



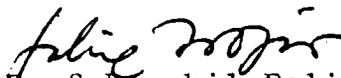
Diplomarbeit für Herrn cand.ing. Kurt EMLER

Thema: Geblähte Zuschlagstoffe aus Kieselgur von Aflenz

Für eine Verwendung der in Aflenz in größerer Menge vorkommenden Kieselgur, sind von verschiedenen Firmen Versuche beabsichtigt. Eine voraussichtliche Möglichkeit für die stark mit Illit verunreinigte Kieselgur, besteht in der Erzeugung von geblähten Zuschlagstoffen für Konstruktionsleichtbeton.

Dem Kandidaten wird das Studium dieser Frage im Rahmen einer Diplomarbeit übertragen. Hierzu ist im Laufe der Vorbereitungen ein entsprechendes Literaturstudium anzustellen. Sodann wäre die Mineralogie und die Verteilung der Mineralphasen, der auf 0 bis 1 mm zerkleinerten Kieselgur, auf die einzelnen Kornklassen zu untersuchen. Darauf zu folgen haben Blähversuche an etwa 1 bis 2 cm großen Gesteinspartikeln (wenn vorhanden) und an handgeformten Granalien aus Feinmehl mit verschiedenen Blähhilfsmitteln, wie Heizöl, Kohlenstaub, kohlehaltige Schlämme von Kohleaufbereitungen und gegebenenfalls unter Zusatz von Fe_2O_3 -haltigen Abfallprodukten, bei Temperaturen zwischen 900 und 1200°C. Wenn möglich soll mit Hilfe einer selbst zu bauenden Einrichtung der Durchgang in einem Drehrohrofen simuliert werden. Das Ausmaß der Blähung wird mittels Seesand in Meßzylindern ermittelt. Interessant wären auch Überlegungen zur Herstellung von feingekörnten, geblähten Zuschlägen und Beobachtungen während der Versuche, die auf eine weitere andersartige Verwendungsmöglichkeit hinweisen.

Die Diplomarbeit ist so bemessen, daß sie innerhalb eines Semesters durchgeführt werden kann. Sie darf einschließlich Literaturverzeichnis und Abbildungen nicht mehr als 80 Seiten betragen.


o.Univ.Prof.Dr.phil.Felix Trojer

I N H A L T

1.	Einleitung	1
2.	Theoretische Grundlagen des Bläh- vorganges	2
2.1.	Das Erweichungsverhalten der Tone	2
2.2.	Entstehung der Blähgase	5
2.3.	Einfluß der Aufheizgeschwindigkeit	8
2.4.	Einfluß von Zusätzen bei von Natur aus nicht blähenden Tonen	9
3.	Versuchsdurchführung	10
3.1.	Die Probenahme	10
3.2.	Probeteilung und Zerkleinerung	11
3.3.	Die Korngrößenanalyse	12
3.4.	Chemische und mineralogische Untersuchung .	14
3.5.	Blähversuche	17
3.5.1.	Ofenkonstruktion	17
3.5.2.	Herstellung der Versuchspellets	18
3.5.3.	Durchführung der Blähversuche	21
3.5.4.	Ergebnisse der Blähversuche	22
3.5.5.	Diskussion der Ergebnisse und Schluß- folgerung	28
4.	Andere Verwendungsmöglichkeiten	30
4.1.	Verwendung als Bindemittel	30
4.1.1.	Verwendung des bei 1373 K gebrannten Mer- gels als latent-hydraulischer Zuschlag zu Zement	33
4.1.2.	Verwendung als Mischbinder	39
5.	Zusammenfassung	43
6.	Literaturverzeichnis	45

1. Einleitung

Unter Blähton versteht man aus mineralischen Rohstoffen, vorzugsweise Tonen und Tonschiefern hergestellte Granulate, die Korndichten von 0,6 bis 1,0 g/cm³ aufweisen. Die zur Erzeugung nötigen Temperaturen liegen bei 1273 bis 1573 K. Dieses poröse keramische Produkt soll neben einer möglichst feinen gleichmäßigen Zellstruktur im Inneren und einer dichten glasigen Außenhaut ein sehr geringes Wasseraufsaugevermögen aufweisen.

Solche Blähtongranulate finden hauptsächlich folgende Verwendung:

1. Als lose Schüttungen zu Isolierzwecken
2. Als Zuschlag in Isolierbeton
3. Als Leichtzuschlag in Betonsteinen
4. In Betonfertigteilen
5. In Leichtbeton hoher Festigkeit (B 300 und mehr)
6. In Leichtspannbeton

Das Blähtongranulat übernimmt im Beton die Rolle des Zuschlages, der üblicherweise aus Splitt, Kies und Sand besteht, ist also wesentlich für die Festigkeit des Betons verantwortlich.

Die wirtschaftliche Bedeutung von Leichtbeton ergibt sich neben der Schall- und Wärmedämmung aus dem geringen Gewicht der Bauteile, das sich auf die Kosten beim Transport (Fertigteile) und bei der Armierung von Konstruktionsleichtbeton (Bauwerke, Spannbeton) günstig auswirkt.

