

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
KLEINERE MITTEILUNGEN

Nr. 57

**Mineralogische und technologische
Untersuchungen an Ziegeltonen
aus der Molasse der NE-Schweiz**

von

TJ. PETERS, TH. MUMENTHALER
und J. P. JENNI

Vorwort der Schweizerischen Geotechnischen Kommission

In der vorliegenden Arbeit «Mineralogische und technologische Untersuchungen an Ziegeltonen aus der Molasse der NE-Schweiz» werden die am Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Bern durchgeführten Untersuchungen an schweizerischen Tonvorkommen fortgesetzt. Insbesondere werden drei Molasseprofile eingehend petrographisch und tonmineralogisch charakterisiert und die chemische Zusammensetzung und die Vorbehandlung der daraus gewonnenen Tonmischungen untersucht. Den Autoren sei für ihre gründliche Studie vielmals gedankt. Unterstützt wurden die Untersuchungen durch die Kommission zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, die Eidgenössische Stiftung zur Förderung schweizerischer Volkswirtschaft durch wissenschaftliche Forschung und die Zürcher Ziegeleien, ihnen sei der beste Dank ausgesprochen.

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

Zürich, Juni 1972.

Der Präsident der
Schweiz. Geotechnischen Kommission

Prof. F. DE QUERVAIN

Erscheint gleichzeitig in
«Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen»
Band 52, Heft 2, 1972

Mineralogische und technologische Untersuchungen an Ziegeltonen aus der Molasse der NE-Schweiz *)

Von *Tj. Peters* (Bern)**), *Th. Mumenthaler* (Zürich)***)
und *J. P. Jenni* (Bern)**)

Mit 10 Figuren und 3 Tabellen im Text

Abstract

The mineralogical composition and technical properties of brick raw materials from clay pits in the NE. Swiss Molasse basin were studied by X-ray diffraction and other methods. The clay fraction is mainly composed of illite, montmorillonite and chlorite. Kaolinite is found only in the deposits of the so called "Bodenseeschüttung" and can be used as marker for this fan.

High felspar contents are typical for the sediments of the lower fresh water Molasse. High quartz and calcite contents in the fraction $< 2 \mu$ characterize Molasse samples.

Processing-, pressing-, drying- and firing properties of these materials are discussed.

1. Allgemeines

Die Bedeutung der Molassesedimente für die schweizerische Ziegelindustrie ist seit Anfang des Jahrhunderts ständig gestiegen. In der Arbeit von E. LETSCH über die schweizerischen Tonlagerstätten (1907) bilden die Molassesedimente ca. 25% der zahlreichen, damals ausgebeuteten Tonvorkommen. Heute beträgt ihr Anteil wahrscheinlich mehr als 50%. Diese Tendenz ist nicht nur durch die günstige geographische Lage und die relativ hohen Vorräte der meisten Molassevorkommen bedingt, sondern auch durch die guten Anpassungsmöglichkeiten der Molassemergel an die strengen Fabrikationsbedingungen, die heute zur Erhöhung der Qualität des Endproduktes und der Produktivität in den modernen Ziegeleibetrieben gestellt werden.

Im zielgerichteten Fabrikationsprozess, wo es gilt, eine gleichmässige und

*) Erscheint gleichzeitig als «Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleine Mitteilungen Nr. 57».

**) Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität, Sahlistrasse 6, 3012 Bern.

***) Zürcher Ziegeleien, Postfach, 8021 Zürich.

gute Qualität mit einer möglichst grossen Ausbeute zu erzeugen, ist eine Fabrikationskontrolle unerlässlich. In diesem Sinne werden einerseits mit einfachen mineralogischen Kriterien die einzelnen Rohmaterialkomponenten genau definiert und stets in gleichen Mengen zudosiert, andererseits die in eingehenden Untersuchungen festgelegten Fabrikationsbedingungen, vom Rohmaterialabbau bis zum Brennen, möglichst konstant gehalten. Die erfassten Parameter werden laufend protokolliert sowie graphisch dargestellt und gestatten Rückschlüsse und Zusammenhangsbeurteilungen.

Nachfolgend werden einige Einflüsse der mineralogischen Zusammensetzung der Molassesedimente auf den Fabrikationsprozess und auf die Eigenschaften des Endproduktes beschrieben.

Weiter bilden die hier beschriebenen Untersuchungen einiger Ziegelei-Tonlager in der Nordostschweiz die Fortsetzung eines Projektes zur Erfassung des mineralischen Aufbaues schweizerischer Tonlager, im Hinblick auf die technische Verwendbarkeit anderer Tonvorkommen (PETERS, 1969). Gleichzeitig sollten sie einen Beitrag zur Kenntnis der Pelite liefern, die bis jetzt in der Nordostschweiz kaum tonmineralogisch bearbeitet wurden.

2. Rohmaterialabbau und Mischungen

Die in einer Grube angewendete Abbaumethode hängt in erster Linie von der geologischen Struktur des Vorkommens ab und hat das Ziel, eine oder mehrere Rohmaterialmischungen mit regelmässigen technologischen Eigenschaften rationell zu produzieren. Eine optimale Planung diesbezüglich wird nur dann erreicht, wenn die Struktur des Vorkommens mittels Kernbohrungen ermittelt ist und wenn alle repräsentativen Schichten mineralogisch und technologisch charakterisiert sind. Die Schichten werden nicht oder nicht unbedingt mit einer genauen petrographischen Nomenklatur definiert, weil es schliesslich darum geht, die Rohmaterialverhältnisse basierend auf den Unterscheidungsmerkmalen des Betriebsleiters und Grubenmeisters zu beurteilen. Aus diesem Grunde wird das Rohmaterial immer noch nach der Nomenklatur des Praktikers typisiert. Diese aus der Tradition geprägte Begriffsbildung bleibt bestehen, trotzdem die mineralogische Zusammensetzung sowie das entsprechende technologische Verhalten der einzelnen Schichten immer genauer spezifiziert wird.

