gründruckfestigkeit bei handformgerechtem Befeuchtungsgrad.

bewerten. Als Puffermaterial verwendet, könnten Opalinustone zur Reduktion der Wasserempfindlichkeit von Sanden verwendet und allenfalls mit hochwertigeren Tonen verschnitten werden. Sie kommen besonders für Trockenguß in Betracht.

Von nur geringem Interesse erscheinen die pleistozänen Tone. Auf sie wäre nur in ausgesprochenen Notfällen zurückzugreifen.

Wenn nötig, kann aufgrund der vorliegenden Befunde der Bedarf an Bindetonen ohne weiteres gedeckt werden. Viele Qualitäten erreichen Eigenschaften, die ohne weiteres einen Vergleich mit jetzt importiertem Bindetonmaterial für Trockenguß, sogar für feuerfeste Formmassen, standhalten. Es wäre aber auch möglich, mit den gefundenen guten Sorten Naßguß-Sande aufzubereiten.

Hauptvoraussetzung für eine praktische Verwertung der in Frage kommenden Tone wären Trocknungs- und Mahlanlagen. Die Tone, besonders die Bolusarten, müssen feingemahlen werden, damit sie leicht in den Sand einzuarbeiten und gut aufzuschließen sind. Die Mahlfeinheit sollte unter 0,1 mm liegen; noch besser ist Windsichtung.

Tabelle 1

Sedimentpetrographische und technologische Daten der untersuchten Proben

Die mechanisch-physikalischen Eigenschaftswerte entsprechen jenen von Testmischungen aus Prüfquarzsand H 32 mit 10% Rohtonzusatz bei handformgerechtem Befeuchtungsgrad, entsprechend dem jeweilig angegebenen Wassergehalt in Prozent.

| Nr. | Bezeichnung | Herkunft | Strat. Stufe | Sand- gehalt | Karbonat % | Wasser- gehalt | Prüf- körper- gewicht | Grün- druck- festig- keit | Grün- druck- festig- keit | Trocken- druck- festig- keit | Sinter- punkt | Schmelz- punkt |
|-------|----------------------|----------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------|-------------------|
| | | | | % | K ¹⁾ | D ¹⁾ | % | g | g/cm ² | kg/cm ² | °C | °C |
| + A 1 | grüner Ton | Arosio | Perm | 17,8 | — | — | 2,6 | 154,8 | 890 | 108 | 2,9 | |
| + A 2 | weißer Ton | Arosio | Perm | 19,0 | — | — | 2,8 | 154,3 | 610 | 75 | 4,2 | |
| × A 3 | weißer Ton | Caslano | Anis | 2,2 | — | — | 2,8 | 156,0 | 1150 | 117 | 3,0 | 950 |
| × A 4 | weiß-grau-gelber Ton | S. Giorgio | Anis-Ladin | 3,5 | — | — | 2,6 | 157,9 | 910 | 94 | 8,0 | 1150 |
| ■ B 1 | grüner Ton | Schleitheim | Keuper | 1,6 | — | 3 | 3,0 | 155,8 | 1050 | 106 | 2,6 | 1250 |
| ■ B 2 | grün/violetter Ton | Hallau | Keuper | 2,5 | — | — | 3,0 | 155,1 | 760 | 78 | 3,0 | 1200 |
| ▲ B 3 | Opalinuston | Seewen | Aalénien | 11,5 | 5 | 5 | 2,5 | 156,3 | 470 | 53 | 2,7 | |
| ▲ B 4 | Opalinuston | Belchen | Aalénien | 8,5 | 8 | 3 | 2,9 | 154,9 | 425 | 46 | 4,1 | |
| ▲ B 5 | Opalinuston «Opalit» | Holderbank | Aalénien | 8,5 | 10 | 3 | 2,5 | 157,1 | 520 | 58 | 4,0 | |
| ▲ B 6 | Opalinuston | Sibingen | Aalénien | 17,3 | 7 | 2 | 2,3 | 151,2 | 420 | 51 | 2,8 | 1100 |
| ● C 1 | Hupper, gelb | Lausen | Siderolithikum ± Eozän | 50,0 | 2 | — | 2,1 | 151,0 | 120 | 26 | 1,6 | |
| ● C 2 | Hupper, weiß | Lausen | Siderolithikum ± Eozän | 50,0 | — | — | 1,9 | 150,4 | 200 | 40 | 0,7 | |
| ● C 3 | Hupper, rötlich | Aedermannsdorf | Siderolithikum ± Eozän | 24,0 | 2 | — | 2,4 | 150,7 | 460 | 60 | 2,8 | 1400 |
| ● C 4 | Hupper, gelb | Honegg-Graben | Siderolithikum ± Eozän | 27,0 | — | — | 2,4 | 150,9 | 360 | 49 | 1,5 | 1280 |
| ● C 5 | Bolus | Beringen SH | Siderolithikum ± Eozän | 11,0 | — | — | 2,7 | 152,6 | 1040 | 117 | 3,8 | 1300 |
| ● C 6 | Bolus | Färberwiesli | Siderolithikum ± Eozän | 7,3 | — | — | 2,3 | 149,2 | 850 | 95 | 2,2 | > 1500 |
| △ D 1 | Septarienton | Lohn | Siderolithikum ± Eozän | 12,0 | 28 | 6 | 2,6 | 155,0 | 530 | 81 ²⁾ | 5,3 | 1500 |
| ○ D 2 | weißer Ton | Laufen | Rupélien | 1,5 | — | — | 2,9 | 155,0 | 1130 | 115 | 4,3 | 1300 |
| □ E 1 | Löß-Lehm | Bonfol | Pliozän | 37,0 | — | — | 2,3 | 153,2 | 320 | 51 | 3,7 | |
| □ E 2 | Schwemmlehm | Allschwil | Pleistozän | 23,5 | — | — | 2,5 | 151,8 | 520 | 68 | 3,7 | |
| □ E 3 | entkalkter Lehm | Bubendorf BL | Alluvial | 13,5 | — | — | 2,75 | 156,0 | 480 | 55 | 4,1 | |
| □ | | Neunkirch SH | Pleistozän | | — | — | | | | | | |

¹⁾ K = Kalk, D = Dolomit.

²⁾ Exkl. Karbonat.

Tabelle 2

Tonmineralogische Zusammensetzung der untersuchten Proben

Zusammensetzungen der karbonatfreien Fraktionen < 2 μ

| Nr. | Bezeichnung | Herkunft | Strat. Stufe | Illit | Ill/Mont III/Mont un-regelm. W. | Kaolinit | Chlorit | Quarz | Goethit | Albit | K-Feld- spat | Anatas |
|-----|----------------------|----------------|------------------------|--------|---------------------------------|----------|---------|-------|---------|-------|-----------------|--------|
| A 1 | grüner Ton | Arosio | Perm | - | 95-100 | - | < 5 | - | - | - | - | - |
| A 2 | weißer Ton | Arosio | Perm | - | 95-100 | - | - | < 5 | - | - | - | - |
| A 3 | weißer Ton | Caslano | Anis | 95-100 | - | - | < 5 | - | - | - | - | - |
| A 4 | weiß-grau-gelb. Ton | S. Giorgio | Anis/Ladin | - | 95-100 | - | - | < 2 | - | - | - | - |
| B 1 | grüner Ton | Schleitheim | Keuper | 90 | - | - | 5-10 | < 5 | - | - | - | - |
| B 2 | grün/viol. Ton | Hallau | Keuper | 90 | - | - | 5-10 | 5-10 | - | - | - | - |
| B 3 | Opalinuston | Seewen | Aalénien | 30 | 15 | - | 5-10 | 5-10 | 0-5 | - | - | - |
| B 4 | Opalinuston | Belchen | Aalénien | 35-40 | 15-20 | - | 5 | 5 | - | sp | - | sp |
| B 5 | Opalinuston «Opalit» | Holderbank | Aalénien | 35 | 15-20 | - | 5 | 5-10 | - | - | - | sp |
| B 6 | Opalinuston | Sibilingen | Aalénien | 30 | 20 | - | 5 | 5 | - | - | - | - |
| C 1 | Hupper, gelb | Lausen | Siderolithikum ± Eozän | - | - | - | 85 | 5 | 5-10 | - | - | 2 |
| C 2 | Hupper, weiß | Lausen | Siderolithikum ± Eozän | - | - | - | 90 | < 2 | 5 | - | - | 4 |
| C 3 | Hupper, rötlich | Aedermannsdorf | Siderolithikum ± Eozän | - | 5-10 | - | 75-80 | < 5 | 10 | - | - | 2 |
| C 4 | Hupper, gelb | Honegg-Graben | Siderolithikum ± Eozän | 5-10 | - | - | 70-80 | < 5 | 20 | - | - | 2 |
| C 5 | Bolus | Beringen SH | Siderolithikum ± Eozän | - | 5 | - | 75-80 | < 5 | 10-20 | - | - | 2 |
| C 6 | Bolus | Färberwiesli | Siderolithikum ± Eozän | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| D 1 | Septarienton | Lohn | Siderolithikum ± Eozän | 5 | - | - | 75-80 | < 5 | 10-20 | - | - | 2 |
| D 2 | weißer Ton | Laufen | Rupélien | 40 | - | 30 | 5-10 | 5-10 | - | + | + | - |
| E 1 | Löß-Lehm | Bonfol | Pliozän | 20-30 | - | 10 | 50-60 | < 5 | < 5 | + | - | < 2 |
| E 2 | Schwemmlehm | Allschwil | Pleistozän | 25 | - | 45 | 10-15 | < 5 | 5 | + | + | - |
| E 3 | entkalkter Lehm | Bubendorf BL | Alluvial | 20-25 | - | 40-45 | 10-15 | 5 | 5 | - | - | < 2 |
| | | Neunkirch SH | Pleistozän | 45 | - | 25 | 10 | 10 | 5 | - | - | - |

Mineralogie und Sedimentpetrographie der Proben

METHODISCHES

Sandanteil

Der Sandanteil der untersuchten Proben wurde durch Abschlämmen der Feinanteile $< 20 \mu$ mit Hilfe eines kontinuierlichen Schlämmapparates (Bauart Georg Fischer AG) bestimmt. Die Proben (Einwaage 50 g) wurden durch Benzinsprengung aufgeschlossen und mit Natriumpyrophosphat als Dispergiermittel 5 Minuten im Wirbler behandelt und für die Schlämmlung vorbereitet.

Karbonatgehalt

Der Karbonatgehalt nach Tabelle 1 wurde mit dem Passon-Apparat mit verdünnter Salzsäure (3 Teile Wasser, 1 Teil HCl konz.) bestimmt. Die unterschiedliche Reaktionsgeschwindigkeit von Kalk und Dolomit erlaubt eine Differenzierung, die für die meisten sedimentpetrographischen Zwecke ausreichend genau ist. Aus den Röntgenaufnahmen der Gesamtproben wurde die Art und das Mengenverhältnis der Karbonate auch röntgenographisch festgestellt.

Tonmineralien

Die Fraktion $< 2 \mu$ wurde in Attenbergzylindern abgetrennt und wenn karbonathaltig, mit $2n\text{HCl}$ dekarbonatisiert. Alle Proben wurden in CaCl_2 -Lösung mit Ca^{2+} -Ionen abgesättigt und nachher mit H_2O ausgewaschen.

Für die Diffraktometeraufnahmen wurden die so behandelten Fraktionen $< 2 \mu$ auf Glasplättchen sedimentiert. Es wurden jeweils mindestens ein lufttrockenes Präparat, ein mit Glycerin oder Äthylenglykol abgesättigtes Präparat und ein während einer Stunde auf 550°C erhitztes Präparat auf einem Philipsdiffraktometer mit $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung geröntgt von 1° bis $35^\circ 2\theta$. Unorientierte Aufnahmen wurden mit einer Guinier-Kamera nach de Wolff mit Fe-Strahlung erhalten.

Eine weitere Charakterisierung der Proben geschah durch die Differenz-Thermo-Analyse (DTA). Die wichtigsten Daten der benutzten Apparatur sind: Probhalter und Träger, wie beschrieben in T.J. PETERS (1962), Öfen mit SiC-Heizelementen, Steuergerät der Firma Netzsch, Registrierung mit einem Leeds-Northrup-Speedomaxschreiber, Empfindlichkeitsbereich der Skala 0–250 μV .

Die elektronenmikroskopischen Aufnahmen wurden im Laboratorium für Elektronenmikroskopie der Universität Bern (Leiter: Dr. R. Giovanoli) gemacht. Die Fraktion $< 2 \mu$ wurde in verdünnter Lösung auf eine Folie gebracht und nach Eintrocknen unter einem Winkel von 45° mit Cr bedampft.

VERSUCHSERGEBNISSE

Sand- und Karbonatgehalt

Tabelle 1 enthält die Ergebnisse der durch Schlämmen bestimmten Sand- und der mit dem Passon-Apparat bestimmten Karbonatgehalte. Die Bedeutung dieser Werte wurde im technologischen Teil besprochen.

Die röntgenographische Karbonatuntersuchung ergab folgende Resultate, die sich mit jenen in Tabelle 1 sehr gut vergleichen:

Der Keuperton B 1 von Schleithelm enthält einige Prozente Dolomit und etwas Gips.

Die Opalinustone B 3, B 4, B 5 und B 6 führen neben Calcit nur wenig Dolomit; das Calcit/Dolomit-Verhältnis ist etwa 7:1.

Die Huppererden C 1 von Lausen und 3 C von Aedermannsdorf enthalten nur etwas Calcit. Der Septarienton D 1 von Laufen führt vor allem Calcit, Dolomit ist untergeordnet vorhanden.

Tonmineralogie

Die wichtigsten Ergebnisse der tonmineralogischen Untersuchung sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Vulkanogene Tone im Südtessin

A 1: Grüner Ton von Arosio

Illit/Montmorillonit in regelmäßiger Wechsellagerung und etwas Kaolinit sind die beiden gesteinsbildenden Tonmineralien dieser Probe. Der Kaolinit zeigte nur Basisreflexe auf $d = 7,20 \text{ \AA}$ und $d = 3,58 \text{ \AA}$. Beim Brennen bei 550°C verschwanden diese Reflexe und es trat auch keiner bei 14 \AA auf, so daß wohl Chlorit nicht in Frage kommt. Die Röntgendaten des Illit/Montmorillonit Mixed-Layer-Minerals sind in Tabelle 3 und das Diffraktogramm in Fig. 13 angeführt. Die Basisreflexe zeigen eine vollständige Abfolge, was charakteristisch ist für eine regelmäßige Wechsellagerung der beiden Komponenten. Der aus den Daten errechnete mittlere Basisabstand ist für das lufttrockene Mineral $25,4 \text{ \AA}$, für das mit Glyzerin abgesättigte $28,0 \text{ \AA}$ und für das auf 550°C gebrannte $19,8 \text{ \AA}$. Das Verhältnis von Illit- zu Montmorillonit-Schichten beträgt 1:1. Dieses Mineral ist dioktaedrisch mit $d(060)$ auf $1,502 \text{ \AA}$. Die endotherme Reaktion bei 200°C (DTA-Kurve Fig. 16) wird durch die Abgabe des Zwischenschichtwassers der Montmorillonit-Komponente verursacht. Eine chemische Analyse der Tonfraktion ist in Tabelle 4 angegeben. Die Zusammensetzung des Mixed-Layers Illit/Montmorillonit wurde unter Annahme eines Kaolinit-Gehaltes von 2% in regelmäßiger Wechsellagerung berechnet. Trotz der NH_3^+ -Absättigung ist der CaO-Gehalt relativ hoch. Das H_2O -wurde bei 250°C bestimmt; aus der DTA-Kurve geht hervor, daß erst dann das Zwischenschichtwasser abgegeben worden ist. Würde man sämtliches oberhalb 110°C abgegebenes Wasser als OH berechnen, käme man auf viel zu hohe Werte für das OH-Wasser. In der Literatur (G. BROWN und K. NORRISH, 1952) wird vielfach ein solcher OH-Überschuß als H_3O^+ bezeichnet. Der oberhalb 250°C abgegebene Wassergehalt ergibt nun (siehe Tabelle 4) praktisch den theoretischen Wert (3,88 statt 4,00 Kat. Aeq.). Die Schichtladung (Tabelle 4) befindet sich vor allem in der Tetraederschicht. Der Al-Gehalt ist ziemlich groß und der Mg-Gehalt relativ niedrig. Die quellfähige Komponente des Mixed-Layer-Minerals scheint demnach beidellitisch zu sein. Diese Schlußfolgerung wird unterstützt durch den Verlauf der DTA-Kurve, die zeigt, daß der größte Teil des OH-Wassers schon bei 570°C abgegeben wird, was für Beidellite charakteristisch ist. Im elektronenmikroskopischen Bild (Fig. 11) sehen viele größere Teilchen verfilzt aus, ähnlich wie die reinen Montmorillonite. Die feineren Teilchen sind außerordentlich dünn.