Beschreibung der Proben

Grube Rafz (ZH): Bunte Mergel, wechsellagernd mit kalkigen Sandsteinen und wenig Tongesteinen werden hier abgebaut. Die schwach nach Süden einfallenden Schichten der unteren Süsswassermolasse (Aquitani) sind den in wenigen Kilometern Entfernung aufgeschlossenen Sedimenten des Tafeljuras aufgelagert. Im beiliegenden Profil (Fig. 1) ist die Schichtabfolge des mittleren

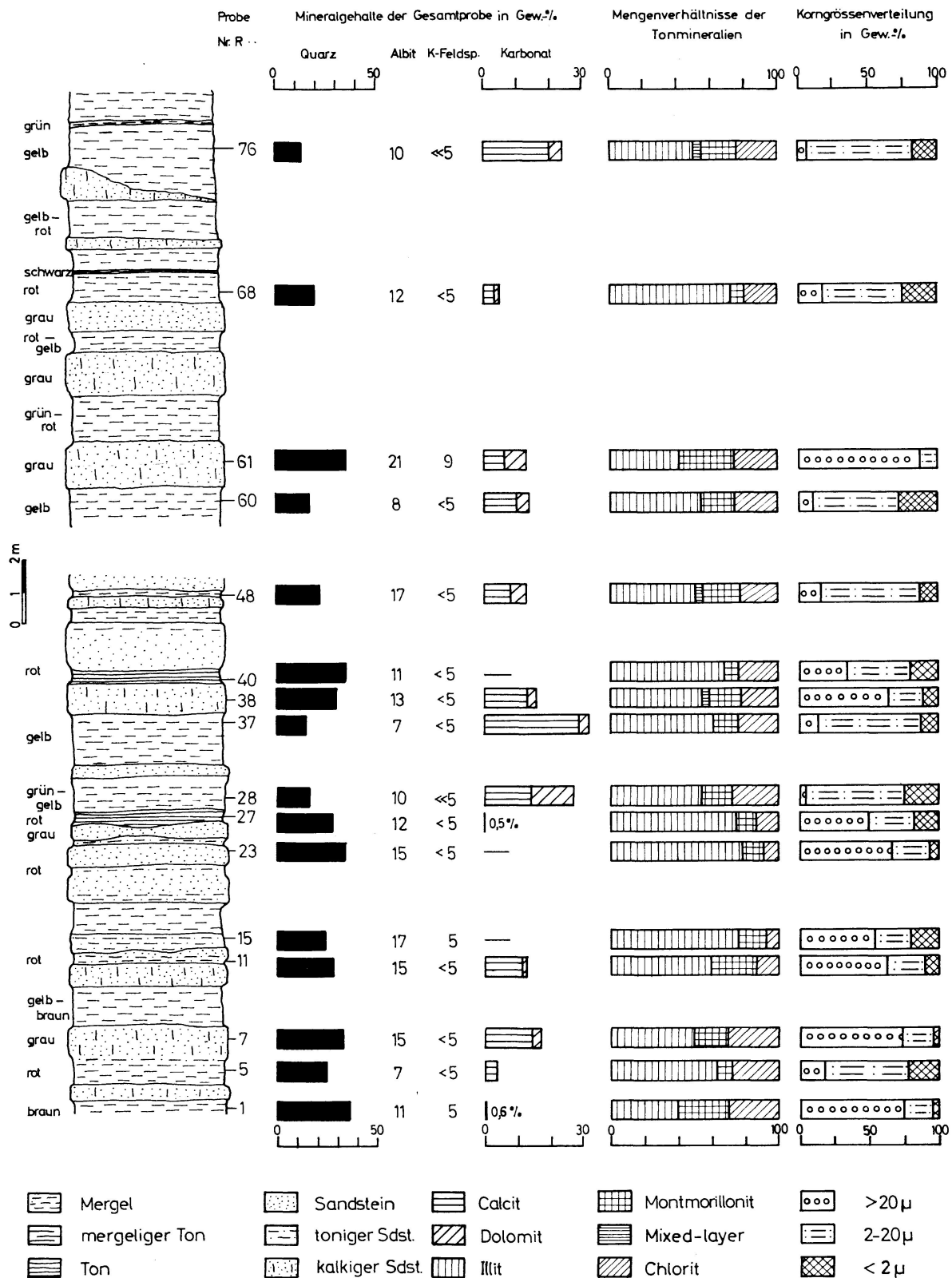


Fig. 1. Schematisches Profil und Zusammensetzung der untersuchten aquitanen Molassegesteine der Grube Rafz (ZH).

Teils der Grube – wie sie im Mai 1967 aufgeschlossen war – dargestellt. Einige kleine Rutschungen erschwerten dabei die Korrelation der verschiedenen Schichten in der Grube.

Aus der Vielfalt der wenig mächtigen und stark differenzierten Schichten in der Grube Rafz wird eine Einheitsmischung für Backsteine aufgebaut. Der Abbau erfolgt mit Scraper, die den ganzen Hang schief zum Schichtenverlauf abschürfen. Die geeigneten Schichten des Grubenprofils werden somit einheitlich abgebaut und durchmischt. Dadurch werden auch extreme Materialeigenschaften, die von einzelnen Schichten herrühren, weitgehend gemildert.

Grube Mettlen (Ziegelei Istighofen, TG): Hier sind dolomitische Mergel und Sandsteine der oberen Süsswassermolasse (Tortonien) aufgeschlossen. Die einzelnen Schichten lassen sich im allgemeinen sehr gut im grossen Grubenareal verfolgen. Nur gewisse Sandsteine, die als Rinnenfüllungen auftreten, haben einen lokalen Charakter.

Im Gegensatz zu Rafz, wo für einen differenzierten Abbau die Schichten zu wenig mächtig sind, zeigt das Grubenprofil von Mettlen (Fig. 2) bis 7 m mächtige homogene Mergelzonen, die schichtenweise periodisch abgebaut und in Zwischendeponien abgelagert werden. Von hier aus werden für die verschiedenen Produkte (Backsteine und Dachziegel) die entsprechenden Rohmaterialmischungen zusammengesetzt und weiter verarbeitet. Gewisse harte und für die Fabrikation ungeeignete Sandsteinschichten müssen ausgeschieden werden.

Grube Bruggwald (SG): Das Molasseprofil der Grube Bruggwald (Fig. 3) besteht aus einer relativ homogenen Serie von gelbblauen Mergeln mit einzelnen grauen, etwas kohligen Mergelhorizonten und stromrinnenartigen Sandsteinzonen. Kernbohrungen in der näheren Umgebung des Grubenareals haben gezeigt, dass diese harten, für die Fabrikation unbrauchbaren Sandsteinzonen innerhalb kurzer Distanz im Profil vorherrschend sein können.

Die Schichten der oberen Süsswassermolasse fallen mit 10–15° nach NW ein. Die aufgeschlossene Schichtfolge befindet sich wenige zehn Meter unterhalb des Überganges zum Sarmatien. Sie gehört nach HOFMANN (1969) der sog. Bodenseeschüttung an, die sich zwischen Hörnlichschüttung im Westen und Allgäuschüttung im Osten einfügt.

Da in Bruggwald nur eine standardisierte Backsteinqualität fabriziert wird, gelangt nur eine Rohmaterialmischung zur Verarbeitung. Analog Mettlen erfolgt der Abbau in Bruggwald nicht kontinuierlich; periodisch wird eine grosse Zwischendeponie errichtet, die, weil die einzelnen Mergelzonen in ihrer Zusammensetzung nicht stark voneinander verschieden sind, keinen grossen Schwankungen unterliegt.

3. Aufbereitung

Vom blockigen und harten Zustand der frischabgebauten Mergelschichten bis zum homogenen und plastischen Zustand der gepressten Masse durchschreitet das Rohmaterial eine Anzahl Aufbereitungsvorgänge. Zuerst wird das Material durch eine intensive mechanische Aufbereitung unter Wasserzugabe zerkleinert ($< 1\text{ mm}$), plastisch aufgeschlossen und homogenisiert. Fallweise ist je nach Endprodukt und Rohmaterialgegebenheiten eine weitere Aufschlussphase von mehreren Wochen im sog. Sumpfhäus notwendig. Der Dispergierungsprozess wird bei der Formgebung häufig durch eine Verpressung mit Wasserdampfzugabe weiter vervollständigt.

Je nach mineralogischer Beschaffenheit, Verfestigung und Verkittungsgrad des Rohmaterials ist für eine wirkungsvolle Dispergierung der Tonmineralien eine mehr oder weniger intensive Aufbereitung notwendig. Bekannt als schlecht dispergierbar sind z. B. die stark corrensithaltigen Bunten Mergel (SCHLENKER, 1971) des oberen Keupers, die trotz intensiver mechanischer Aufbereitung ungenügend aufgeschlossen werden, sowie der Opalinuston (MÜLLER-VONMOOS, 1970 und 1971), der zwar in einer modernen Aufbereitungsanlage fast vollständig aufgeschlossen werden kann. Molassemergel und besonders quartäre oder rezente Lehme oder Tone sind dagegen leichter zu dispergieren.

Um das technologische Verhalten (z. B. Aufschliessbarkeit, Verpressbarkeit, Schwindungs- und Brennverhalten) der verschiedenen Rohmaterialien aus der Grube labormässig beurteilen zu können, wird nach einer standardisierten Methode vorgegangen, bei welcher das Rohmaterial zuerst einen der Fabrikation entsprechenden Aufschlussgrad bekommt. Die in der Grube entnommenen Proben werden getrocknet, zerkleinert, mit Wasser auf einem bestimmten Konsistenzgrad angemacht, in einem Plastiksack während mehreren Tagen gelagert und anschliessend mit einer Laborstrangpresse in kleine Probekörper zur Bestimmung der Schwindung und der Brenneigenschaften verpresst. Die nach der Doppelpipetten-Methode durchgeführte Korngrössenfraktionierung in «Ton» ($< 2\text{ }\mu$), «Schluff» (2 bis $20\text{ }\mu$) und «Sand» ($> 20\text{ }\mu$) wird an diesem aufbereiteten Rohmaterial bestimmt. Der Unterschied in der Korngrössenverteilung zwischen aufbereitetem und nicht aufbereitetem Material gibt Auskunft über den Aufschlussgrad (Grad der Dispergierung) des Grubenrohmaterials. Je kleiner dabei die Zunahme der Tonfraktion $< 2\text{ }\mu$ nach der Aufbereitung ist, desto besser war der ursprüngliche Aufschlussgrad (Tab. 1).

In einer früheren Arbeit über schweizerische Ziegelrohstoffe (PETERS, 1969) kam zum Ausdruck, dass die untersuchten fertigen Ziegel- und Backsteinmischungen im Winkler-Diagramm alle in den engbegrenzten Bereich für dünnwandige Deckensteine fallen. Die untersuchten einzelnen Grubenproben, aus denen die Ziegel- und Backsteinmischungen hergestellt werden, fielen

Tabelle 1

	Zunahme der Tonfraktion ($< 2 \mu$) durch die Aufbereitung. Gew.-%
Quartäre Lehme oder Tone (gut aufgeschlossen)	1– 3%
Molassemergel (nicht verwittert, gut bis mittelmässig aufgeschlossen)	5–10%
Opalinuston (nicht verwittert, schlecht aufgeschlossen)	30–35%

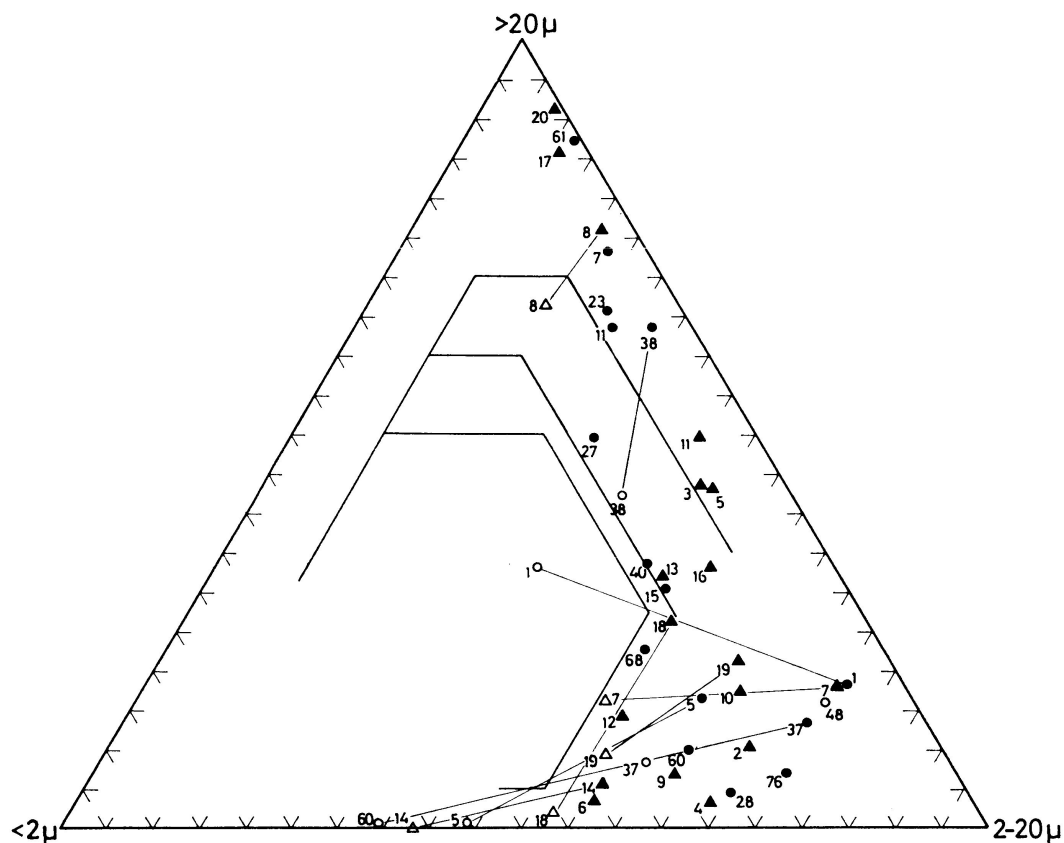


Fig. 4. Winkler-Diagramm mit den untersuchten Gesteinsproben von Rafz (Kreise) und Mettlen (Dreiecke). Ausgefüllte Kreise, bzw. Dreiecke stellen die nicht vorbehandelten, leere Kreise und Dreiecke die vorbehandelten Proben dar.

dagegen weit aus diesem Bereich heraus. Die gleiche Beobachtung wurde auch an den Proben aus den Gruben von Rafz und Mettlen gemacht. Diese liegen im Winkler-Diagramm alle ausserhalb dem Bereich für Dachziegel (Fig. 4).