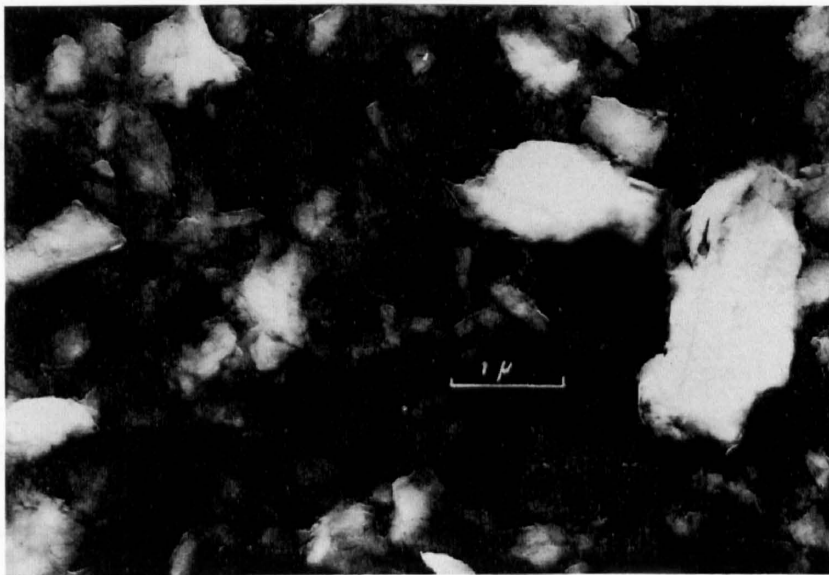


Fig. 11. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion $< 2\mu$ der Probe A 1; sie zeigt die für Montmorillonit typische Verfilzung der Teilchen. Beschattet mit Cr unter 45° .

Tabelle 3

**Abfolge der Basisreflexe des Illit/Montmorillonits in regelmäßiger Wechsellagerung
des grünen Tones von Arosio
Mit Ca^{2+} abgesättigt. Diffraktometer. $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung.**

| hkl | Lufttrocken | | Glycerin | | 550 °C | |
|--------------------------|-------------|---|----------|---|--------|---|
| | d in Å | I | d in Å | I | d in Å | I |
| 001 | 29,4 | w | 32,7 | m | | |
| 002 | 12,25 | s | 14,1 | s | 9,90 | s |
| 003 | | | 9,5 | s | | |
| 004 | | | 7,25 | w | 4,95 | s |
| 005 | 5,30 | s | 5,46 | w | | |
| 006 | | | 4,73 | m | 3,30 | s |
| 007 | 3,42 | m | | | | |
| 008 | 3,206 | s | 3,44 | s | | |
| 009 | | | 3,151 | s | | |
| 00 10 | 2,533 | m | | | | |
| 00 11 | | | 2,535 | w | | |
| Mittlerer Basisabstand . | 25,4 | Å | 28,0 | Å | 19,8 | Å |

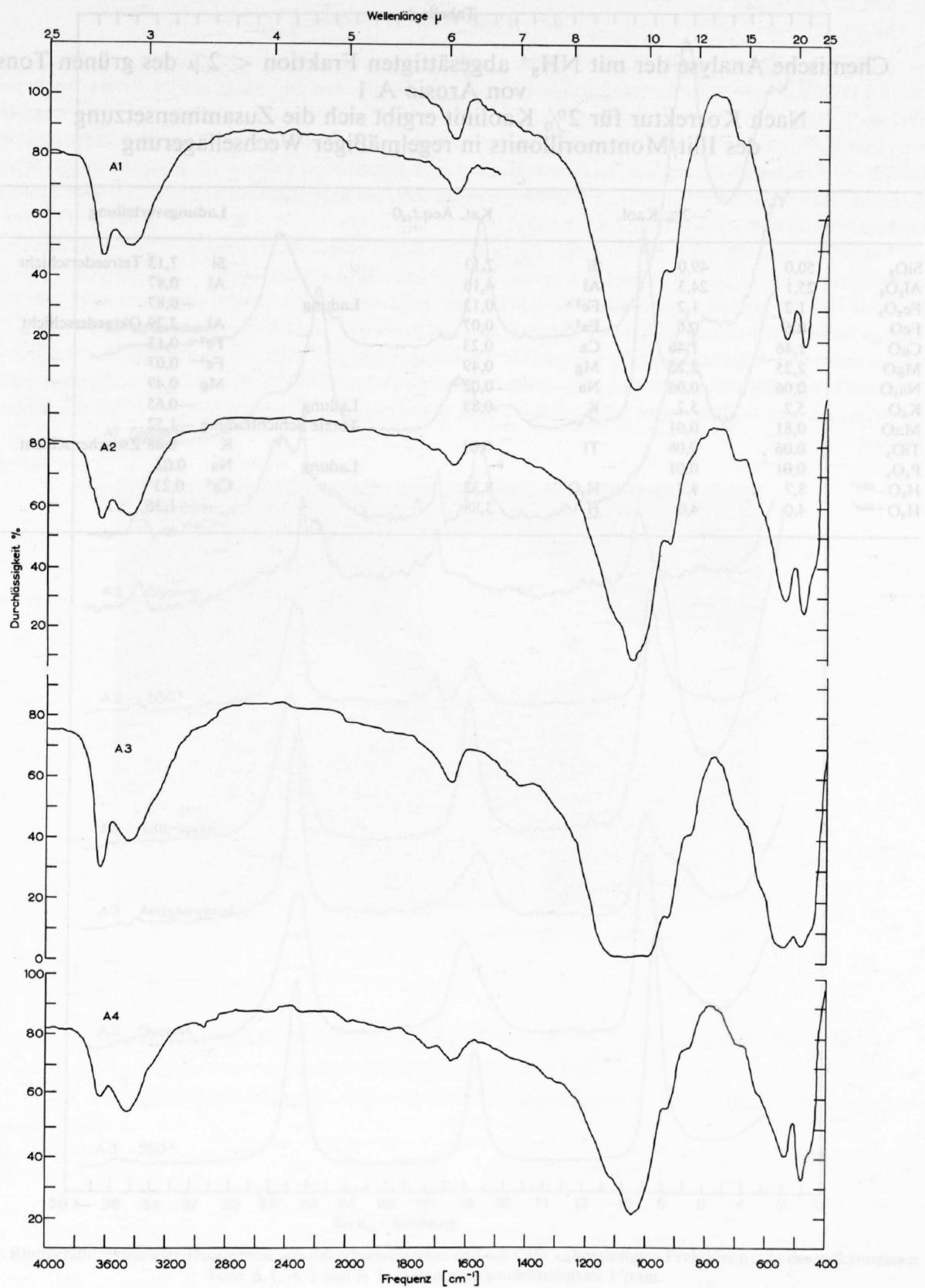


Fig. 12. Ultrarotspektren der vulkanogenen Tone. Dekarbonatisierte Fraktion $< 2 \mu$. Beckmann IR 9.

Tabelle 4

Chemische Analyse der mit NH_3^+ abgesättigten Fraktion $< 2 \mu$ des grünen Tons
von Arosio A 1
Nach Korrektur für 2% Kaolinit ergibt sich die Zusammensetzung
des Illit/Montmorillonits in regelmäßiger Wechsellagerung

| —2% Kaol. | | | Kat. Aeq./ ₂₂ O | | Ladungsverteilung | |
|-------------------------------------|------|------|----------------------------|------|----------------------|------------------------|
| SiO_2 | 50,0 | 49,0 | Si | 7,13 | Si | 7,13 Tetraederschicht |
| Al_2O_3 | 25,1 | 24,3 | Al | 4,16 | Al | 0,87 |
| Fe_2O_3 | 1,2 | 1,2 | Fe^{3+} | 0,13 | Ladung | —0,87 |
| FeO | 0,6 | 0,6 | Fe^{2+} | 0,07 | Al | 3,29 Oktaederschicht |
| CaO | 1,46 | 1,46 | Ca | 0,23 | Fe^{3+} | 0,13 |
| MgO | 2,25 | 2,25 | Mg | 0,49 | Fe^{2+} | 0,07 |
| Na_2O | 0,06 | 0,06 | Na | 0,02 | Mg | 0,49 |
| K_2O | 5,2 | 5,2 | K | 0,88 | Ladung | —0,65 |
| MnO | 0,81 | 0,01 | | | Totale Schichtladung | —1,52 |
| TiO_2 | 0,06 | 0,06 | Ti | 0,01 | | |
| P_2O_5 | 0,01 | 0,01 | | | Ladung | K 0,88 Zwischenschicht |
| $\text{H}_2\text{O} - ^{250^\circ}$ | 8,7 | 8,7 | H_2O | 8,33 | Na | 0,02 |
| $\text{H}_2\text{O} + ^{250^\circ}$ | 4,0 | 4,0 | H | 3,88 | Ca^{2+} | 0,23 |
| | | | | | | +1,36 |

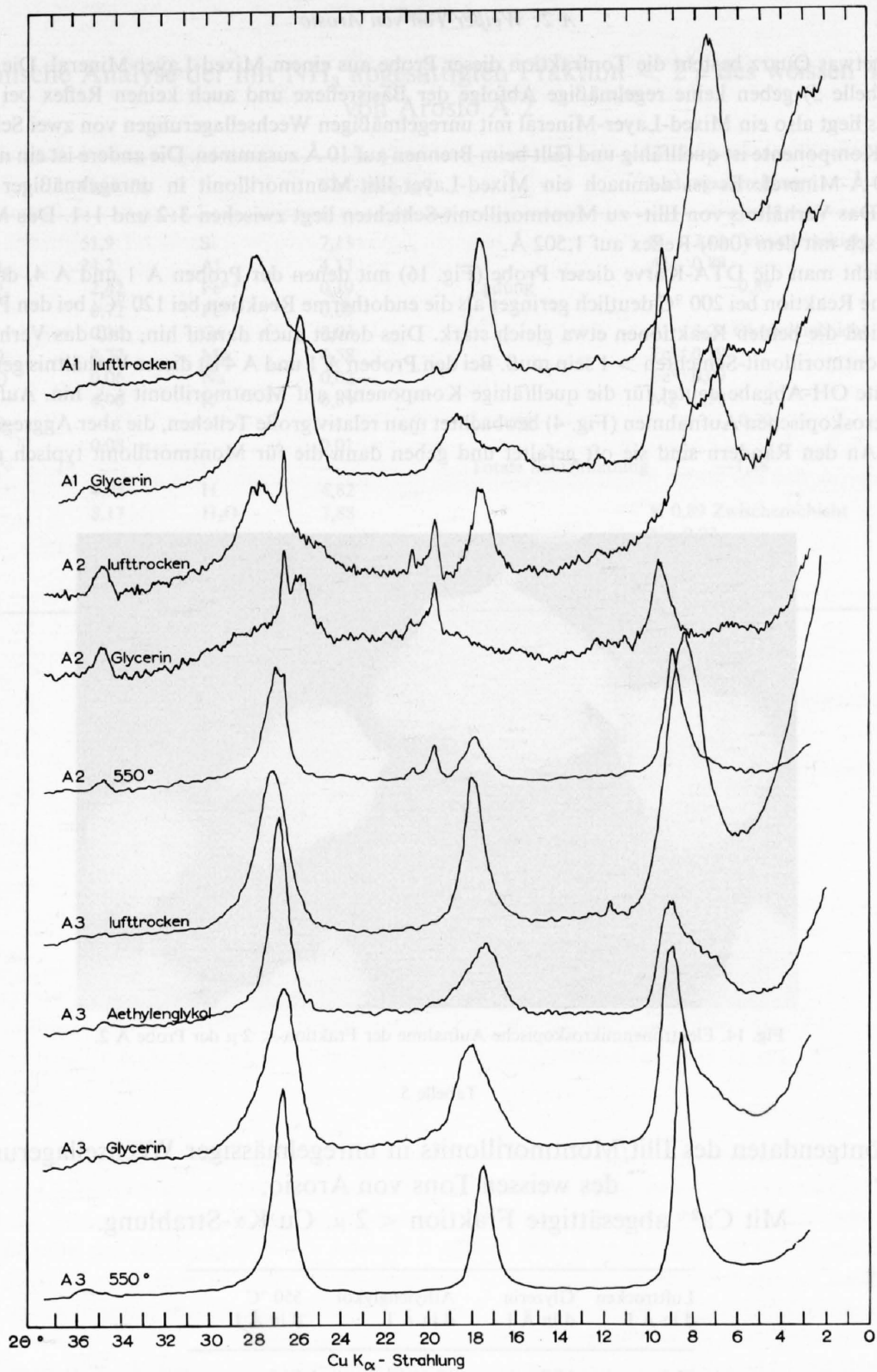


Fig. 13. Röntgendiffraktometer-Diagramme von dekarbonatisierten und mit Ca^{2+} -abgesättigten Fraktionen $< 2\mu$ der vulkanogenen Tone A 1, A 2 und A 3. Goniometergeschwindigkeit $1^\circ/\text{min}$.

Außer etwas Quarz besteht die Tonfraktion dieser Probe aus einem Mixed-Layer-Mineral. Die Röntgen-daten (Tabelle 5) geben keine regelmäßige Abfolge der Basisreflexe und auch keinen Reflex bei hohen d -Werten. Es liegt also ein Mixed-Layer-Mineral mit unregelmäßigen Wechsellagerungen von zwei Schichtarten vor: Eine Komponente ist quellfähig und fällt beim Brennen auf 10 \AA zusammen. Die andere ist ein nicht quellfähiges 10-\AA -Mineral. Es ist demnach ein Mixed-Layer-Illit-Montmorillonit in unregelmäßiger Wechsellagerung. Das Verhältnis von Illit- zu Montmorillonit-Schichten liegt zwischen 3:2 und 1:1. Das Mineral ist dioktaedrisch mit dem (060)-Reflex auf $1,502 \text{ \AA}$.

Vergleicht man die DTA-Kurve dieser Probe (Fig. 16) mit denen der Proben A 1 und A 4, dann ist die endotherme Reaktion bei 200°C deutlich geringer als die endotherme Reaktion bei 120°C ; bei den Proben A 1 und A 4 sind die beiden Reaktionen etwa gleich stark. Dies deutet auch darauf hin, daß das Verhältnis von Illit- zu Montmorillonit-Schichten > 1 sein muß. Bei den Proben A 1 und A 4 ist dieses Verhältnis genau 1. Die relativ späte OH-Abgabe deutet für die quellfähige Komponente auf Montmorillonit s. s. hin. Auf den elektronenmikroskopischen Aufnahmen (Fig. 4) beobachtet man relativ große Teilchen, die aber Aggregate zu sein scheinen. An den Rändern sind sie oft gefaltet und geben dann die für Montmorillonit typisch gebogenen Spitzen.

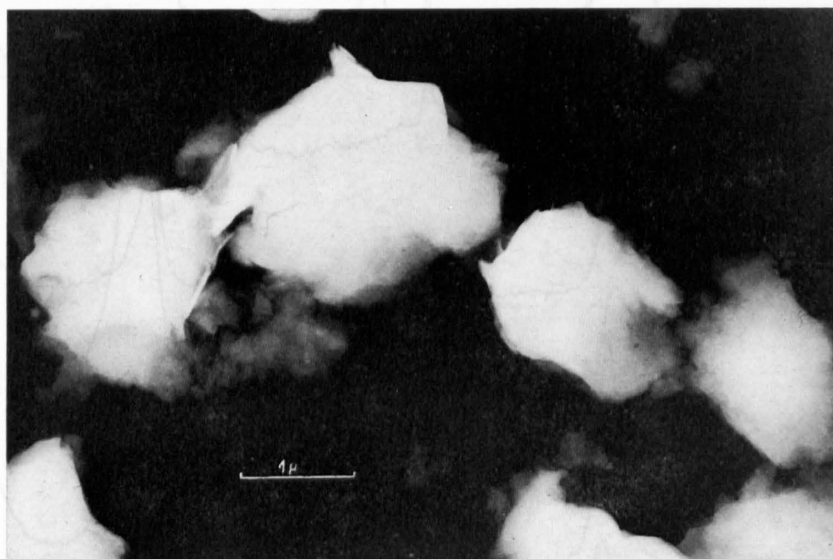


Fig. 14. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion $< 2 \mu$ der Probe A 2.

Tabelle 5

Röntgendaten des Illit/Montmorillonits in unregelmässiger Wechsellagerung
des weissen Tons von Arosio.