Im Labor des mineralogisch-petrographischen Instituts werden die Proben ohne vorhergehende Behandlung schonend aufgeschlämmt – nach der Methode der Göttinger Sedimentpetrographen – um keine Veränderungen im Tonmineralienbestand herbeizuführen. Aus diesem Grund werden die Anteile an feinen Komponenten zu gering, wie vergleichende Untersuchungen im Labor der Zürcher Ziegeleien ergeben haben. Eine Anzahl gleicher Proben wurden dort nach der oben beschriebenen Vorbehandlung, die dem Zerkleinern und Sumpfen der

Rohmaterialien entspricht, einer Korngrössenanalyse unterworfen. Die Proben zeigten nun alle viel grössere Feinanteile. Um aus Korngrössenanalysen von tonigen Sedimenten stichhaltige Schlussfolgerungen für die Eignung als Ziegeleirohstoff ziehen zu können, ist es demnach unbedingt notwendig, diese einer dem grosstechnischen Verfahren entsprechenden Vorbehandlung zu unterwerfen.

4. Mineralbestand

Rafz: Der sandige Charakter der Schichten kommt im relativ hohen Quarzgehalt, dessen prozentualer Anteil zwischen 15 und 36 Gew.-% schwankt, zum Ausdruck (Fig. 1). Auch die Menge Albit (bis 20 Gew.-%) ist gross. Kalifeldspat war auch in allen Proben vorhanden. Die Karbonatanteile schwanken von 0 bis 30%, wobei im allgemeinen Calcit stark überwiegt. Das Calcit/Dolomit-Verhältnis (röntgenographisch bestimmt) liegt zwischen 1 und 6, wobei das Mittel etwa 4 sein dürfte.

Tonmineralien: *Illit* bildet die Hauptmenge der Tonmineralien. Er ist dioktaedrisch und vorwiegend vom M_1 -Typ mit einer Kristallinität (nach KÜBLER) von etwa 7. In den gröberen Fraktionen wird die Kristallinität besser, und gleichzeitig überwiegt der 2M-Typ. *Chlorit* ist in allen Proben vorhanden, wobei sein Anteil selten 25% übersteigt. Aus den Intensitäten der Basisreflexe würde man auf einen sehr Fe-reichen Chlorit, aus dem b-Parameter dagegen auf einen Fe-armen Chlorit schliessen. Eine ähnliche Erscheinung haben wir auch bei den früher untersuchten Molasseproben festgestellt. Es scheint, dass bei diesen Chloriten ein Teil der Oktaederplätze mit Aluminium besetzt ist und so einen teilweise dioktaedrischen Charakter erhält. Eine analoge Erscheinung wurde auch von M. FREY (1969) bei Chloriten aus dem Keuper festgestellt. *Montmorillonit s.l.* ist in Mengen von 5–35% variierend in allen untersuchten Proben angetroffen worden. Der Montmorillonit hat dioktaedrischen Charakter. In einigen Proben (Tabelle 2) ergab der Test von GREENE-KELLY (1954), dass sowohl Montmorillonit s.s. und Beidellit vorhanden sind, wobei allerdings ersterer deutlich überwiegt. *Mixed-layer Chlorit/Montmorillonit* ist in einigen wenigen Proben in kleinen Mengen angetroffen worden. Nach Brennen bei 550°C erscheint ein Basisreflex bei 12 Å, der in den lufttrockenen und mit Glycerol abgesättigten Präparaten nicht feststellbar war. Goethit konnte in den Proben R 1, R 11, R 23, R 37, R 48 und R 60 in den Diffraktogrammen an seinen Reflexen bei 4,18 Å erkannt werden.

Mettlen: In diesem Profil (Fig. 2) fallen vor allem die hohen Karbonatgehalte bis zu 55% und der hohe Dolomitanteil auf. Die Quarzmengen variieren zwischen 10 und 32%. Die Mengen an Albit sind meistens kleiner als 5%. Auch Kalifeldspat ist nur in wenigen Proben sicher nachweisbar.

Tonmineralien: *Illit* ist mit Montmorillonit das häufigste Tonmineral; wie

bei Rafz ist er dioktaedrisch und vom 1M-Typ. *Montmorillonit* tritt in grossen Mengen auf. Nach dem Test von Greene-Kelly an einigen Proben (Tabelle 2) überwiegt Montmorillonit s.s. stark gegenüber Beidellit.

Tabelle 2. *Montmorillonit s.s./Beidellit-Verhältnisse (M : B) einiger Proben aus den Gruben Mettlen und Rafz*

M : B			
M 7	1 : 0,5	R 1	1 : 0,75
M 8	1 : 0,9	R 5	1 : 0,75
M 14	1 : 0,3	R 37	1 : 0,2
M 18	1 : 0,25	R 38	1 : 0,6
M 19	1 : 0,7	R 60	1 : 0,5
		R 61	1 : 1,2

Chlorit kommt praktisch in allen Proben vor; bei einzelnen – z. B. M 17 und M 2 – erreicht sein Anteil fast 50%. Der Chlorit ist auf Grund der Intensitätsverteilung der Basisreflexe wahrscheinlich ziemlich Mg-reich. *Kaolinit* liess sich in einigen wenigen Proben röntgenographisch und mit Ultrarotspektroskopie nachweisen (Fig. 5). *Talk*. In verschiedenen Proben waren die

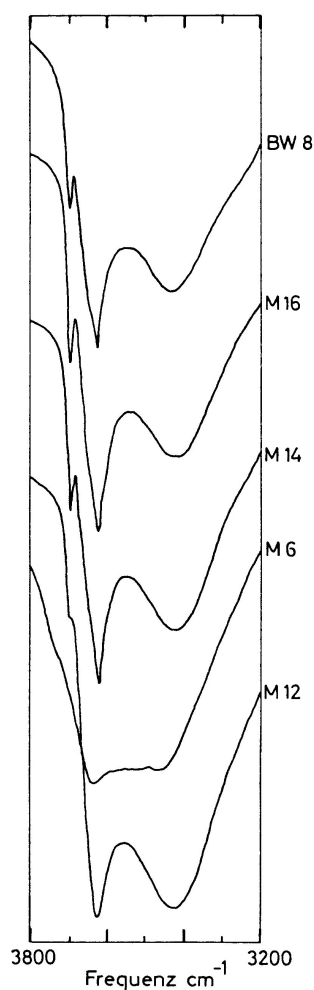


Fig. 5. Ultrarotspektren im Bereiche des OH-Bandes (3700 cm^{-1}) von kaolinitführenden Gesteinsproben aus den Gruben von Mettlen und Bruggwald (Backsteinmischung). Zum Vergleich ist auch eine Probe ohne Kaolinit (M 6) aufgeführt.

für Talk charakteristischen Basisreflexe bei 9,3 Å deutlich zu sehen. Obschon die Talk-Gehalte kaum 5% übersteigen, ist die Anwesenheit von Talk von Bedeutung für die Genese dieser Tonvorkommen.

Serpentinmineral. Auf einigen Guinier- und Diffraktometer-Aufnahmen sind Reflexe bei 7,35 Å und 3,65 Å zu sehen, die wahrscheinlich auf ein Serpentinmineral hindeuten. Die geringen Mengen dieses Minerals ermöglichen keine genauere Speziesbestimmung. *Goethit* findet man in sehr vielen Proben, wie z. B. M 2, M 4, M 7, M 9, M 12, M 13, M 16, M 18 und M 19; er scheint die starke Gelbfärbung der meisten Schichten zu verursachen. Die Mengenverhältnisse der Tonmineralien in dieser Schichtabfolge schwanken viel stärker als z. B. in der Grube Rafz.

Bruggwald: Die Quarzgehalte streuen über einen weiten Bereich von 15–65%, wobei die Mergel mit 20–30% Quarz und die Sandsteine mit 55–65% deutlich zwei Hauptgruppen bilden. Die Karbonatanteile liegen zwischen 12 und 40%. Im Gegensatz zu der gleichaltrigen Molasse von Mettlen überwiegt hier Calcit sehr stark gegenüber Dolomit.

Tonmineralien: *Illit* ist dioktaedrisch und vom 1M-Typ und in den meisten Proben das häufigste Tonmineral. *Montmorillonit* kann in gewissen Proben den Hauptanteil der Tonfraktion bilden. *Chlorit* ist in diesem Profil im Gegensatz zum Profil Mettlen nur in geringen Mengen vorhanden. Die Intensitätsverteilung seiner Basisreflexe lässt einen relativ eisenreichen Chlorit vermuten. *Kaolinit* tritt in geringen, aber immer gut nachweisbaren Mengen in allen Proben auf. Die 3,54 Å-Reflexe des Kaolinites waren deutlich unterscheidbar von den 3,51 Å-Reflexen des Chlorits. In den Ultrarotspektren war das für Kaolinit charakteristische OH-Band bei 3700 cm⁻¹ gut sichtbar (vgl. Fig. 5). *Mixed-layer Illit/Montmorillonit* konnte in einer Probe eindeutig nachgewiesen werden. *Goethit* konnte in fast allen Proben bestimmt werden. Die Goethitgehalte in den Tonfraktionen dürften etwa 5 Gew.-% betragen.

Diskussion des Mineralbestandes

Vergleicht man den Mineralbestand der Proben in den drei untersuchten Profilen, so fällt folgendes auf:

- a) Die hohen Feldspatgehalte in der Grube Rafz. Solch hohe Feldspatgehalte wurden auch in den Proben der Gruben Rapperswil (BE) und Pieterlen (BE) festgestellt und scheinen für die untere Süsswassermolasse charakteristisch zu sein.
- b) Der hohe Dolomitanteil in den meisten Proben der Grube Mettlen. Hohe Dolomit-Gehalte sind allgemein typisch für die tortonen Sedimente der Hörnli-Schüttung (HOFMANN 1965).

- c) Die Anwesenheit von Serpentinmineralien und Talk in der Tonfraktion einiger Proben von Mettlen kann mit dem grossen Anteil an Ophiolithkomponenten in der Hörnischüttung erklärt werden. Offenbar widerspiegeln sich die Ophiolithe des Rücklandes nicht nur in den Geröllen (DIETRICH 1968), sondern auch in den Tonfraktionen der Schüttung.
- d) Das Auftreten von Kaolinit in allen Proben der Grube Bruggwald. Bis jetzt wurde in der unteren und oberen Süsswassermolasse der West- und Mittelschweiz kein Kaolinit festgestellt. Er scheint auf die Ablagerungen der sog. Bodenseeschüttung beschränkt zu sein.
- e) Das Auftreten von Kaolinit in der mächtigen blauen Lehmbank der Grube Mettlen gibt einen Hinweis darauf, dass diese Schicht durch einen Auslauf der Bodenseeschüttung gebildet wurde. Eine weitere Unterstützung für diese Annahme finden wir im Calcit/Dolomit-Verhältnis. In dieser Schicht überwiegt Calcit stark gegenüber Dolomit, ähnlich wie bei den Proben von Bruggwald und im Gegensatz zu den anderen Proben der Grube Mettlen, welche einen hohen Dolomitanteil aufweisen.

Tabelle 3. *Chemische Analysen von Backsteinmischungen*

Werk	Rafz (ZH)	Istighofen (TG) (Grube Mettlen)	Bruggwald (SG)
Durchschnittsproben			
Glühverlust	11,60	23,89	17,70
SiO ₂	54,79	38,86	49,05
Al ₂ O ₃	14,18	5,82	11,14
Fe ₂ O ₃	3,98	3,28	2,80
TiO ₂	0,39	0,75	0,66
CaO	7,67	18,91	14,19
MgO	3,52	7,03	1,86
K ₂ O	1,63	0,80	1,27
Na ₂ O	1,34	0,29	0,33
P ₂ O ₅	0,12	0,33	0,08
«Ton» < 2 μ	36,6	36,8	41,3
«Schluff» 2–20 μ	33,2	38,2	33,8
«Sand» > 20 μ	30,2	25,0	24,9
Quarz	26,1	17,53	21,1
CaCO ₃	13,3	31,04	24,3
MgCO ₃	2,63	8,02	1,4
Tonfraktionen (< 2 μ)			
Glühverlust	11,25	13,25	12,30
SiO ₂	46,50	47,70	48,20
Al ₂ O ₃	21,28	18,21	18,83
Fe ₂ O ₃	7,73	6,05	5,84
TiO ₂	0,75	0,62	0,84
CaO	6,19	7,21	8,16
MgO	3,95	5,27	2,35
K ₂ O	1,22	2,28	2,58
Na ₂ O	0,35	0,98	0,80
P ₂ O ₅	0,12	0,17	0,09
Quarz	10,5	7,4	12,6
CaCO ₃	9,68	10,7	10,5
MgCO ₃	1,82	2,7	0,8

5. Chemische Zusammensetzung

In Tabelle 3 sind die chemischen Analysen der Durchschnittsproben und der entsprechenden Tonfraktionen von den Mischungen Rafz, Istighofen (Grube Mettlen) und Bruggwald aufgeführt. Auffallend sind dabei die grossen Unterschiede zwischen den einzelnen Durchschnittsproben. Jede Mischung zeigt die Charakteristiken des entsprechenden Molasseprofils. So ist z. B. die Mischung Rafz relativ quarzreich und kalkarm, die Mischung Istighofen (Mettlen) relativ quarzarm und kalkreich. Ausgeglichen ist dagegen die mineralogische Zusammensetzung der Tonfraktionen. Der Anteil an Quarz und Karbonaten in diesen Feinstfraktionen ist relativ hoch, was für Molasse-sedimente offenbar charakteristisch ist.