Mit Ca^{2+} abgesättigte Fraktion $< 2 \mu$. Cu $K\alpha$ -Strahlung.

| Lufttrocken d in \AA I | Glyzerin d in \AA I | Äthylenglykol d in \AA I | 550 °C d in \AA I |
|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 12,0 vs | 14,0 br. m | 12,6 br. m | 10,0 vs |
| 5,04 s | 9,3 s | 9,18 br. m | |
| | 7,2 br | 5,31 m | 4,96 m |
| 4,49 m | 4,49 m | 4,49 m | 4,49 m |
| 3,22 s | 3,45 m | | 3,19 vs |
| 2,576 m | 2,57 m | | 2,57 w |
| 2,396 m | 2,378 m | | |

Tabelle 6

Chemische Analyse der mit NH_3 abgesättigten Fraktion $< 2 \mu$ des weissen Tones von Arosio A 2

| Gew.-% | | Kat. Aeq./ ₂₂ O | | Ladungsverteilung | | | |
|--------------------------------|------|----------------------------|------|----------------------|------------------------|----|-------|
| SiO ₂ | 51,9 | Si | 7,11 | Si | 7,11 Tetraederschicht | | |
| Al ₂ O ₃ | 24,2 | Al | 4,13 | Al | 0,89 | | |
| Fe ₂ O ₃ | 2,42 | Fe ³⁺ | 0,19 | Ladung | —0,89 | | |
| FeO | 0,72 | Fe ²⁺ | 0,09 | | | | |
| CaO | 0,16 | Ca | 0,03 | Al | 3,24 Oktaederschicht | | |
| MgO | 2,72 | Mg | 0,58 | Fe ³⁺ | 0,19 | | |
| Na ₂ O | 0,06 | Na | 0,02 | Fe ²⁺ | 0,09 | | |
| K ₂ O | 4,90 | K | 0,89 | Mg | 0,58 | | |
| MnO | — | — | — | Ladung | —0,39 | | |
| TiO ₂ | 0,08 | — | 0,01 | Totale Schichtladung | —1,28 | | |
| P ₂ O ₅ | — | — | — | | | | |
| H ₂ O ⁺ | 4,98 | H | 4,82 | Ladung | K 0,89 Zwischenschicht | | |
| H ₂ O [—] | 8,17 | H ₂ O | 7,88 | | | | |
| | | | | | | Na | 0,02 |
| | | | | | | Ca | 0,03 |
| | | | | | | | +0,97 |

A 3: Weißer Ton von Caslano

Die ersten tonmineralogischen Untersuchungen an diesem Ton von S. MAGYAR und A. VON MOOS (1947) ergaben als Hauptbestandteil ein serizitisches Mineral. F. HOFMANN (1956) deutete dieses Mineral dann später als Illit.

Im Röntgendiffraktogramm (Fig. 13) der lufttrockenen Probe treten nur wenige, ziemlich breite Linien auf. Der erste Basisreflex liegt auf etwa 10,7 Å, also etwas höher als bei Muskowit. Bei der Glyzerin-Behandlung ändert sich nur die Position des ersten Basisreflexes merklich gegenüber dem lufttrockenen Präparat. Er hat ein Maximum auf 9,9 Å mit einem Rücken nach höheren d-Werten. Aus diesen beiden Diagrammen kann man auf einen Illit mit etwa 15% quellbaren Schichten schließen. Es wäre wahrscheinlich besser, es als einen Mixed-Layer-Illit/Montmorillonit in unregelmäßiger Wechsellagerung zu bezeichnen. Die Röntgendaten (Tabelle 7) sind sehr ähnlich dem Illit von Gros Ventre, der auch etwa 15% quellbare Schichten hat und von J. HOWER und T. C. MOWATT (1966) beschrieben worden ist. Behandelt man das Material aber mit Äthylenglykol (2 CH₃-Gruppen statt 3 wie in Glyzerin), dann bekommt man noch zusätzlich zwei schwache, breite Reflexe bei etwa 29 Å und 12,6 Å. Diese sind charakteristisch für Illit/Montmorillonit in regelmäßiger Wechsellagerung wie in den Proben A 1 und A 4. Offenbar ist bei einem Teil des Materials die Bindung zwischen den Schichtpaketen so groß, daß das kleine Äthylenglykol-Molekül hineindringen kann, nicht aber das größere Glyzerinmolekül.

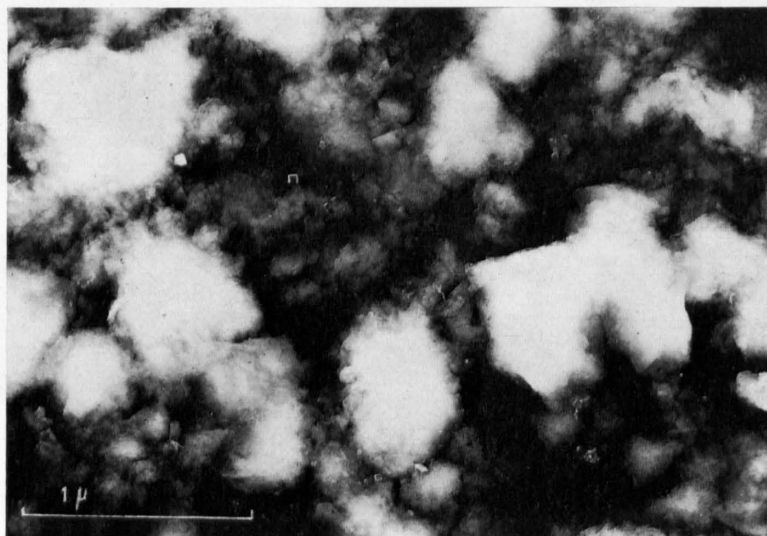


Fig. 15. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion < 2 μ der Probe A 3.

In Tabelle 8 ist eine chemische Analyse dieser Probe angeführt. Berechnet man die Ladungsverteilung, dann scheint die negative Ladung vorwiegend in der Oktaederschicht zu sein. Das quellbare Material hat also montmorillonitischen Charakter s. s., was durch die späte OH-Abgabe in der DTA-Kurve bestätigt wird.

Der Kalium-Gehalt ist etwas höher bei den Proben A 1 und A 4, die praktisch nur aus Mixed-Layer-Illit/Montmorillonit in regelmäßiger Wechsellagerung bestehen. Der Gehalt ist aber doch deutlich niedriger als man von einem Illit/Montmorillonit mit nur 15% quellbaren Schichten erwarten würde, die nach J. HOWER und T. C. MOWATT (1966) K₂O-Gehalte zwischen 6,3 und 7,3% aufweisen.

Eine mögliche Erklärung für das röntgenographische Verhalten wäre nun: Das Kalium ist ziemlich gleichmäßig über die Zwischenschichten verteilt, so daß es kaum zu richtig quellfähigen Schichten kommen kann. Bei den Proben A 1 und A 4, die nicht viel weniger Kalium enthalten, ist das Kalium dagegen in jeder 2. Zwischenschicht konzentriert und die andere Zwischenschicht ist fast kaliumfrei.

Ab und zu wurden schwache Reflexe bei 3,50 Å und 7 Å beobachtet, die eventuell von einer geringen Beimischung von Chlorit herrühren könnten.

Die Teilchen zeigen unregelmäßige Begrenzungen und neigen stark zu Aggregatbildung (Fig. 15).

Tabelle 7

Röntgendaten des illitischen Tons von Caslano (A 3)
 Diffraktometer $\text{CuK}\alpha$ – und $\text{FeK}\alpha$ – Strahlung

| Lufttrocken d in Å I | | Äthylenglykol d in Å I | | Glyzerin d in Å I | | 550 °C d in Å I | |
|-------------------------|----|---------------------------|------|----------------------|----|--------------------|----|
| 10,7 | vs | 29 | br.w | 9,90 | vs | 10,3 | vs |
| | | 12,6 | br.w | | | | |
| | | 9,9 | s | | | | |
| 5,0 | s | 5,1 | s | 4,90 | s | 5,04 | s |
| 3,30 | vs | 3,33 | vs | 3,35 | vs | 3,33 | vs |
| 2,53 | br | 2,57 | w | 2,57 | w | 2,56 | w |
| 1,99 | m | 1,99 | m | 2,52 | w | | |

Tabelle 8

Chemische Analyse des illitischen Tons von Caslano, Fraktion $< 2 \mu$.

| Kat. Aeq./ ₂₂₀ | | | | Ladungsverteilung | |
|-----------------------------------|------|----------------------|------|-------------------|----------------------------|
| SiO_2 | 54,9 | Si | 7,55 | Ladung | Si 7,55 Tetraederschicht |
| Al_2O_3 | 21,1 | Al | 3,42 | | Al 0,45 |
| Fe_2O_3 | 0,5 | Fe^{3+} | 0,05 | | —0,45 |
| FeO | 0,6 | Fe^{2+} | 0,07 | | Al 2,97 Oktaederschicht |
| CaO | 0,7 | Ca | 0,07 | | Fe^{3+} 0,05 |
| MgO | 4,6 | Mg | 0,94 | Ladung | Fe^{2+} 0,07 |
| | | | | | Mg 0,94 |
| Na_2O | 0,04 | Na | 0,01 | | —0,92 |
| K_2O | 6,0 | K | 1,06 | | Totale Schichtladung —1,37 |
| MnO | 0,01 | | | | K 1,06 Zwischenschicht |
| TiO_2 | 0,20 | Ti | 0,02 | Ladung | Na 0,01 |
| P_2O_5 | 0,01 | | | | Ca 0,07 |
| $\text{H}_2\text{O}_{-120^\circ}$ | 3,8 | H_2O | 3,48 | | +1,21 |
| $\text{H}_2\text{O}_{+120^\circ}$ | 6,5 | H | 5,95 | | |

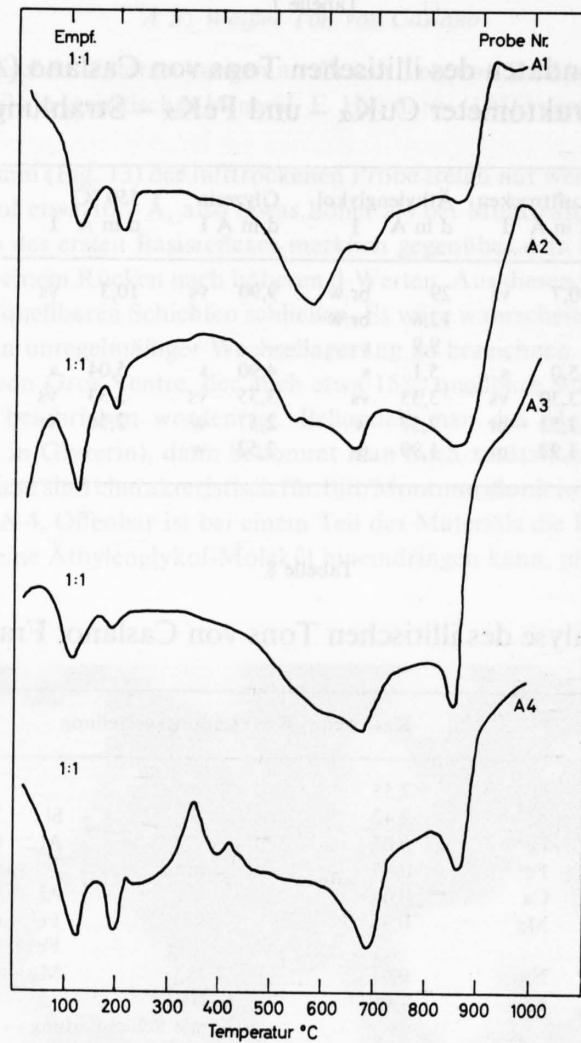


Fig. 16. DTA-Kurven der vulkanogenen Tone. Dekarbonatisierte Fraktionen $< 2 \mu$ aufgeheizt mit 10°C pro Minute.

A 4: Ton von San Giorgio

Diese Probe entspricht der Probe 71 der Arbeit von W. MÜLLER, R. SCHMID und P. VOGT (1964), worin auch die Tonmineralogie kurz erwähnt ist. Neben sehr wenig Quarz besteht die Tonfraktion aus einem dioktaedrischen Mixed-Layer-Mineral. Das lufttrockene und das mit Glyzerin behandelte Präparat zeigen eine periodische Abfolge der Basisreflexe mit einem Basisabstand von 25,1 Å bzw. 27,6 Å (Tabelle 9). Es ist demnach ein Mixed-Layer-Illit/Montmorillonit in regelmäßiger Wechsellagerung mit einem Verhältnis der Illit- zu Montmorillonit-Schichten von 1:1. Eine chemische Analyse dieses Materials ist in Tabelle 10 aufgeführt. Der hohe Ca-Gehalt ist auffallend; das Ca^{2+} ist hier nicht austauschbar im Gitter vorhanden. Der Kalium-Gehalt ist ähnlich der Probe A 1, die auch aus Illit/Montmorillonit in regelmäßiger Wechsellagerung besteht. Die Ladungsverteilung über den Schichten ist allerdings verschieden: In der Probe von San Giorgio ist die negative Ladung der Oktaederschicht größer als die der Tetraederschicht. Dieses Mineral hat also mehr eine Tendenz zu Beidellit als zu Montmorillonit s. s. Damit ist auch die relativ hohe Temperatur (690 °C) der OH-Abgabe erklärt. Das Eisen scheint nicht ganz in der Struktur eingebaut zu sein, sondern z. T. als Fe-Oxyd-Gel vorzuliegen, da die DTA-Kurve (Fig. 16) exotherme Reaktionen im Bereich 350–400 °C zeigt. Weiter zeigt die Probe beim Erhitzen auf einige hundert Celsiusgrade je nach Gasatmosphäre starke Farbänderungen.

Die Teilchen dieser Probe sind sehr unregelmäßig begrenzt (Fig. 17) und relativ groß. Kleine dünnblättrige Teilchen scheinen sich aber an den größeren angelagert zu haben, was dann zu wolkigen Aggregaten führt.

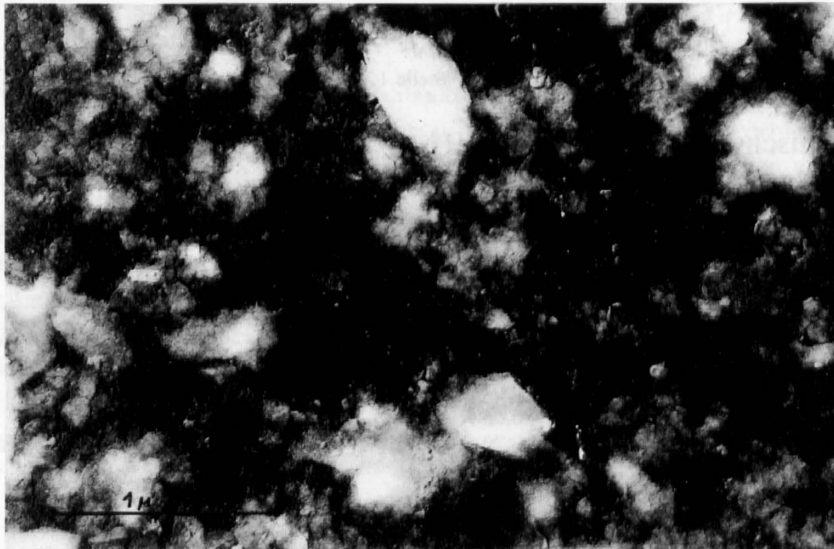


Fig. 17. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion $< 2 \mu$ der Probe A 4. Die Teilchen sind äußerst dünn und neigen stark zur Aggregatbildung. Beschattet mit Cr unter 45°.

Tabelle 9

Basisreflexe des Illit/Montmorillonits in regelmässiger Wechsellagerung von San Giorgio (A 4).

Fraktion $< 2 \mu$ mit Ca^{2+} abgesättigt. CuK-Strahlung.

| hkl | Lufttrocken d in Å I | Glyzerin d in Å I | 550 °C d in Å I |
|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|
| 001 | 29,2 m | 32,8 m | |
| 002 | 12,2 s | 13,5 s | 10,0 vs |
| 003 | | 9,51 vs | |
| 004 | 7,38 vw | | 4,95 s |
| 005 | 5,05 s | 5,40 m | |
| 006 | | 4,71 s | 3,280 s |
| 007 | 3,50 w | | |
| 008 | 3,21 s | 3,41 vs | |
| 009 | | 3,13 m | |
| 00 10 | 2,54 w | | |
| Mittlerer Basisabstand . | 25,05 Å | 27,6 Å | 19,8 Å |

Tabelle 10

Chemische Analyse der mit NH_3^+ - abgesättigten Fraktion $< 2 \mu$
der Probe von San Giorgio

| Gew. % | | Kat. Aeq./ ₂₂₀ | | Ladungsverteilung | |
|-----------------------------------|------|---------------------------|------|----------------------|-------------------------|
| SiO_2 | 54,9 | Si | 7,52 | Si | 7,52 Tetraederschicht |
| Al_2O_3 | 21,7 | Al | 3,50 | Al | 0,48 |
| Fe_2O_3 | 0,6 | Fe^{3+} | 0,07 | Ladung | —0,48 |
| FeO | 0,4 | Fe^{2+} | 0,05 | | |
| CaO | 1,33 | Ca | 0,20 | | Al 3,02 Oktaederschicht |
| MgO | 4,2 | Mg | 0,85 | | Fe^{3+} 0,07 |
| Na_2O | 0,06 | Na | 0,02 | | Fe^{2+} 0,05 |
| K_2O | 5,4 | K | 0,94 | | Mg 0,85 |
| MnO | 0,01 | | | Ladung | —0,93 |
| TiO_2 | 0,27 | Ti | 0,03 | Totale Schichtladung | —1,41 |
| P_2O_5 | 0,02 | | | | K 0,94 Zwischenschicht |
| $\text{H}_2\text{O}^{+250^\circ}$ | 4,45 | H | 4,06 | | Na 0,02 |
| | | | | | Ca^{2+} 0,40 |
| $\text{H}_2\text{O}^{-250^\circ}$ | 7,05 | H_2O | 6,43 | Ladung | +1,36 |

Die Keupertone B 1 und B 2

Die untersuchten Keupertone enthalten vorwiegend Illit. Dieser Illit ist nach dem (060)-Reflex, der auf $d = 1,50$ liegt, dioktaedrisch. Es konnte die Modifikation 2 M 1 festgestellt werden. Der (002)-Reflex auf 10 Å zeigt kaum eine Verbreiterung nach höheren d-Werten, weder in luftgetrockneten Präparaten (siehe Fig. 20) noch in glyzerinbehandelten Präparaten.

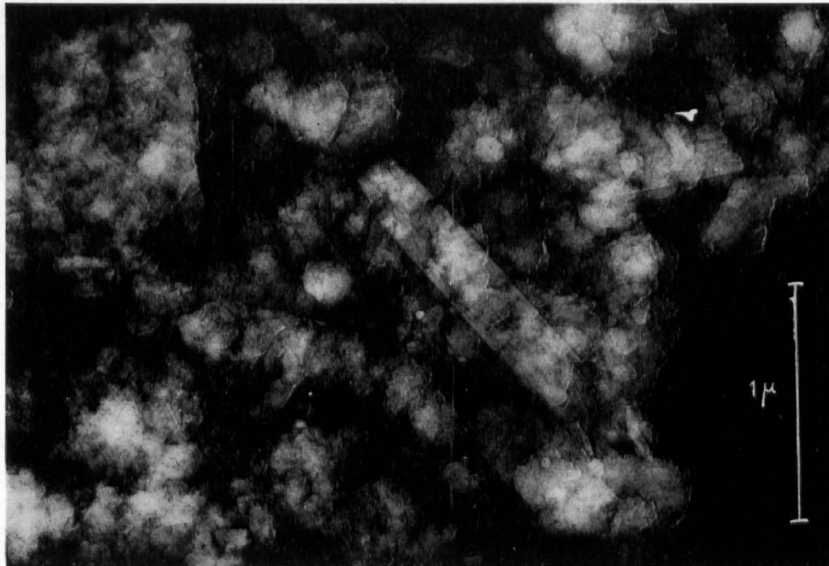


Fig. 18. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion $< 2 \mu$ der Keuper-Probe B 1. Der feinkörnige Illit zeigt schöne sechseckige Begrenzungen. Beschattet mit Cr unter 45° .

Es ist demnach keine Tendenz zu Mixed-Layer-Strukturen vorhanden. Nach den Sedimentationsanalysen sind diese Proben äußerst fein, vor allem die Probe von Schleithcim. Diese Feinkörnigkeit geht auch hervor aus den elektronenmikroskopischen Aufnahmen (Fig. 18 und 19), die viele Teilchen von etwa $0,1 \mu$ Größe erkennen lassen. Neben einigen leistenförmigen Teilchen sind erstaunlicherweise vorwiegend solche mit fast sechseckigen Begrenzungen vorhanden. Illit zeigt sonst im allgemeinen unregelmäßige Begrenzungen, da er meist durch Abbau von gut kristallisierten Glimmern entsteht. Der Kristallisationsgrad ist meistens um so geringer je kleiner die Teilchen sind. Der Illit unserer Keuper-Proben hat trotz der Feinkörnigkeit der Teilchen einen guten Kristallisationsgrad. Er ist sogar am besten bei der Probe B₁, die feinkörniger ist als die Probe B₂. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre: Im stark übersalzenen Ablagerungsmilieu der Keuper-Proben – Probe B₁ ist sogar mit Gips vergesellschaftet – hat der Illit Ionen aus dem Meerwasser aufnehmen können. Bei dieser aufbauenden Umwandlung erhöhte sich der Kristallisationsgrad des Illits und es entstanden die regelmäßigen Begrenzungen der Teilchen.

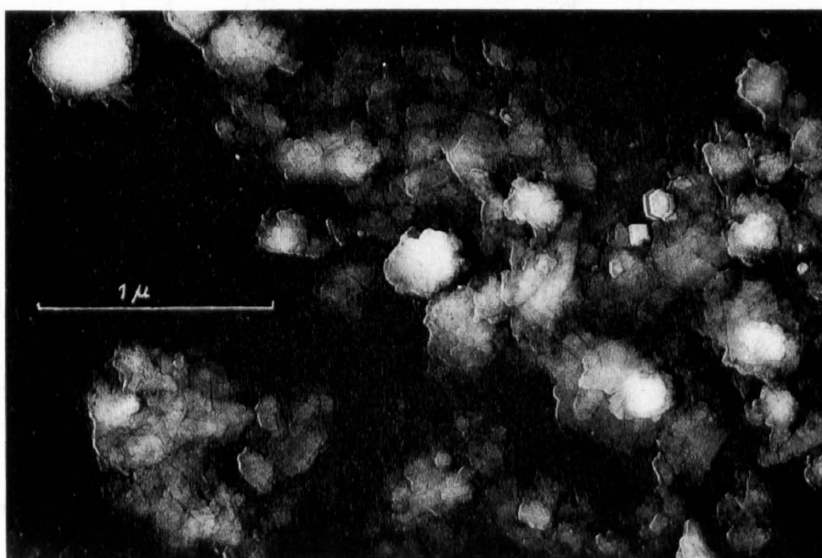


Fig. 19. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion $< 2 \mu$ der Keuper-Probe B 2. Äußerst feinkörniger, gut kristallisierter Illit.

Neben dem Illit ist noch ganz wenig Chlorit vorhanden. Die ungeraden und geraden Basisreflexe sind alle etwa gleich stark, was auf einen Mg-reichen Chlorit hindeutet. Die Lage der Basisreflexe auf 14,24 Å gibt nach G. W. BRINDLEY (in BROWN, 1966) einen Ersatz von $\frac{1}{4}$ der Si-Ionen durch Al-Ionen. Dieser Chlorit ist nicht sehr temperaturbeständig, denn bei 550 °C ist er schon zerstört.

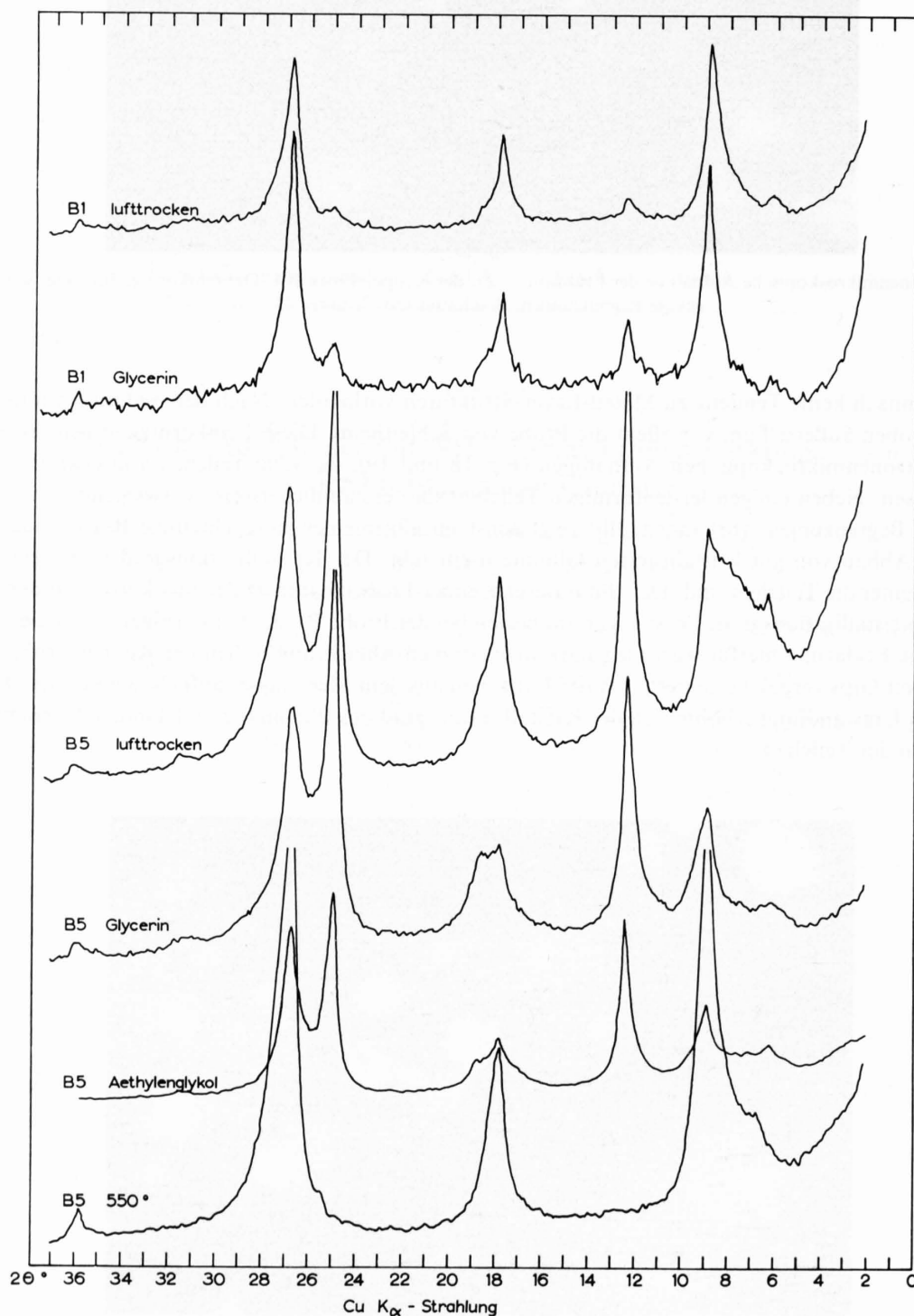


Fig. 20. Röntgendiffraktometer-Diagramme eines Keupertons B 1 und eines Opalinustons B 5. Dekarbonatisierte und mit Ca^{2+} abgesättigte Fraktion < 2 μ . Geschwindigkeit 1°/min.

Die Opalinustone B 3, B 4, B 5, B 6

Obschon die Proben von sehr verschiedenen Orten stammen, ist die Tonfraktion der untersuchten Opalinustone sehr ähnlich zusammengesetzt. Nur die Mengenverhältnisse der verschiedenen Komponenten variieren ein wenig, wie aus Tabelle 2 ersichtlich ist.

Der Illit und der Illit/Montmorillonit in unregelmäßiger Wechsellagerung sind, nach dem (060)-Reflex auf $1,50 \text{ \AA}$ zu urteilen, beide dioktaedrisch. In den lufttrockenen Präparaten (Fig. 20) sind die Basisreflexe bei 10 \AA dieser beiden Mineralien nicht voneinander getrennt; der Basisreflex des Illits hat einen Rücken nach höheren d-Werten. In mit Äthylenglykol behandelten Präparaten hat sich dieser Rücken nach etwa 12 \AA ver-

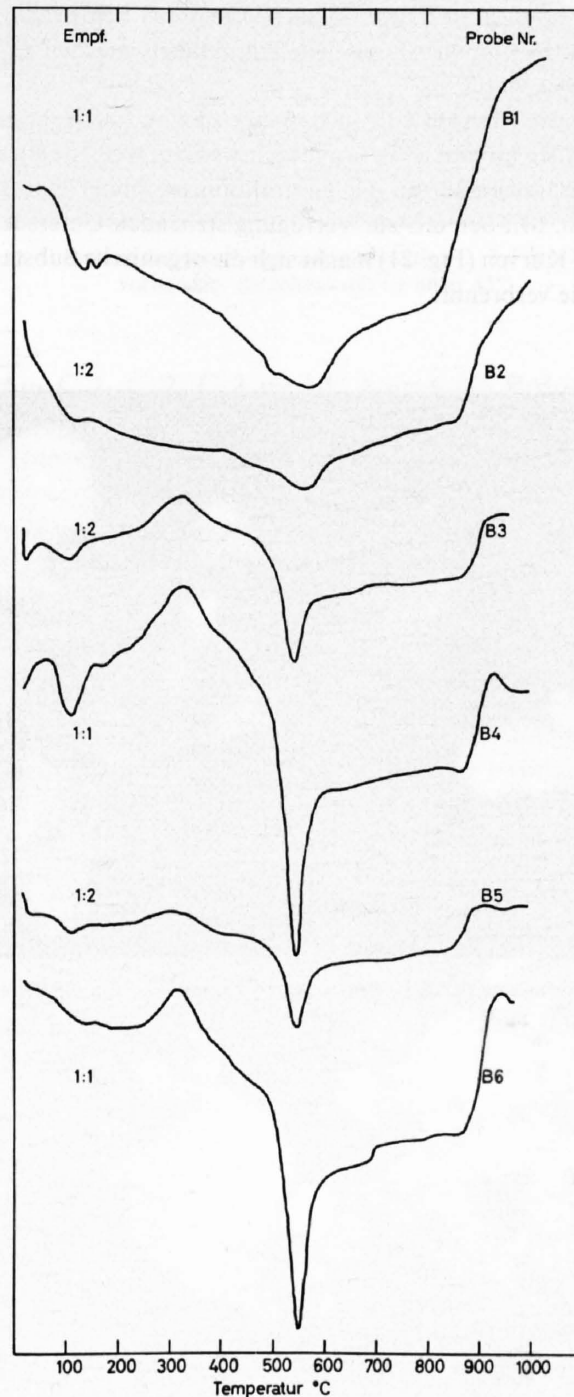


Fig. 21. DTA-Kurven der Keupertone B 1 und B 2 und der Opalinustone B 3, B 4, B 5 und B 6. Dekarbonatisierte Fraktion $< 2 \mu$. Aufgeheizt mit $10^\circ/\text{min}$.

schoben, ohne daß ein deutliches Maximum festzustellen ist. Das Verhältnis der Anzahl Illit zu Montmorillonit-Schichten in diesem Mixed-Layer-Mineral ist etwa 3:1, was auch in den Opalinustonen von Frick (TJ. PETERS, 1962) festgestellt wurde. Wie im Opalinuston von Frick hat die Behandlung mit Glyzerin nur ein Verschwinden des Rückens des 10-Å-Reflexes zur Folge und keinen neuen Reflex. Die kleineren Moleküle des Äthylenglykols können offenbar zwischen die Schichten des Mixed-Layer-Minerals dringen, nicht aber die größeren Moleküle des Glyzerins (Triäthylenglykol). In den DTA-Kurven (Fig. 21) sind das Mixed-Layer-Mineral und z. T. der Illit für die Entwässerung bei etwa 100 °C verantwortlich.

Kaolinit ist neben den Glimmer-Mineralien das wichtigste Mineral. In den Röntgenaufnahmen ist das Doublet 4,12 Å und 4,18 Å selten sichtbar, was auf eine ziemlich starke b-Achsen-Unordnung hindeutet. Auch die niedrige Rekristallisationstemperatur (zwischen 900 und 950 °C) und die frühe OH-Abgabe bei etwa 550 °C betonen den niedrigen Kristallisationsgrad. Diese Tatsachen und das Fehlen von schönen idiomorphen Umrissen der Teilchen in den elektronenmikroskopischen Aufnahmen machen es wahrscheinlich, daß dieser Kaolinit detritisch eingeschwemmt wurde.

Chlorit kommt in sehr geringen Mengen vor, so daß eine nähere Speziesbestimmung in der Tonfraktion fast unmöglich ist. Der (060)-Reflex konnte nicht festgestellt werden, weil er entweder zu schwach ist oder mit dem (211)-Reflex von Quarz zusammenfällt. In der Tonfraktion ist immer eine geringe Menge (etwa 2–5%) organischer Substanz vorhanden. Mit den uns zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden ist sie nicht näher bestimmbar. In den DTA-Kurven (Fig. 21) macht sich die organische Substanz bemerkbar als exotherme Reaktion bei etwa 300 °C, wo sie verbrennt.