6. Verpressung

Bei der Verpressung orientieren sich die Tonteilchen vorzugsweise senkrecht zur Druckrichtung (F. MOORE und H. W. HENNICKE, 1967), was zu einer mehr oder weniger stark anisotropen Struktur des Scherbens führt. Charakteristisch für eine solche Struktur ist die Erscheinung sehr feiner, scharf abgegrenzter parallelorientierter Längsporen. Diese typische Mikrostruktur (Fig. 6), die im Extremfall die Qualität des Endproduktes beeinträchtigt, kann durch eine optimale granulometrische und mineralogische Zusammensetzung des

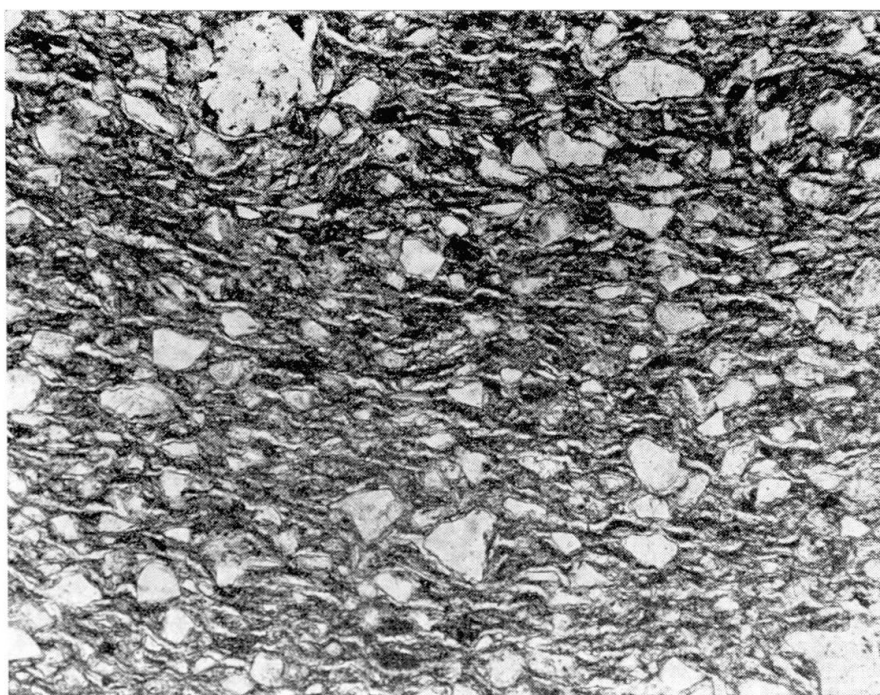


Fig. 6. Dünnschliffbild eines Ziegelscherbens mit stark anisotroper Textur, verursacht durch parallelorientierte Längsporen (im Bild die feinen weissen, welligen Gebilde); Vergr. $175 \times$.

Rohmaterials stark reduziert werden. Dazu bieten die Molassesedimente interessante Möglichkeiten, indem in einem Grubenprofil mehrere Komponenten mit unterschiedlicher granulometrischer und mineralogischer Zusammensetzung vorliegen.

7. Trocknung

Beim Trocknen unterliegt die gepresste Tonmasse einer Schwindung, die je nach mineralogischer und granulometrischer Zusammensetzung sehr unterschiedlich sein kann. Grosse Trockenschwindungen sind fabrikationstechnisch eine Gefahr, da sie zu Rissbildungen führen (Trockenempfindlichkeit). Es ist bekannt, dass tonreiche Materialien und solche, die quellbare Tonminerale wie z. B. Montmorillonit enthalten, wegen erhöhter Schwindung sehr trockenempfindlich sind. Durch Zugabe von gröberen Bestandteilen (Magerung) wird die Trockenschwindung kleiner. In den hier zur Diskussion stehenden Molasseprofilen können, in Abhängigkeit der Menge und Art der Tonminerale sowie

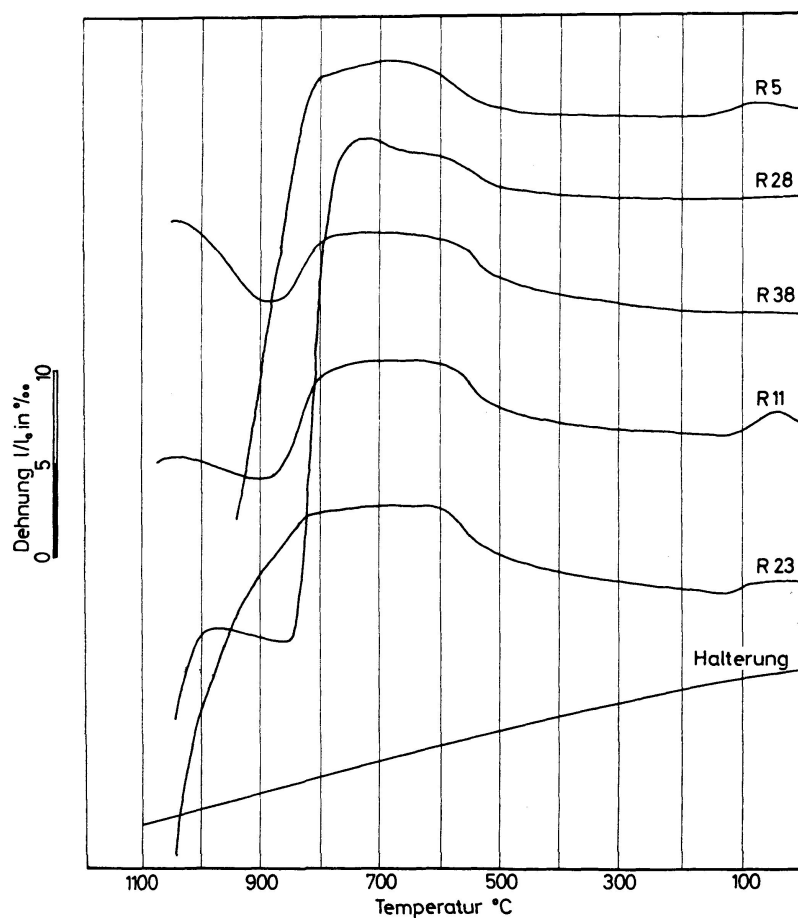


Fig. 7. Einige typische Dilatometerkurven von Proben aus der Grube Rafz.