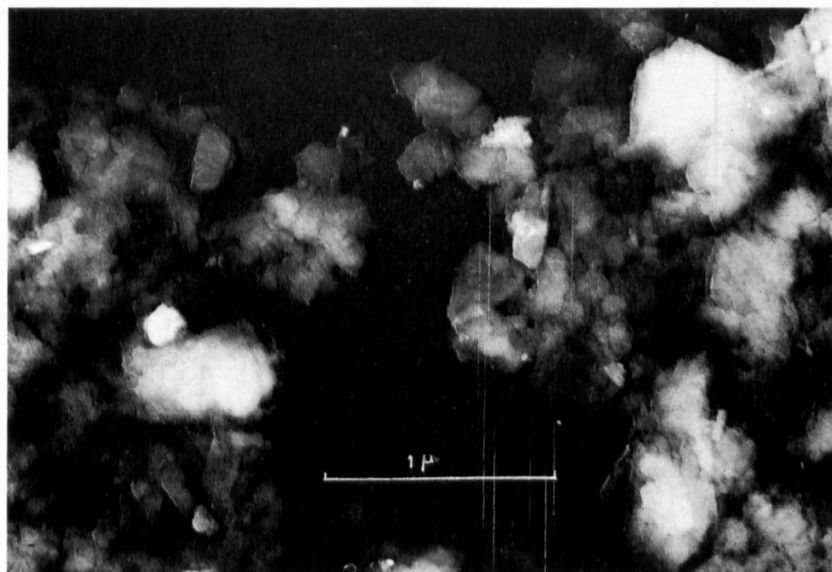


Fig. 22. Elektronenmikroskopische Aufnahme der dekarbonatisierten Fraktion $< 2 \mu$ des Opalinustons B 3. Beschattet mit Cr unter 45°.

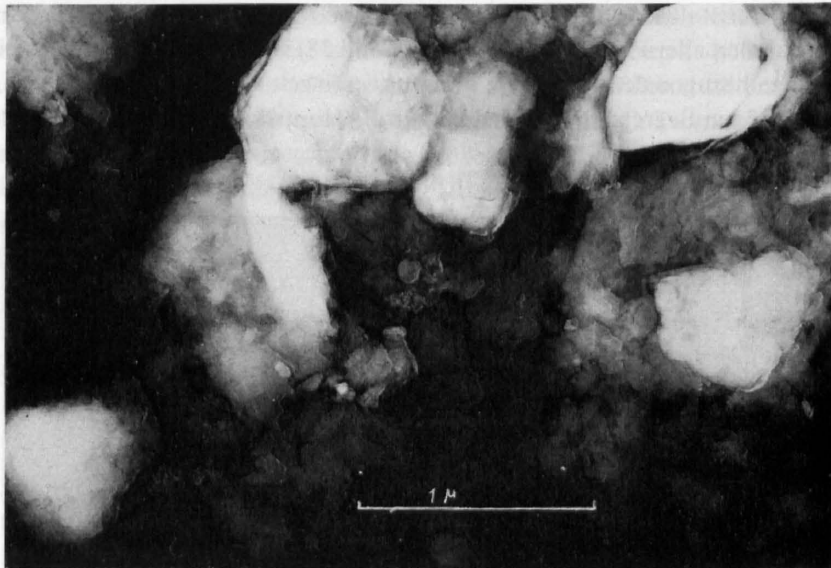


Fig. 23. Elektronenmikroskopische Aufnahme der dekarbonatisierten Fraktion $< 2 \mu$ des Opalinustons B 6. Viele Aggregate sind vorhanden. Beschattet mit Cr unter 45° .

Die Huppererden C 1, C 2, C 3 und C 4 und die Bolustone C 5 und C 6

Da die Entstehung der Huppererden und der Bolustone sehr eng zusammenhängt und alle Übergänge zwischen den beiden gefunden werden, können sie hier zusammen behandelt werden.

Kaolinit ist das weitaus wichtigste Tonmineral in den untersuchten Proben. Die Guinier-Aufnahmen zeigen beim (020)-Reflex auf $4,44 \text{ \AA}$ eine fast kontinuierliche diffuse Schwärzung nach niedrigen d-Werten. In einzelnen Proben konnte man schwache Reflexe in dieser Schwärzung beobachten. Das Reflexpaar $(\bar{1}\bar{1}1)$ und $(1\bar{1}\bar{1})$ bei $4,18 \text{ \AA}$ und $4,13 \text{ \AA}$, das nach G. W. BRINDLEY (1961) die beste Auskunft über die b-Achsen-Unordnung geben kann, kann nicht beobachtet werden, da in allen unseren Proben der (110)-Reflex von Goethit auf $d = 4,18$ vorhanden ist. Die weiteren Reflexe bei niedrigeren d-Werten deuten auf eine starke b-Achsen-Unordnung hin.

Die DTA-Kurven (Fig. 29) zeigen den für Kaolinit typischen Verlauf, nur sind die Peak-Temperaturen niedriger als bei gut kristallisiertem, grobkörnigem Kaolinit. Diese niedrigeren Peak-Temperaturen rühren



Fig. 24. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion $< 2 \mu$ der Huppererde C 2. Im allgemeinen sind die Teilchen klein und schön begrenzt. Beschattet mit Cr unter 45° .

nicht nur vom geringen Kristallisationsgrad her, sondern auch von der Teilchengröße. In den elektronenmikroskopischen Aufnahmen aller Proben (Fig. 24, 25, 27 und 28) sind die Teilchen sehr klein, meist zwischen 0,1 und 0,2 μ mit schönen hexagonalen Umrissen, und nur vereinzelt treten Teilchen bis 0,5 μ auf. Derart feinkörnige Kaolinite mit schönen Begrenzungen scheinen für die Huppererden und Bolustone des Jura typisch zu sein.

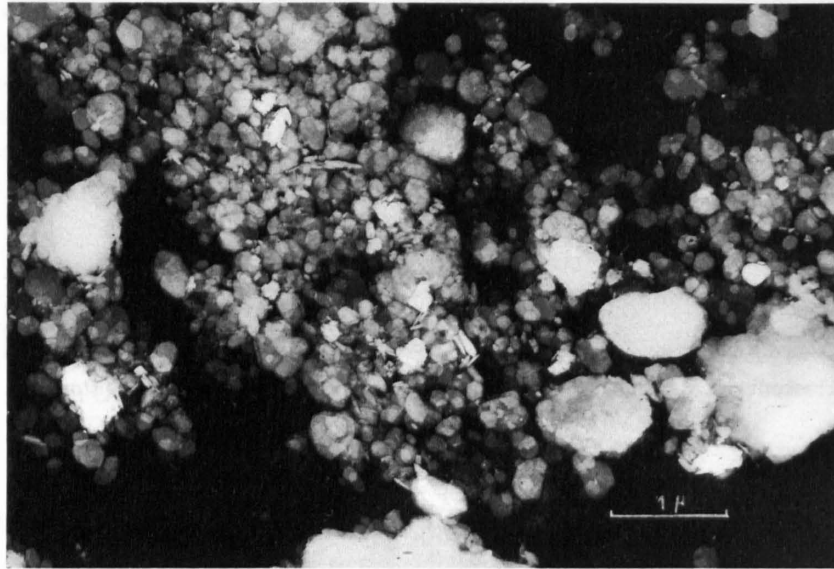


Fig. 25. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion $< 2 \mu$ der Huppererde C 4. Beschattet mit Cr unter 45° .

W. VON ENGELHARDT und H. GOLDSCHMIDT (1954) beschreiben ähnlichen Kaolinit aus dem unteren Tertiär des Pariser Beckens (Provins, vgl. dazu die technologischen Ähnlichkeiten zwischen Bolustonen und Provins-Ton in Fig. 7). J. P. VERNET (1963) fand feinkörnigen Kaolinit im Siderolithikum des Mormont (VD) und gibt auf Grund der Ergebnisse der Experimente von A. OBERLIN und C. TCHAUBAR (1958) an, daß diese feinkörnigen Kaolinitkristalle bei der Umwandlung von größeren Kaolinitblättchen durch Mg-haltige Wässer entstanden seien. Die von ihm beschriebenen Kaolinitblättchen sind weniger schön begrenzt als diejenigen in unseren Proben. Die weniger großen Teilchen zeigen gar keine Auflösungserscheinungen, wie sie aus den Bildern von VERNET hervorgehen. Auch fehlen in unseren Proben größere Montmorillonitgehalte, die auf ein Mg-

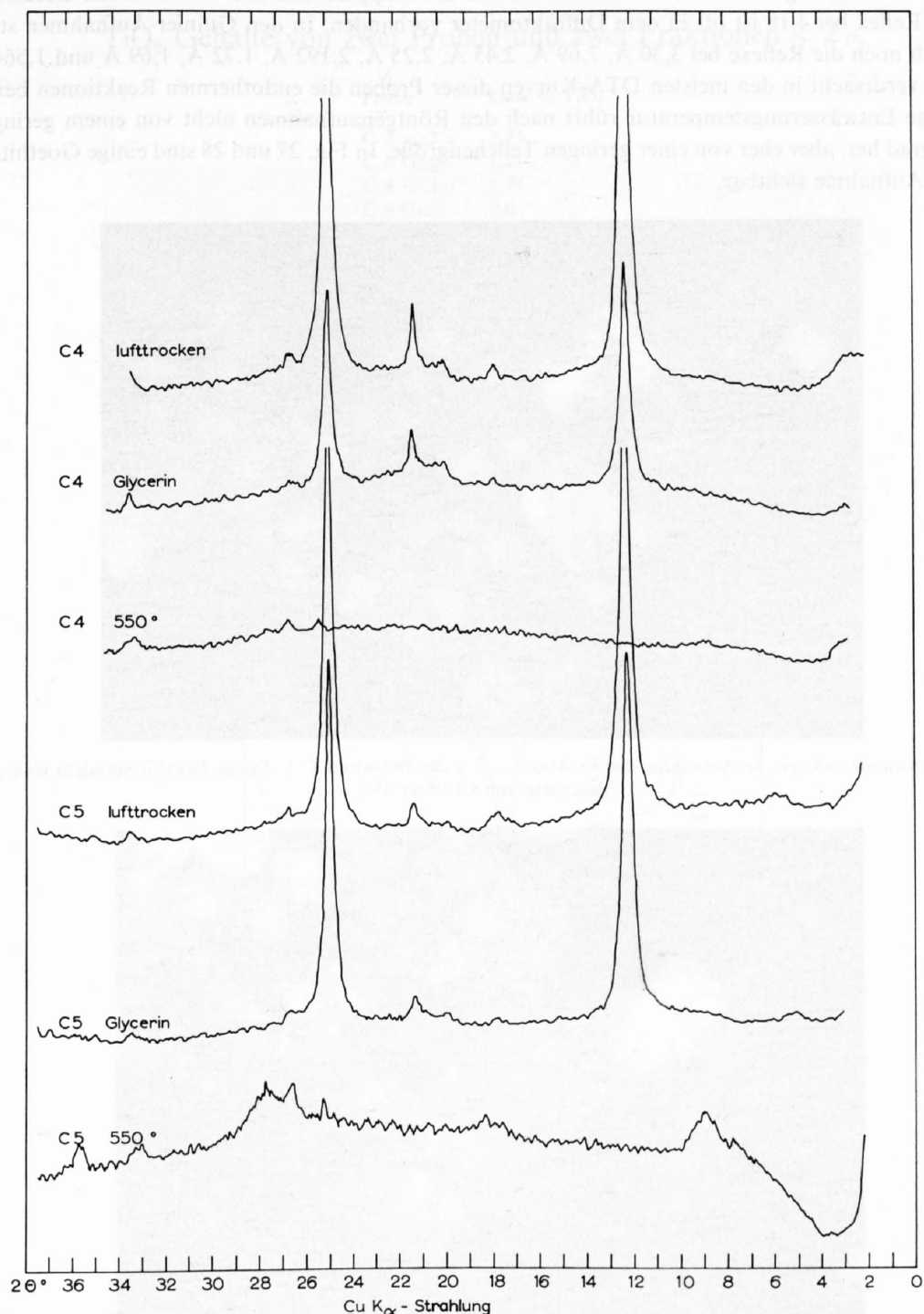


Fig. 26. Röntgendiffraktogramm von Huppererde C 4 und Boluston C 5. Dekarbonatisierte Fraktion $< 2 \mu$. Geschwindigkeit $1^\circ/\text{min}$.

reiches Milieu hindeuten würden. In den von uns untersuchten Huppererden und Bolutonen scheint die Feinkörnigkeit des Kaolinites eher eine primäre Eigenschaft und nicht bei der Auslaugung mit Mg-reichen Gewässern entstanden zu sein.

Illit ist in sehr kleinen Mengen in den Proben C 4 und C 6 vorhanden. Die Basisreflexe deuten auf einen schlechten Kristallisationsgrad hin. Etwas Montmorillonit konnte in den Proben C 3 und C 5 festgestellt werden, die Menge ist aber zu klein, um eine nähere Charakterisierung zu ermöglichen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß sich der Illit und der Montmorillonit bei der heutigen Verwitterung gebildet haben und somit nicht primäre Mineralien der Huppererden und Bolustone sind.

Goethit ist ein wichtiger Bestandteil der Tonfraktion der Huppererden und vor allem der Bolustone. Der starke (110)-Reflex bei 4,18 ist oft in dem Diffraktometer vorhanden. In den Guinier-Aufnahmen stellt man meistens auch noch die Reflexe bei 3,30 Å, 2,69 Å, 2,45 Å, 2,25 Å, 2,192 Å, 1,72 Å, 1,69 Å und 1,564 Å fest. Der Goethit verursacht in den meisten DTA-Kurven dieser Proben die endothermen Reaktionen bei 300 °C. Diese niedrige Entwässerungstemperatur rührt nach den Röntgenaufnahmen nicht von einem geringen Kristallisationsgrad her, aber eher von einer geringen Teilchengröße. In Fig. 27 und 28 sind einige Goethitspindeln auf der EM-Aufnahme sichtbar.

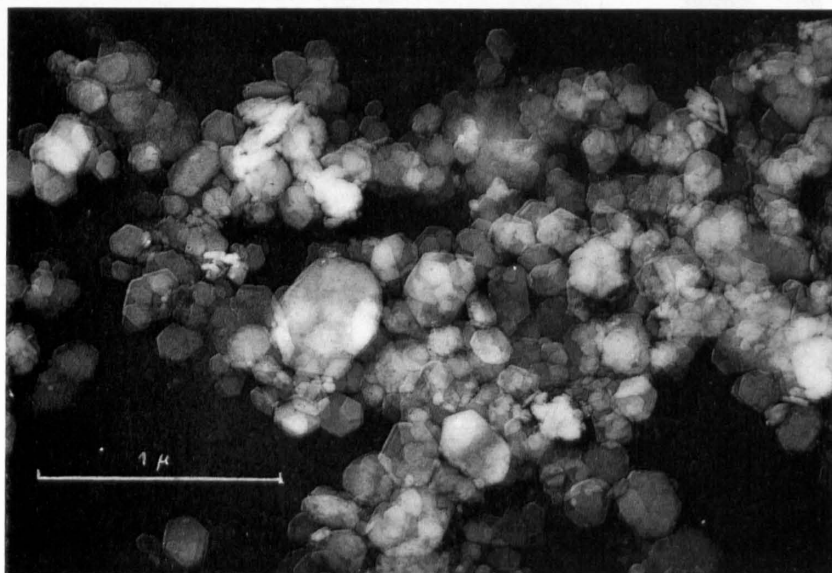


Fig. 27. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion $< 2 \mu$ des Bolustons C 5. Einige Goethit-Spindeln sind anwesend. Beschattet mit Cr unter 45°.

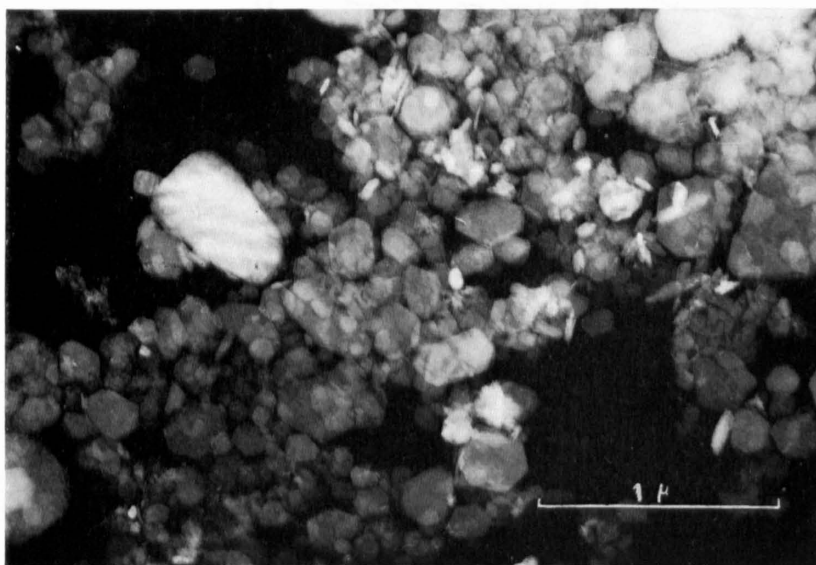


Fig. 28. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion $< 2 \mu$ des Bolustons C 6. Beschattet mit Cr unter 45°.

Anatas ist vor allem in der Fraktion $< 2 \mu$ angereichert und kann, wie aus Tabelle 11 und in den Analysen sichtbar ist, in diesen Fraktionen bis zu 4% des Mineralbestandes bilden. Anatas ist immer ein Begleiter der Al-Hydroxyde und von Kaolinit in der lateritischen Verwitterungszone. Er scheint in den Bolustonen und vor allem in den Huppererden, die aus solchen Lateriten entstanden sind, noch stärker angereichert zu sein. Röntgenographisch läßt sich der Anatas in diesen chloritfreien Proben auch bei kleinen Gehalten nachweisen, da sonst oft der (004)-Reflex von Chlorit mit dem stärksten Reflex von Anatas auf $3,51 \text{ \AA}$ zusammenfällt.

Tabelle 11

TiO_2 Gehalte von zwei Proben und zwei Fraktionen $< 2 \mu$.

| Probe | Gew. % TiO_2 |
|---------------|-----------------------|
| C 2 $< 2 \mu$ | 3,75 |
| C 4 Gest. | 1,25 |
| C 4 $< 2 \mu$ | 1,75 |
| C 6 Gest. | 2,0 |

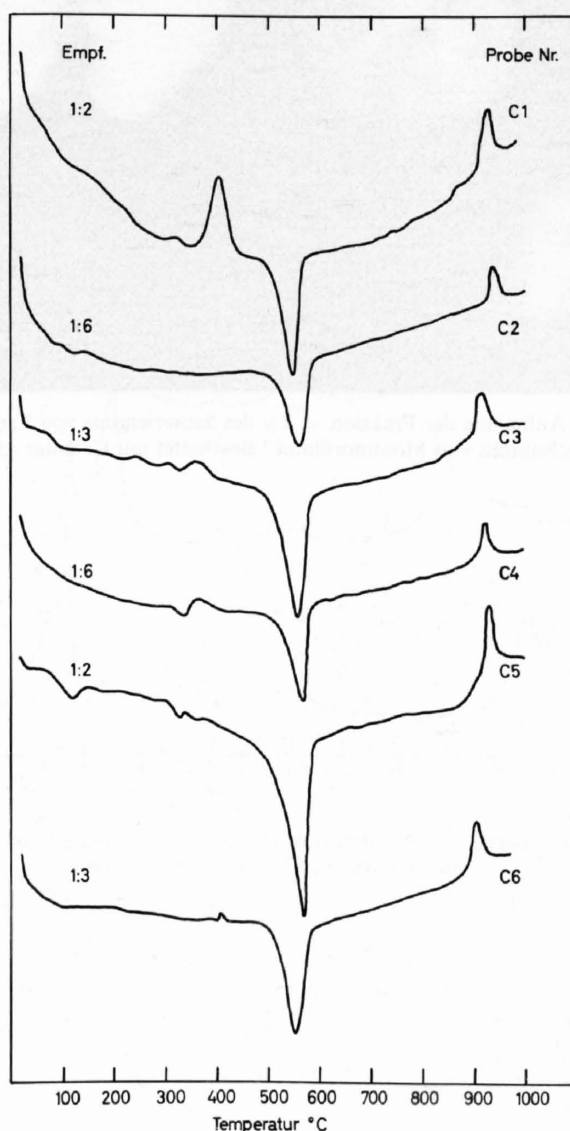


Fig. 29. DTA-Kurven der Huppererden C 1, C 2, C 3 und der Bolustone C 5 und C 6. Fraktion $< 2 \mu$. Aufgeheizt mit $10 \text{ }^\circ\text{C/min}$.

D 1: Septarienton von Laufen

Die Fraktion $< 2 \mu$ besteht vorwiegend aus Illit und Montmorillonit. Vom Illit ist nur der M1-Typ beobachtet worden. Im Elektronenmikroskop beobachtet man häufig, wie aus relativ großen Plättchen leistenförmige Gebilde wachsen. Diese Leisten sind sehr dünn und entweder parallel angeordnet oder kreuzen einander unter einem Winkel von 120° (Fig. 30). Sie treten auch vereinzelt auf und bestehen wahrscheinlich aus Montmorillonit. Nach der Li-Behandlung nach G. GREEN KELLY (1953) bleibt der Basisreflex auf $9,5\text{--}10 \text{ \AA}$, was auf einen Montmorillonit s. s. deutet. In den DTA-Kurven (Fig. 32) verursacht der Montmorillonit-Gehalt die endothermen Reaktionen bei 175°C und 830°C .

Chlorit und Kaolinit konnten trotz den kleinen Mengen eindeutig röntgenographisch bestimmt werden. Es ist der erste, eindeutig nachgewiesene Kaolinit der schweizerischen Molasse. Neuerdings konnte dieses Mineral auch in einer ähnlichen stratigraphischen Stellung, im Griesiger Mergel bei Luzern, nachgewiesen werden.

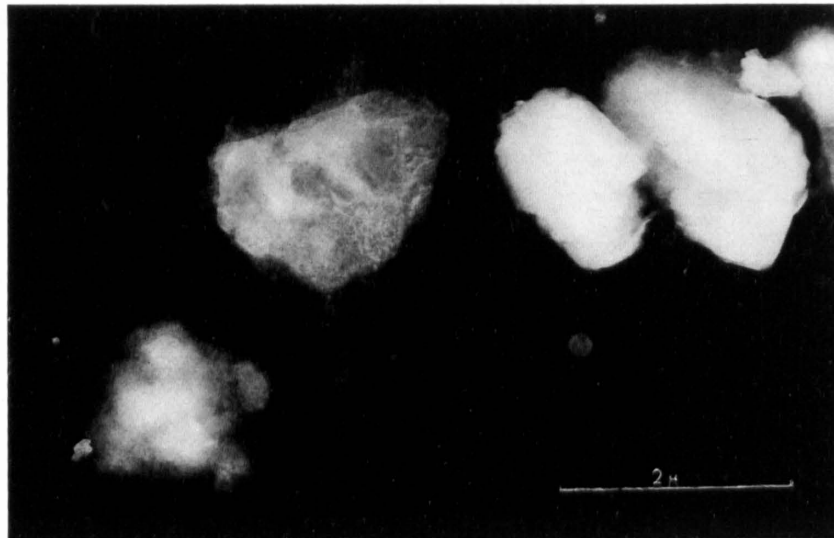


Fig. 30. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion $< 2 \mu$ des Septarientons von Laufen. Große Illit-Blättchen mit Anwachsungen von Montmorillonit? Beschattet mit Cr unter 45° .

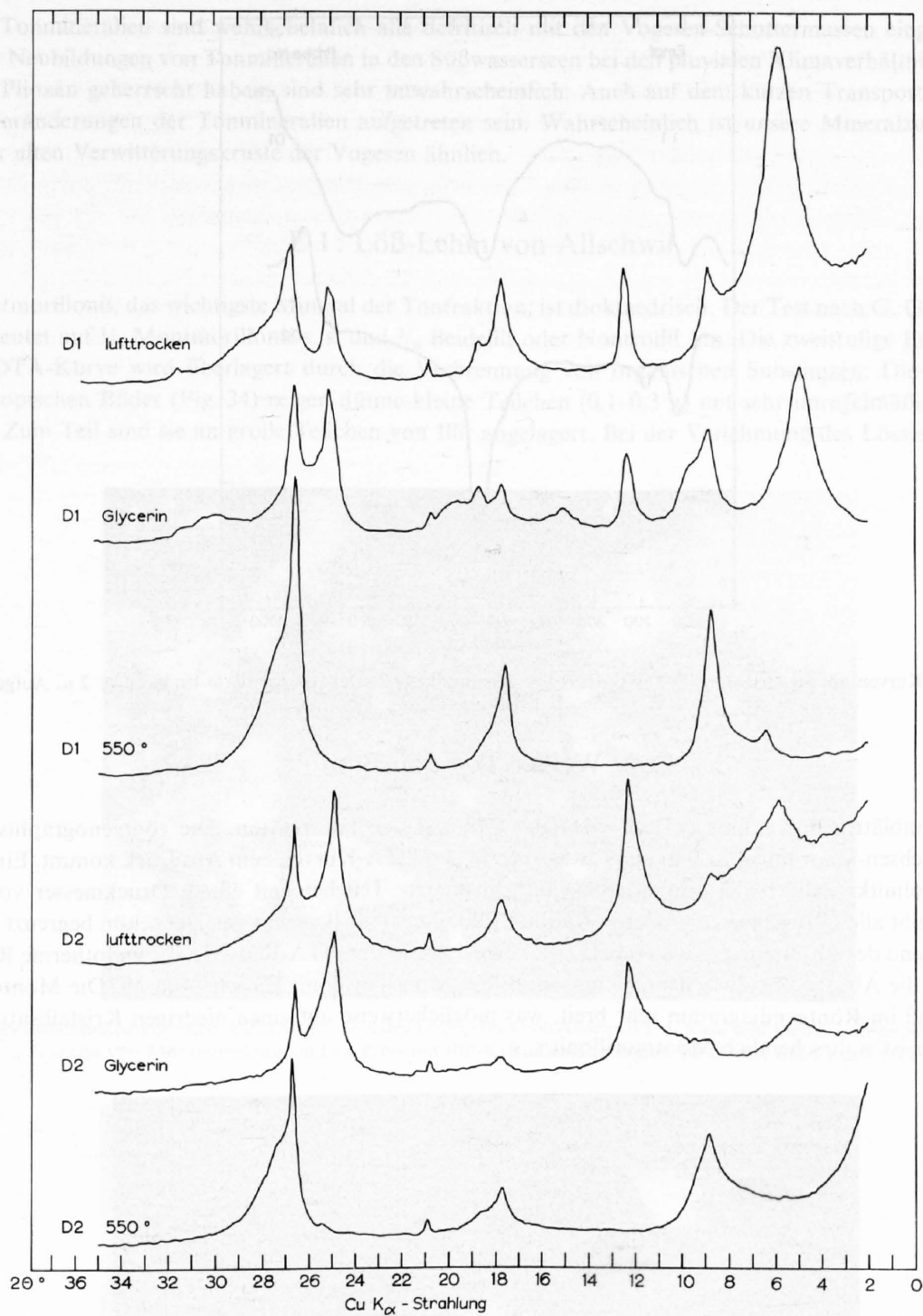


Fig. 31. Röntgendiffraktogramme von Septarienton D 1 und des Tons von Bonfol D 2. Dekarbonatisierte und mit Ca^{2+} abgesättigte Fraktion $< 2 \mu$. Geschwindigkeit $1^\circ/\text{min}$.

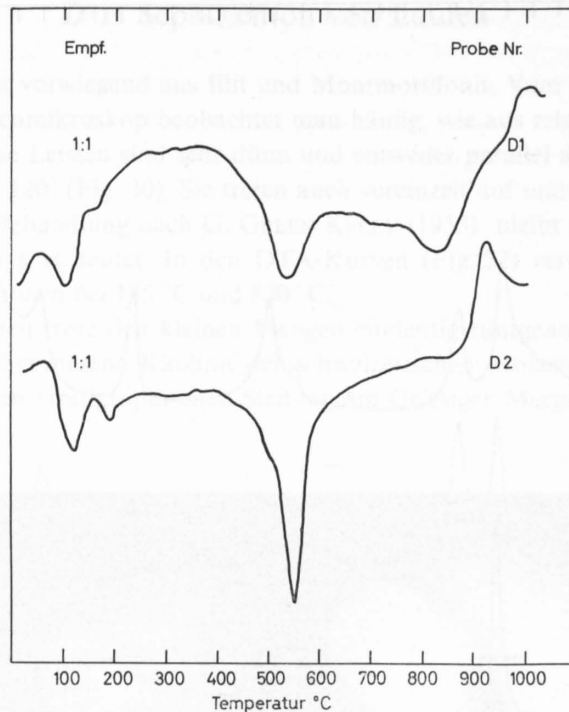


Fig. 32. DTA-Kurven des Septarientons D 1 und des Tons von Bonfol D 2. Dekarbonatisierte Fraktion $< 2 \mu$. Aufgeheizt mit $10^\circ/\text{min}$.

D 2: Weißer Ton von Bonfol

Sehr dünnblättriger Kaolinit ist das wichtigste Mineral der Tonfraktion. Die röntgenographisch festgestellte b-Achsen-Unordnung ist sehr stark, was auch in den DTA-Kurven zum Ausdruck kommt. Ein großer Teil der Kaolinitkristalle bildet schöne sechskantig begrenzte Teilchen mit einem Druckmesser von $0,1 \mu$ (Fig. 3). Es gibt alle Übergänge zu größeren Kaolinit-Plättchen, die allerdings weniger schön begrenzt sind.

Der Illit und der Montmorillonit sind beide dioktaedrisch. In der DTA-Kurve ist die endotherme Reaktion bei 170° auf die Abgabe des Zwischenschichtwassers von Montmorillonit zurückzuführen. Die Montmorillonitreflexe sind im Röntgendiagramm sehr breit, was möglicherweise auf einen niedrigen Kristallisationsgrad hindeutet. Es ist wahrscheinlich Montmorillonit s. s.

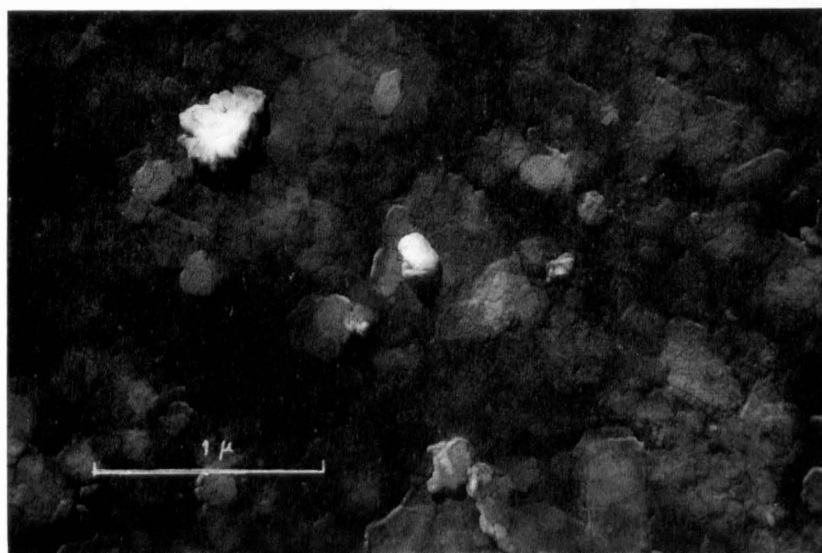


Fig. 33. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion $< 2 \mu$ des Tons von Bonfol D 2. Sehr dünnblättrige Kaolinit-Kristalle. Beschattet mit Cr unter 45° .

Die Tonminerale sind wahrscheinlich alle detritisch mit den Vogesen-Schottermassen eingeschwemmt worden. Neubildungen von Tonmineralien in den Süßwasserseen bei den pluvialen Klimaverhältnissen, wie sie hier im Pliozän geherrscht haben, sind sehr unwahrscheinlich. Auch auf dem kurzen Transportweg werden kaum Veränderungen der Tonminerale aufgetreten sein. Wahrscheinlich ist unsere Mineralzusammensetzung der alten Verwitterungskruste der Vogesen ähnlich.

E 1: Löß-Lehm von Allschwil

Montmorillonit, das wichtigste Mineral der Tonfraktion, ist dioktaedrisch. Der Test nach G. GREEN KELLY (1953) deutet auf $\frac{1}{3}$ Montmorillonit s. s. und $\frac{2}{3}$ Beidellit oder Nontronit hin. Die zweistufige Entwässerung in der DTA-Kurve wird überlagert durch die Verbrennung von organischen Substanzen. Die elektronenmikroskopischen Bilder (Fig. 34) zeigen dünne kleine Teilchen ($0,1-0,3 \mu$) mit sehr unregelmäßigen Begrenzungen. Zum Teil sind sie an große Teilchen von Illit angelagert. Bei der Verlehmung des Lösses nimmt der

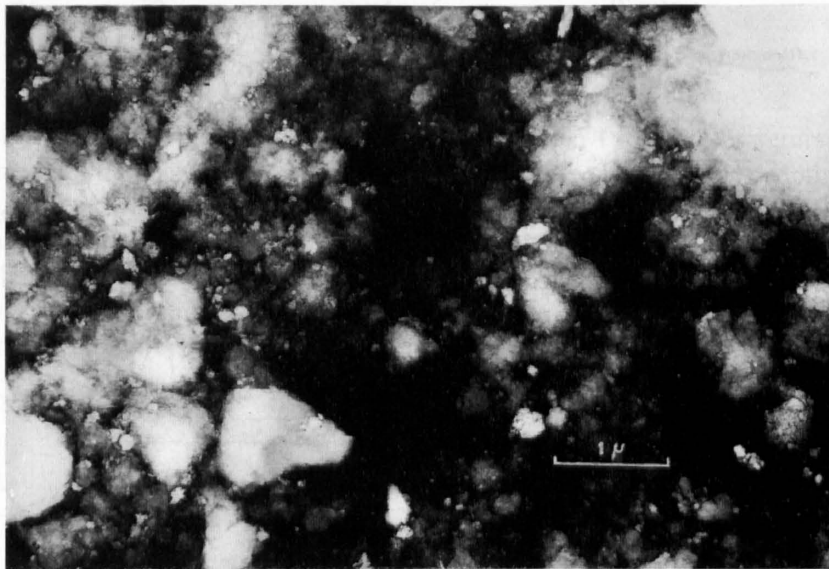


Fig. 34. Elektronenmikroskopische Aufnahme $< 2 \mu$ des Löß-Lehms von Allschwil E 1. Viele sehr kleine, unregelmäßig begrenzte Teilchen von Montmorillonit sind an größeren Illit-Kristallen angelagert. Beschattet mit Cr unter 45° .