der Magerungsmineralien wie Quarz, Kalk, Feldspat, ganz extreme Schwindungsverhältnisse gemessen werden. Im Fabrikationsprozess sind deshalb richtige Dosierung und die Homogenisierung der verschiedenen Schichten von grosser Bedeutung. Dabei ist aber zu bemerken, dass in qualitativer Hinsicht das Trockenverhalten nicht allein massgebend ist. Auch das Brennverhalten hat für die Qualität des Endproduktes schwerwiegende Konsequenzen. So sind stark gemagerte Rohmaterialien, die eine kleine Trockenschwindung zeigen, häufig rissanfällig im Brennprozess. Die Schwindung bei 100°C in den Dilatometerkurven (Fig. 7, 8 u. 9), bedingt durch die Abgabe des absorbierten Wassers, ist ein Mass für das Trockenverhalten. In den meisten Proben von Rafz hat sie ein kleineres Ausmass als in denjenigen von Mettlen. Dieser Unterschied wird durch den mehrheitlich sandigen Charakter der Rafzer Proben bedingt.

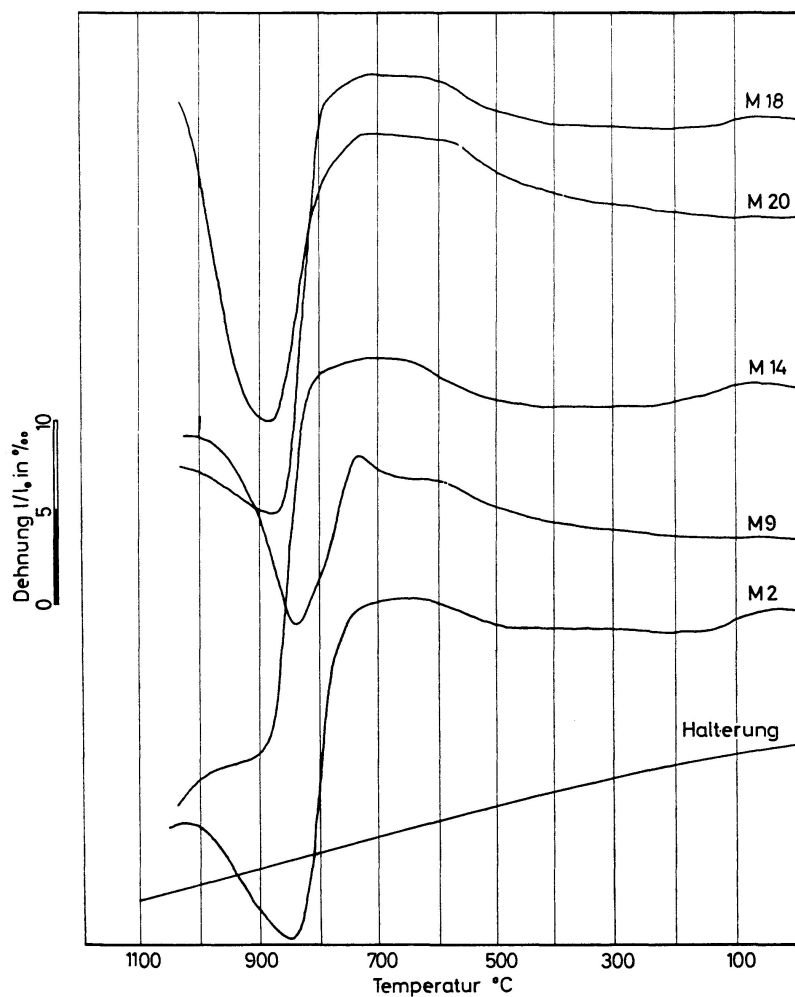


Fig. 8. Einige typische Dilatometerkurven von Proben aus der Grube Mettlen.

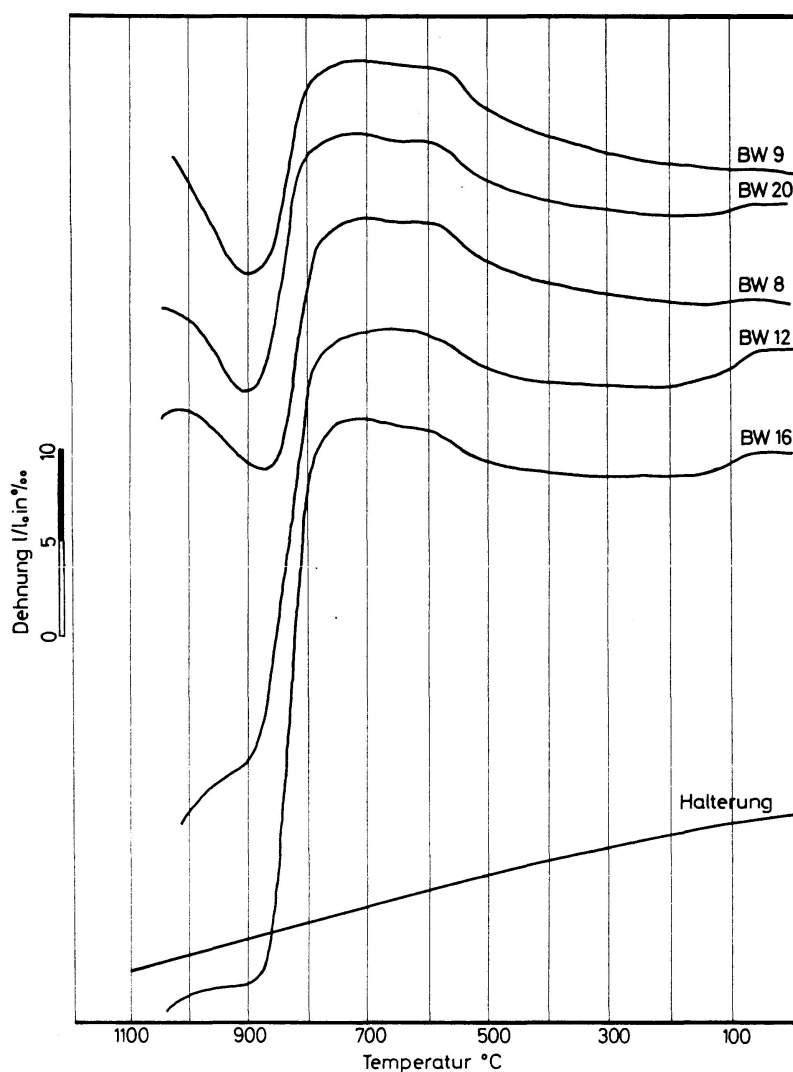


Fig. 9. Einige typische Dilatometerkurven von Proben aus der Grube Bruggwald.

8. Brennen

Das thermische Verhalten von Molassemergeln wurde von R. IBERG (1971) beschrieben. Von Bedeutung sind die feinverteilten Karbonate, die schon ab ca. 650°C mit den silikatischen Bestandteilen (Tonmineralien, Quarz usw.) reagieren und ab ca. 900°C – nach der vollständigen CO₂-Dissoziation – in grossen Mengen Neubildungen wie z. B. Gehlenit, Wollastonit, Anorthit hervorrufen. Über diese Mineralreaktionen wird in anderen Arbeiten (IBERG et al. 1972 und PETERS, JENNI) (im Druck) ausführlich eingegangen. Die Reaktionen im festen Zustand, besonders zwischen dem feinverteilten Kalk und den Silikaten, die CO₂-Dissoziation sowie die rasche Kristallisation der Neubildungen oberhalb 900°C können auf die Qualität des Endproduktes einen grossen Einfluss haben. Fig. 10 zeigt z. B. den Druckfestigkeitsverlauf von Backsteinen aus zwei Molassemischungen in Funktion der Brenntemperatur.

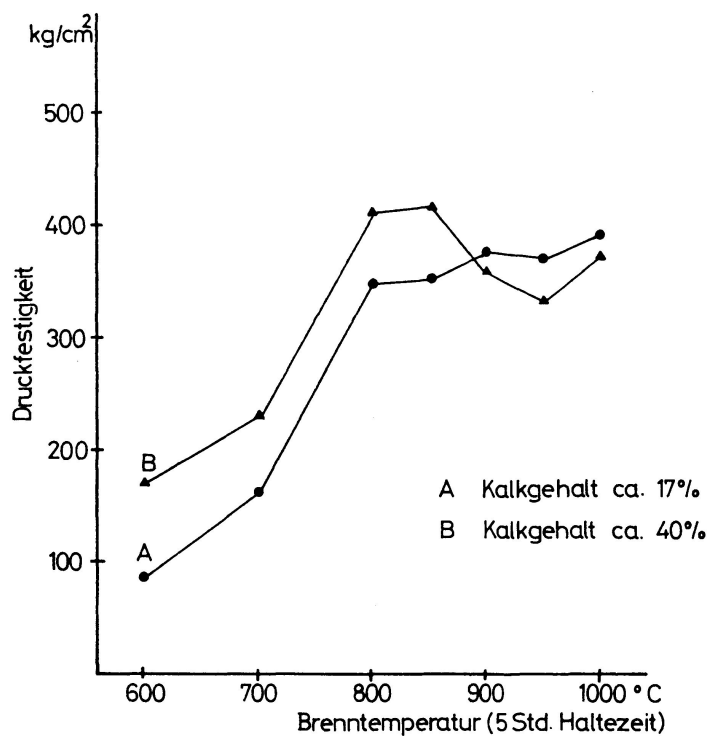


Fig. 10. Druckfestigkeiten von Backsteinen in Abhängigkeit von der Brenntemperatur.

Interessant dabei ist die ausgeprägte Erhöhung der Druckfestigkeit zwischen 600 und 900°C, sowie der starke Festigkeitsabfall zwischen 900 und 1000°C bei der kalkreicheren Mischung.

Die Kommission zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (BIGA-Projekt Nr. 388), die Eidg. Volkswirtschaftsstiftung und die Schweiz. Geotechnische Kommission ermöglichten mit ihren finanziellen Beiträgen die Durchführung der Untersuchungen, wofür wir ihnen unsern Dank aussprechen möchten, ebenso Herrn Prof. Dr. E. Niggli für seine Unterstützung. Weiter danken wir der Direktion der Zürcher Ziegeleien für die Freigabe der Unterlagen. Herrn Jacques Christen sei für die minutiöse Durchführung der chemischen Analysen bestens gedankt.

Literatur

- DIETRICH, V. (1968): Die Ophiolithe des Oberhalbsteins (Graubünden) und das Ophiolithmaterial der ostschweizerischen Molasseablagerungen, ein petrographischer Vergleich. Diss. Zürich, Verlag Herbert Lang, Bern.
- FREY, M. (1969): Die Metamorphose des Keupers vom Tafeljura bis zum Lukmaniergebiet. Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F. 137.
- HOFMANN, F. (1956): Untersuchungen in der subalpinen und mittelländischen Molasse der Ostschweiz. Eclogae geol. Helv. 49/1.
- IBERG, R. (1971): Beitrag zur Thermochemie von Ziegelton. Tonind.-Ztg. 95.
- IBERG, R., PETERS, T.J. und MUMENTHALER, TH. (1972): Beitrag zur Thermochemie von Ziegelton. II. Tonind.-Ztg. 96.

- KÜBLER, B. (1966): La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme. In: Festschrift Wegmann, Etages Tectoniques, La Baconnière Neuchâtel.
- LETSCH, E., ZSCHOKKE, B., ROLLIER, L. und MOSER, R. (1907): Die schweizerischen Tonlager. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie, 4. Lfg.
- MOORE, F. und HENNICKE, A. W. (1967): Rheologie in der Keramik. Verlag H. Huberer, Goslar.
- MÜLLER-VONMOOS, M. und JENNY, F. (1970): Einfluss der Beschaffung auf Körnung, rheologische Eigenschaften, Sedimentationsverhalten und Injizierbarkeit wässriger Opalit-Suspensionen. Beitr. Geol. Schweiz, Kl. Mitt. Nr. 50.
- MÜLLER-VONMOOS, M. (1971): Zur Korngrössenfraktionierung tonreicher Sedimente. Beitr. Geol. Schweiz, Kl. Mitt. Nr. 54.
- PETERS, Tj. (1961): Tonmineralogische Untersuchungen an Glazialmergeln von Zollikofen und an aquitanen Tonen und Mergeln von Pieterlen. Beitr. Geol. Schweiz, Kl. Mitt. Nr. 23.
- (1969): Mineralogische Untersuchungen an einigen schweizerischen Ziegeleirohstoffen. Beitr. Geol. Schweiz, Kl. Mitt. Nr. 46.
- SCHLENKER, B. (1971): Petrographische Untersuchungen am Gipskeuper und Lettenkeuper von Stuttgart. Diss. Eberhard-Karls-Universität Tübingen.

Manuskript eingegangen am 21. März 1972.