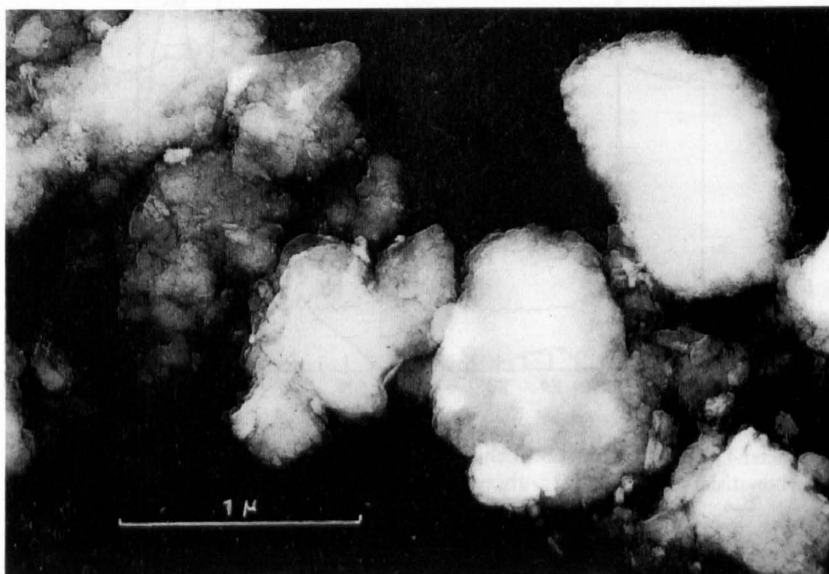


Fig. 35. Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion $< 2 \mu$ des Schwemmlahms von Bubendorf E 2.

Montmorillonit auf Kosten des Illit-Gehaltes zu: wahrscheinlich ist ein Teil des Montmorillonits bei der Verlehmung entstanden. Der Illit ist dioktaedrisch und vom 2 M₁-Typ. Kaolinit ist nur in geringen Mengen anwesend und hat eine starke b-Achsen-Unordnung. Im Elektronenmikroskop konnten keine Teilchen mit sechseckigen Umrissen erkannt werden. Chlorit war schwierig nachweisbar, nur in bei 550 °C gebrannten Proben erschien ein Chlorit-Reflex auf etwa 14 Å.

Goethit, der die Gelbfärbung dieser Proben verursacht, war röntgenographisch leicht nachweisbar. Im Elektronenmikroskop waren nur sehr kleine Spindeln (0,1 µ) von Goethit sichtbar.

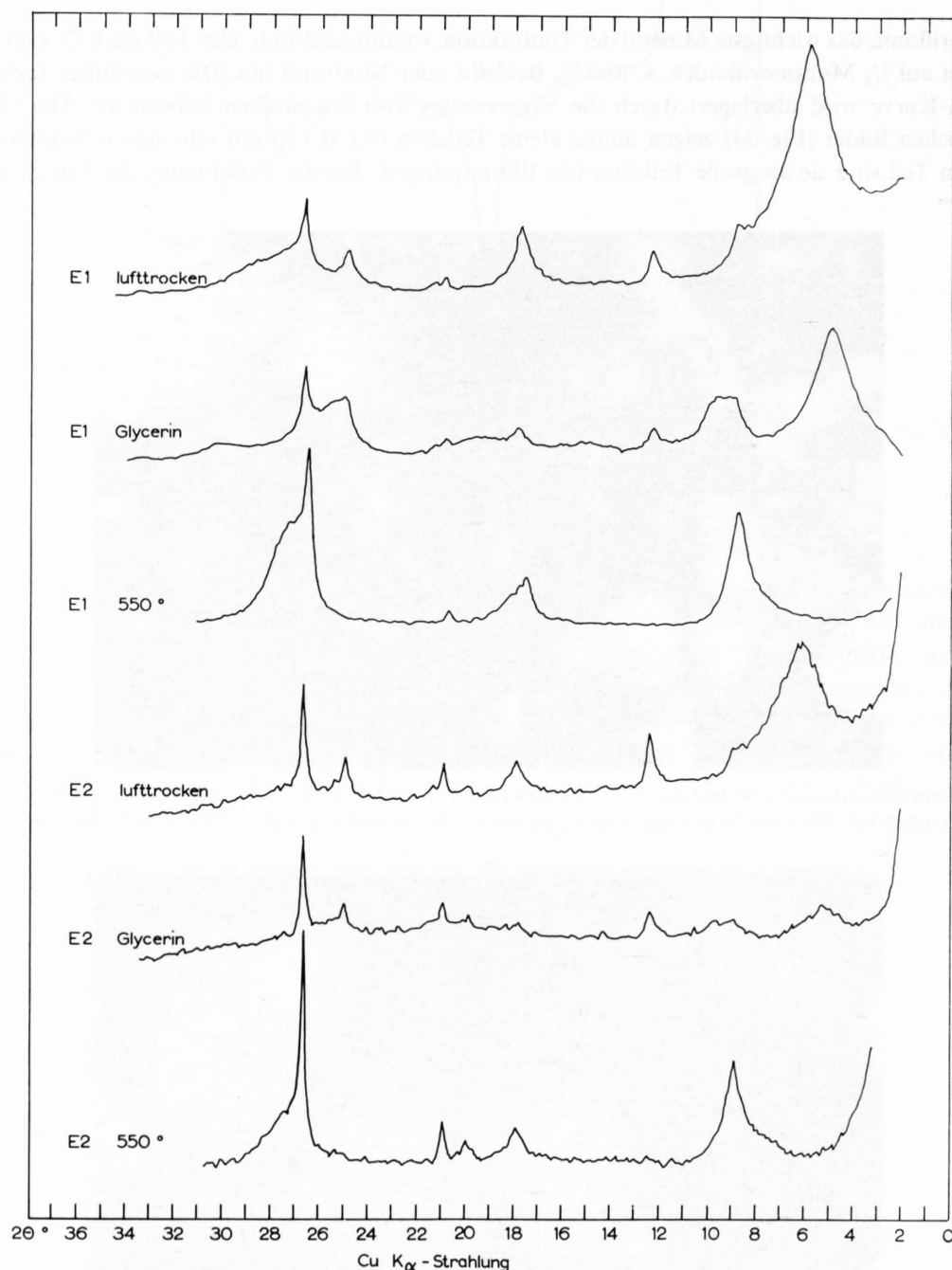


Fig. 36. Röntgendiffraktometer-Diagramme des Löß-Lehms von Allschwil E 1 und des Schwemtlehms von Bubendorf E 2. Dekarbonatisierte und mit Ca²⁺ abgesättigte Fraktion < 2 µ. Geschwindigkeit 1°/min.

E 2: Schwemmlehm von Bubendorf

Die Tonmineralien und ihre Mengenverhältnisse waren in diesem Ton sehr schwierig zu bestimmen, weil die Röntgenreflexe schwach waren. Grund hierfür ist wahrscheinlich die Anwesenheit von amorphen Ferrioxydgele. Letztere sind auch in den DTA-Kurven (Fig. 37) an der starken exothermen Reaktion bei 400 °C, wo sie zu Hämatit kristallisieren, zu erkennen. Dieser Lehm besteht im wesentlichen aus verschwemmtem und sekundär entkalktem jurassischem Material, an welchem opalinustonartiger Dogger einen erheblichen Anteil haben dürfte. Man kann sich gut vorstellen, daß die Ferrioxydgele aus Pyrit entstanden sind, wie er in den in Betracht kommenden Lieferschichten reichlich vorhanden ist. Die beiden Hauptmineralien Illit und Montmorillonit sind dioktaedrisch. Letztgenannter ist nach dem Li-Test ein Montmorillonit sensu stricto. Im Vergleich etwa zum Opalinuston hat der Illit einen sehr geringen Kristallisationsgrad. Vergleicht man den Mineralbestand des Lehms von Bubendorf mit jenem der Opalinustone (Tabelle 2), so fallen der hohe Montmorillonitgehalt und die viel niedrigeren Anteile an Illit, Kaolinit und Mixed-Layer-Illit/Montmorillonit auf. Vermutlich haben weitgehende Umwandlungen zu Tonmineralien mit mehr offenen Strukturen stattgefunden, wie sie auch in Böden von Opalinustonen festzustellen sind.

E 3: Brauner Lehm von Neunkirch

Die Tonfraktion besteht vorwiegend aus dioktaedrischem Illit vom Typ $2M_1$. Er verursacht vor allem die doppelte endotherme Reaktion bei 100 und 120 °C in der DTA-Kurve (Fig. 37). Die endotherme Reaktion bei 200 °C rührt vom Zwischenschichtwasser des Montmorillonits her. Dieser Montmorillonit ist dioktaedrisch, und der Basisreflex der Li-Form bleibt nach Heizen bei 250 °C und Glyzerinbehandlung bei 9,5 Å bestehen. Der in geringen Mengen vorhandene Kaolinit hat eine starke b-Achsen-Unordnung. Chlorit konnte nachgewiesen, aber nicht näher bestimmt werden. In den elektronenmikroskopischen Bildern sind fast nur Teilchen und Aggregate mit sehr unregelmäßigen Begrenzungen erkennbar. Die Goethitspindeln haben Dimensionen unter 0,1 μ .

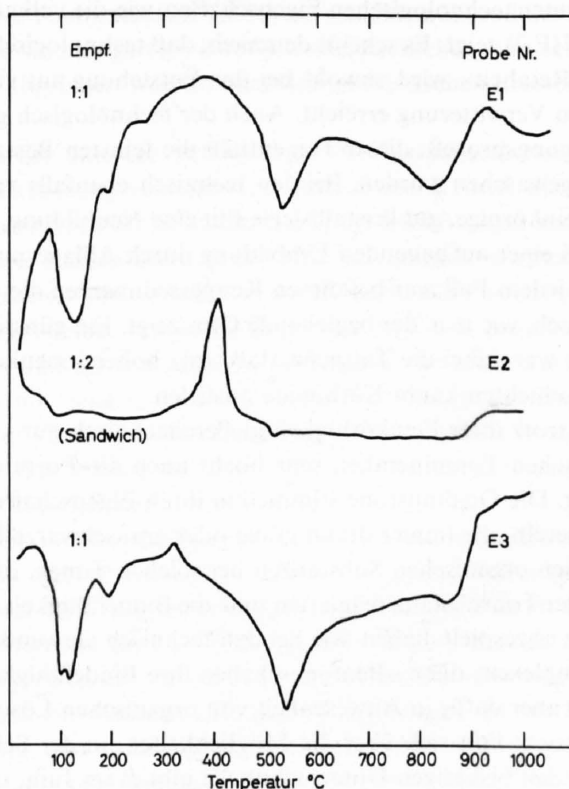


Fig. 37. DTA-Kurven des Löß-Lehms von Allschwil E 1, des Schwemmlehms von Bubendorf E 2 und des Lehms von Neunkirch E 3. Dekarbonatisierte Fraktion < 2 μ . Aufgeheizt mit 10°/min.

Diskussion

Nachstehend wird versucht, die Ergebnisse der technologischen und der mineralogischen Untersuchungen in Zusammenhang zu bringen, um abzuklären, ob die Eignung gewisser Tone als Bindemittel für Gießereiformsande mit der Art oder Ausbildung der enthaltenen Tonminerale verknüpft ist. Falls eine solche Korrelation feststellbar ist, so könnte man eine Beziehung zur Genese der Tone herstellen. Wenn man die Beziehungen zur Genese der Tone kennt, ist es möglich, mit Hilfe paläogeographischer Kenntnisse Voraussagen über eventuelle Vorkommen geeigneter Bindetone zu machen.

Technologisch geeignet erwiesen sich in erster Linie die vulkanogenen Tone aus dem Tessin, die Gips-Keupertone des Jura und die Bolustone des Jura. Die vulkanogenen Tone aus dem Tessin bestehen aus Illit/Montmorillonit-Wechselagerungsstrukturen und können als K-Bentonite bezeichnet werden. Die geeigneten Keupertone enthalten nur feinkörnigen Illit, die Bolustone feinkörnigen Kaolinit. Gemeinsames Merkmal dieser Tone ist also nicht die Art der Tonminerale, sondern eher die Feinkörnigkeit, wie bei den Keuper- und Bolustonen, oder die Dispergierbarkeit, wie bei den vulkanogenen Tonen. Nach R. E. GRIM und F. L. CUTHBERT (1945) sollten die Sandkörner der Formsande mit einem dünnen, möglichst gleichmäßigen Tonfilm umgeben sein, um optimale technologische Eigenschaften zu bekommen. Eine solche Tonhaut kann am besten mit Hilfe von feinblättrigen Teilchen mit regelmäßigen Begrenzungen aufgebaut werden. Mit unregelmäßig begrenzten Aggregaten von Tonmineralen, wie sie in den meisten Sedimenten auftreten, ist dies viel schwieriger.

Die vulkanogenen Tone sind bei der Umwandlung von Komponenten vulkanischer Asche im Meerwasser entstanden. Hier besteht wohl kein Zweifel, daß die montmorillonitischen Tonminerale Neubildungen sind. Auch bei den Bolustonen stellt das Hauptmineral Kaolinit eine Neubildung dar; die Entstehungsbedingungen waren hier jedoch anders als bei den vulkanogenen Tonen: der Kaolinit der Bolustone ist ein Produkt der starken, lateritischen Verwitterung, indem bei starker Durchwässerung die Alkalien, Erdalkalien und ein Teil des Siliziums weggeführt wurden. Aus dem verbleibenden Aluminium und dem Rest der Kieselsäure bildeten sich Kaolinitminerale. Dort wo die Verwitterung nicht so intensiv war, wie auch heute in unseren Breiten, bilden sich eher Montmorillonit-Wechselagerungsstrukturen. Solche Bodenmontmorillonite haben aber offensichtlich bei weitem nicht die guten technologischen Eigenschaften wie die vulkanogenen Montmorillonite, wie z. B. die Probe von Bubendorf (E 2) zeigt. Es scheint demnach, daß technologisch günstige Tone ziemlich hohe Reinheit voraussetzen. Die «Reinheit» wird sowohl bei der Entstehung aus vulkanischen Gläsern wie auch bei einer stark durchgreifenden Verwitterung erreicht. Auch der technologisch geeignete Ton von Bonfol entstand bei einem solchen Reinigungsprozeß: dieser Ton enthält die feinsten Bestandteile, die aus der Verwitterungsschicht der Vogesen ausgewaschen wurden. Bei den technisch ebenfalls verwendbaren Keupertonen ist noch nicht abgeklärt, ob der feinkörnige, gut kristallisierte Illit eine Neubildung, also aus Ionen in Lösung entstanden ist, oder ob er sich bei einer aufbauenden Umbildung durch Anlagerung von Ionen an einem detritischen Silikatgerüst bildete. In jedem Fall war bei diesen Keupersedimenten die detritische Zufuhr sehr gering und die Ionenkonzentration hoch, wie u. a. der begleitende Gips zeigt. Ein günstiger Umstand für die mögliche Verwendbarkeit als Bindetone war dabei die Tatsache, daß trotz hoher Ionenkonzentration zur Zeit der Ablagerung in einzelnen Keuperschichten kaum Karbonate ausfielen.

In den Opalinustonen, die trotz ihrer Feinkörnigkeit gießereitechnisch nur von untergeordnetem Interesse sind, ist der Anteil an detritischen Tonmineralen sehr hoch; auch die Form der meist zu Aggregaten vereinigten Teilchen ist ungünstig. Die Opalinustone stimmen in ihren Eigenschaften mit ähnlichen Vorkommen schwach bituminöser Tone überein, die immer durch graue oder grauschwarze Färbung gekennzeichnet sind. Es scheint, daß die vorhandenen organischen Substanzen bei solchen Tonen, die den Charakter einer Erdölmutterformation haben, mit der Tonsubstanz reagierten und die Bindefähigkeit nachteilig beeinflussten. Dabei können sich ähnliche Prozesse abgespielt haben wie bei den technisch verwendeten Bentoniten mit künstlich angelagerten organischen Komplexen; diese «Bentone» haben ihre Bindefähigkeit in Verbindung mit Wasser weitgehend eingebüßt, quellen aber dafür in Anwesenheit von organischen Lösungsmitteln und Fetten.

In tonmineralogischer Hinsicht läßt sich über die Möglichkeiten, in der Schweiz geeignete Bindetone zu finden, folgendes sagen: Nach den bisherigen Untersuchungen gibt es im Jura, im Mittelland und in den Südalpen wohl zahlreiche Vorkommen vulkanogener Tone, deren Mächtigkeit aber leider in den allermeisten Fällen so gering ist, daß eine wirtschaftliche Ausbeutung kaum je in Frage kommen wird. Nur aus der Molasse

(Miozän) sind rein montmorillonitische Bentonite hoher Bindefähigkeit bekannt. Für die vulkanogenen Tone des Südtessins ist anzunehmen, daß deren heutige mineralogische Beschaffenheit vermutlich entscheidend durch Reaktion mit Meerwasser (K-Aufnahme) und durch die spätere massive Überlagerung (wenigstens 2000 m) beeinflußt wurde. Vor allem resultierte daraus eine im Vergleich zu unveränderten Bentoniten stark reduzierte Bindefähigkeit. Es kann sich dabei nicht um eine bloße Alterungserscheinung handeln, denn aus der permischen Eccas-Serie der südafrikanischen Karoo-Formation werden völlig unveränderte, hochwertige Bentonite gewonnen (Parys, Oranje Freistaat, 100 km SW Johannesburg). Diese ältesten bekannten Bentonitvorkommen erhaltener hoher Bindefähigkeit waren aber nie stark überlagert und wurden zudem in eher terrestrischem Milieu gebildet. Demgegenüber zeigen karbonische, meist K-reiche Bentonite aus Polen und den USA («Meta-Bentonite» nach R. E. GRIM, 1953), die aus Schichten mit starker Überlagerung stammen, ganz die technologischen Eigenschaften der vulkanogenen Südtessiner Tone.

Wenn vielleicht auch in den Nordalpen ähnliche vulkanogene Tonlagen einmal vorhanden gewesen sein mögen, so hat sie die regionale Metamorphose doch wohl noch wesentlich stärker umgewandelt als jene des Südtessins.

Auch größere Vererzungen sind im Kristallin der Alpen selten, so daß die Wahrscheinlichkeit äußerst gering ist, in größerem Umfang plastische Tone hydrothermalen Entstehung zu finden, wie sie oft als Begleiter von Erzgängen auftreten. Immerhin kommen gerade im Kristallin der Südalpen (Malcantone, V. KOEPEL, 1966) Erzgänge mit begleitenden plastischen, hellen Tönen vor. Es erscheint möglich, daß diese Vorkommen mit dem permotriadischen Vulkanismus, der auch die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen vulkanogenen Tonlagen im Südtessin lieferte, in engstem Zusammenhang stehen.

Die wenigen Vorkommen paläozoischer Sedimente im Jura und in den Alpen sind durchwegs zu grobkörnig oder auch zu stark metamorph, als daß sie Vorkommen von Bindetonen erwarten ließen.

Was das Mesozoikum anbetrifft, so enthalten – von den bereits besprochenen Tonvorkommen abgesehen – dessen übrige Pelite entweder zuviel detritisches Material; meist lagen Abtragungs- und Ablagerungsgebiete zu nahe beieinander, und die Tonminerale wurden praktisch unverändert sedimentiert. War die detritische Zufuhr aber gering, so resultierte ein zu hoher Karbonatgehalt.

Nur bei weit entferntem Liefergebiet und gleichzeitig ionenreichem Ablagerungsmilieu konnten Umwandlungen und Neubildungen von Tonmineralien auftreten, wie dies während der Zeit des Gips-Keupers der Fall war. Solche Keupersedimente sind im ganzen östlichen und westlichen Jura sehr verbreitet; in den Alpen sind sie aber meist entweder nicht abgelagert worden oder einer präalpinen Erosion zum Opfer gefallen (M. FREY, 1968).

Erst im Eozän waren wieder günstige Bedingungen für Tonmineral-Neu- und -Umbildung vorhanden. Die intensive chemische Verwitterung erzeugte eine lateritische Kruste, die teilweise verschwemmt wurde. Dabei wurde das Abtragungsmaterial oft gewaschen, und die feinkörnigen kaolinitischen Tonminerale blieben in Taschen und Spalten der Karstoberfläche des Malm als Bolustone erhalten.

Wie bereits im technologischen Teil erwähnt, wird die Siderolith-Formation des Jura nach Westen im allgemeinen zunehmend sandiger; reine, sandarme Bolustone kommen praktisch nur im Gebiet des Kantons Schaffhausen vor. Andererseits sind nur aus dem westlichen Jura, vor allem aus dem Gebiet des Moron (Berner Jura) größere Karsttaschen mit reinen, tonarmen, ebenfalls durch Auslaugungsverwitterung ausgereiften Quarzsanden bekannt. Das zur Verfügung stehende Ausgangsmaterial (im Westen sandführende Kreide) dürfte für diese Unterschiede in der Ausbildung des Siderolithikums zusammen mit sicher nicht sehr weitreichenden Verschwemmungsvorgängen entscheidend gewesen sein.

Während des nacheozänen Tertiärs hoben sich die Alpen, worauf eine starke Erosion und schnelle Sedimentation der Verwitterungsprodukte in Form der Molasse einsetzte. Unter solchen Sedimentationsbedingungen konnten keine Tonmineral-Neu- und -Umbildungen stattfinden. Nur in einzelnen geschlossenen Becken der Süßwassermolasse im Mittelland oder im Jura wären sie eventuell noch zu erwarten. Das Klima war zu milde und die Sedimentation ging zu schnell vor sich, als daß die Verwitterung ausreifen konnte, um technisch brauchbare und vor allem auch karbonatarme Bindetone zu erzeugen. In den Molassebecken des Jura war die detritische Zufuhr wohl gering, und so kam es zu Tonmineral-Neubildungen (B. KÜBLER, 1962), aber gleichzeitig auch zu starker Karbonatausscheidung in Form von Seekreiden. Die Möglichkeit, daß es in der Süßwassermolasse einzelne Stellen gab, wo sich geeignete Tone bilden konnten, darf aber nicht völlig ausgeschlossen werden.

In den Zwischeneiszeiten und auch heute führt die Verwitterung wohl zu Tonmineralumbildungen von gut kristallisierten Glimmern zu Montmorillonit-Wechselagerungsstrukturen (Degradation), aber doch nicht zu Lagerstätten reiner Tone. Die Durchwässerung ist zu gering und das Klima zu milde, als daß sich aus den Auslaugungsprodukten reine montmorillonitische und kaolinitische Mineralien bilden könnten. Verschwemmte glaziale Lehme sind ohnehin meist wenig rein oder nicht ausreichend entkalkt.

Dankwort

Die Verfasser danken der «Studiengesellschaft zur Nutzbarmachung schweizerischer Lagerstätten mineralischer Rohstoffe», insbesondere auch deren Präsidenten, Herrn Direktor F. Fournier, Gerlafingen, für das Interesse, das sie dem Forschungsprojekt «Schweizerische Bindetone» entgegenbrachten. Ganz besonders sei dem Geschäftsführer der «Studiengesellschaft», Herrn Prof. Dr. Ernst Niggli, Bern, für die Förderung dieser Arbeit und für die anregenden Diskussionen gedankt. Herrn cand. min. J. P. Jenni danken wir für seine Hilfe im Labor und für die Reinzeichnungen, Herrn Dr. R. Giovanoli für die Mitwirkung bei den elektronenmikroskopischen Aufnahmen und Herrn Prof. Dr. Th. Hügi für eine chemische Analyse. Für die finanzielle Unterstützung der tonmineralogischen Untersuchungen möchten wir der Kommission zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung aus Arbeitsbeschaffungskrediten des Bundes besonders danken.

Literatur

- BRINDLEY, G. W. (1961): Kaolin, Serpentine and Kindred Minerals. In: X-Ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals. G. BROWN, ed., Min. Soc., London.
- BROWN, G., und NORRISH, K. (1952): Hydrous Micas. Mineral. Mag. 29, S. 929–932.
- DIETERT, H. W., GRAHAM, A. L., DAKSIEWICZ, R. T., und HANNA, T. H. (1962): Moldability and Mold Control, a New Approach. Trans. Amer. Foundrym. Soc. 70, S. 81–91.
- ENGELHARDT, W. VON, und GOLDSCHMIDT, H. (1954): A Clay Mineral from Provins (France). Heid. Beitr. Min. 4, S. 319–324.
- FREY, M. (1968): Quartenschiefer, Equisetenschiefer und germanischer Keuper – ein lithostratigraphischer Vergleich. Eclogae geol. Helv. 61/1, S. 141–156.
- GÖTZ, W. (1951): Kritische Betrachtungen zur Normprüfung für Formsande. Schweiz. Archiv angew. Wiss. u. Techn. 17/8, S. 225–248.
- GRAETER, P. (1952): Geologie und Petrographie des Malcantone (südliches Tessin). Schweiz. Min.-Petr. Mitt. 31/2, S. 361–483.
- GREEN KELLY, G. (1953): Identification of Montmorillonoids. J. Soil Sc. 4, S. 233–237.
- GRIM, R. E., und CUTHBERT, F. L. (1945): The Bonding Action of Clays; Part I: Clays in Green Molding Sands. Illinois State Geol. Survey, Univ. of Ill. Bull. 42/50, S. 1–64.
- GRIM, R. E. (1953): Clay Mineralogy. McGraw-Hill Book Co., New York.
- HOFMANN, F. (1956): Sedimentpetrographische und tonmineralogische Untersuchungen an Bentoniten der Schweiz und Südwestdeutschlands. Eclogae geol. Helv. 49/1, S. 113–133.
- HOFMANN, F. (1956): Zur Frage der Entstehung des glimmerartigen Tons in der Trias des Monte Caslano. Kanton Tessin. Schweiz. Min.-Petr. Mitt. 36/2, S. 489–496.
- HOFMANN, F. (1959): Modern Concepts on Clay Minerals for Foundry Sands. The Brit. Foundryman, 52/4, S. 161–170.
- HOFMANN, F. (1965): Einfache Sedimentationsversuche für die Formstoffprüfung. Gießerei 52/12, S. 375–382.
- HOFMANN, F. (1965): Neue Erkenntnisse über die Ursachen von Sandausdehnungsfehlern und Treiberscheinungen bei tongebundenen, Formsanden. Schweiz. Archiv angew. Wiss. u. Techn. 31/11, S. 333–348.
- HOFMANN, F. (1966): Technologie der Gießereiformstoffe. Georg Fischer AG, Schaffhausen.
- HOFMANN, F. (1966): Der Einfluß des Sandumlaufs auf Zustand und Eigenschaften betrieblicher Gießereiformsande. Gießerei 53/24, S. 818–827.
- HOFMANN, F. (1966): Vergleichende sedimentpetrographische Untersuchungen im Südtessin. Schweiz. Min.-Petr. Mitt. 46/1, S. 97–110.
- HOFMANN, F. (1967): Über die Tertiärbildungen im Kanton Schaffhausen. Mitt. Naturf. Ges. Schaffhausen 28, 1963/67, S. 117–210.
- HOFMANN, F. (1968): Determining Moisture Requirements of Molding Sands. Foundry, 96/1, S. 58–63.
- HOFMANN, F. (1968): Die Charakteristiken des Rüttelpressens und der Hochdruckpreßverdichtung – Konsequenzen für Formherstellung und Formstoffprüfung. Vortrag Nr. 5, Int. Gießerei-Kongreß Paris, 1967. Gießerei 55/12, S. 301–310.
- HOFMANN, F. (1969): Die Verdichtbarkeitsmessung als neues Prinzip zur Erfassung des Befeuchtungsgrades, des formgerechten Zustandes und des formtechnischen Verhaltens von Gießerei-Formsanden. Gießerei 56/2, S. 25–33.
- HOWER, J., und MOWATT, T. C. (1966): The Mineralogy of Illites and Mixed-Layers Illite/Montmorillonite. Amer. Min. 51, S. 825–854.
- KNECHTEL, M. M., und PATTERSON, S. H. (1962): Bentonite Deposits of the Northern Black Hills District, Wyoming, Montana and South Dakota. Geol. Survey Bull. 1082-M, S. 893–1030.
- KOEPEL, V. (1966): Die Vererzungen im insubrischen Kristallin des Malcantone (Tessin). Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Ser., Lief. 40.
- KÜBLER, B. (1962): Etude pétrographique de l'Oeningien (Tortonien) du Locle (Suisse occidentale). Beitr. Min. Petr. 8, S. 267 bis 314.
- KUHN-SCHNYDER, E. (1963): I Sauri del Monte San Giorgio. Archivio Storico Ticinese 16, S. 811–854.
- KUHN-SCHNYDER, E., und VONDERSCHMITT, L. (1954): Geologische und paläontologische Probleme des Südtessins. Eclogae geol. Helv. 46/2, S. 223–236.
- LAVIZZARI, L. (1845): Memoria terza sui minerali della Svizzera Italiana. Capolago.
- LAVIZZARI, L. (1849): Istruzione popolare sulle principali rocce del Cantone Ticino. Lugano.
- LAVIZZARI, L. (1863): Escursioni nel Cantone Ticino. Lugano.
- LEVELINK, H. G. (1958): Das Verhalten von grünem Formsand während einer plötzlichen Erhitzung im Hinblick auf das Entstehen von Gußfehlern. Gießerei 45/1, S. 1–9.
- LINIGER, H., und HOFMANN, F. (1965): Das Alter der Sundgauschotter westlich Basel. Eclogae geol. Helv. 58/1, S. 215–229.
- LINIGER, H. (1967): Pliozän und Tektonik des Jura gebirges. Mit einem Anhang von F. HOFMANN: Sedimentpetrographische Untersuchungen an den Vogesensanden, Vogesenschottern und Sundgauschottern. Eclogae geol. Helv. 60/2, S. 407–490.
- MAGYAR, ST., und VON MOOS, A. (1947): Der glimmerartige Ton in der Trias des Mte. Caslano. Kt. Tessin. Schweiz. Min.-Petr. Mitt. 27/1, S. 21–34. Beitr. Geol. Schweiz, Kl. Mitt. 12.
- MÜLLER, W., SCHMID, R., und VOGT, P. (1964): Vulkanogene Lagen aus der Grenzbitumenzone (Mittlere Trias) des Monte San Giorgio in den Tessiner Kalkalpen. Eclogae geol. Helv. 57/2, S. 431–450.
- OBERLIN, A., und TCHAUBAR, C. (1958): Etude en microscope et diffraction électronique de l'altération de la kaolinite par l'eau. Influence des sels dissous. Silicates Ind., 1–6.
- PATTERSON, W., und BOENISCH, D. (1961): Die Bedeutung der Festigkeit feuchter, tongebundener Formsande, insbesondere der Naßfestigkeit. Gießerei, Techn.-Wiss. Beih. 13/3, S. 157–193.
- PETERS, T. J. (1962): Tonmineralogische Untersuchungen an Opalinuston und einem Oxfordienprofil im Schweizer Jura. Schweiz. Min.-Petr. Mitt. 42/2, S. 359–380. Beitr. Geol. Schweiz, K. Mitt. 26.

- PETERS, T.J. (1964): Tonmineralogische Untersuchungen an einem Keuper-Lias-Profil im Schweizer Jura (Frick). Schweiz. Min.-Petr. Mitt. 44/2, S. 559–588. Beitr. Geol. Schweiz, Kl. Mitt. 32.
- REINHARD, M., und SPICHER, A. (1967): Geologischer Führer der Schweiz, Exkursion Nr. 25: Bellinzona – Monte Ceneri – Lugano – Manno – Malcantone – Monte Caslano – Val Colla – Morcote Halbinsel. S. 431–440.
- RIEBER, H. (1965): Zur Wirbellosen-Fauna der Grenzbitumenzone der mittleren Trias des Monte San Giorgio (Kt. Tessin, Schweiz). Eclogae geol. Helv. 58/2, S. 1083–1092.
- SCHALCH, F. (1916): Erläuterungen zu Blatt Nr. 145: Wiechs-Schaffhausen der Geologischen Spezialkarte des Großherzogtums Baden. Bad. Geol. Landesanst. u. Schweiz. Geol. Komm.
- VERNET, J. P. (1963): Le Sidérolithique du Mormont (Vaud). Bull. Lab. Geol. Min. Geophys., Musée Geol. Univ. Lausanne 143, S. 1–19.