Die Aufgabe einschlägiger Gesteinshüttenbetriebe ist es, die Bauwirtschaft mit geeigneten Blähtongranalien zu versorgen, wozu vorab eingehende Untersuchungen über die Verwendungsfähigkeit des in Aussicht genommenen Rohstoffes vorgenommen werden müssen. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein steirischer Rohstoff auf seine Brauchbarkeit

zur Erzeugung von Blähtongranulat untersucht.

2. Theoretische Grundlagen des Blähvorganges

Bläherscheinungen an grobkeramischen Produkten treten dann ein, wenn die bei hohen Temperaturen (in der Regel über 1273 K) eintretende Schmelzphasenbildung mit einer Gasbildung in ausreichender Menge einhergeht.

Von wesentlicher Bedeutung ist einerseits das Erweichungsverhalten des Tones, andererseits die Gasbildung. Ist die Viskosität der Schmelzphase zu hoch, wird dem Gasdruck ein zu großer Widerstand entgegengesetzt, ist sie zu niedrig, können die entstehenden Gase aus der Masse entweichen. In beiden Fällen tritt klein Blähen ein.

2.1. Das Erweichungsverhalten der Tone

Das Erweichungsverhalten wird grundsätzlich von der Zusammensetzung des Rohstoffes beeinflusst, wengleich dessen Feinheit für den Beginn der Schmelzphasenbildung im technischen Herstellungsprozeß eine Rolle spielt.

Ch. M. Riley (1) stellt ein Dreikomponentensystem mit den Eckpunkten Al_2O_3 , SiO_2 und der Summe aller Flußmittel (CaO , MgO , FeO , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O) auf, in das er die auf glühverlustfreie Substanz berechneten Analysenwerte von blähenden und nicht blähenden Tönen eintrug und ein Gebiet eingrenzte, das die Zusammensetzungen blähender Tone umschließt. Dieser Bereich wird durch Angaben von Wilson (2) erweitert beziehungsweise ergänzt.

In diesem Gebiet liegen die Zusammensetzungen jener Tone, deren Viskositätsverhalten im Temperaturbereich von 1273 bis 1573 K für das Blähen günstig ist.

In Bild 1 ist das Riley'sche Dreistoffsystem dargestellt.

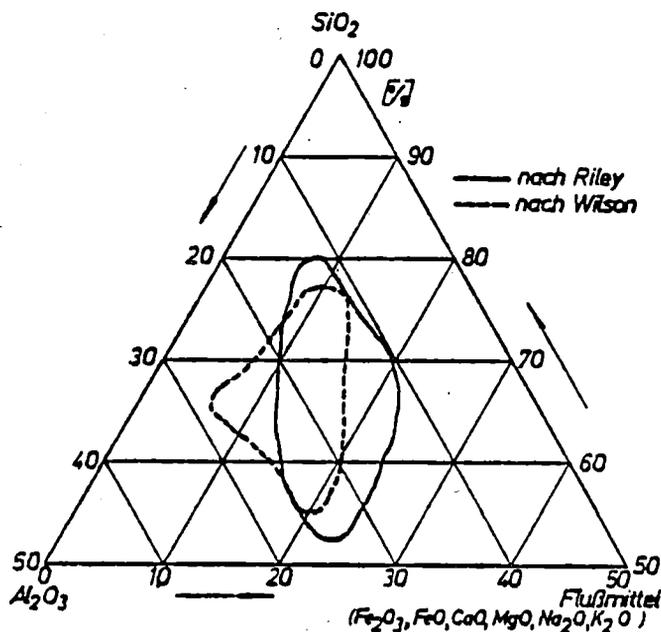


Bild 1: Dreikomponentensystem nach Riley (1) und Wilson (2) mit eingezeichneten Bereichen blähfähiger Tone.

Die Richtigkeit dieser Annahme bestätigte Riley dadurch, daß er nicht blähenden Tonen mit zu hohen Flußmittelgehalten SiO_2 und Al_2O_3 in solchen Mengen zusetzte, daß ihre Zusammensetzung in das Gebiet der Blähfähigkeit gelangte. Die aus solchen Mischungen gebrannten Pellets zeigten dieselben Bläheigenschaften, wie natürliche Tone ähnlicher Zusammensetzung.

Daraus läßt sich ableiten, daß die chemische Analyse für die Beurteilung der Blähfähigkeit eines Rohstoffes insofern von Bedeutung ist, als man a priori abschätzen kann, ob daraus die Herstellung von Blähprodukten überhaupt möglich ist.

Von großer Bedeutung für den technischen Herstellungsprozeß ist das Temperaturintervall zwischen beginnender Erweichung des Rohstoffes und haltlosem Zusammensinken bei Erreichen des Schmelzpunktes. Man untersucht dieses Intervall in der Regel an 3 mm^3 -großen würfelförmigen Proben

unter dem Erhitzungsmikroskop. Die Auswertung des Schwindungs-Dehnungs-Verhaltens erfolgt so, daß die Projektionsflächen der Probekörper bei den verschiedenen Temperaturen ausplanimetriert und in Beziehung zur Ausgangsfläche gesetzt werden.

Bild 2 zeigt das Schwindungs-Dehnungs-Verhalten verschiedener Tone nach F. Möller (3).

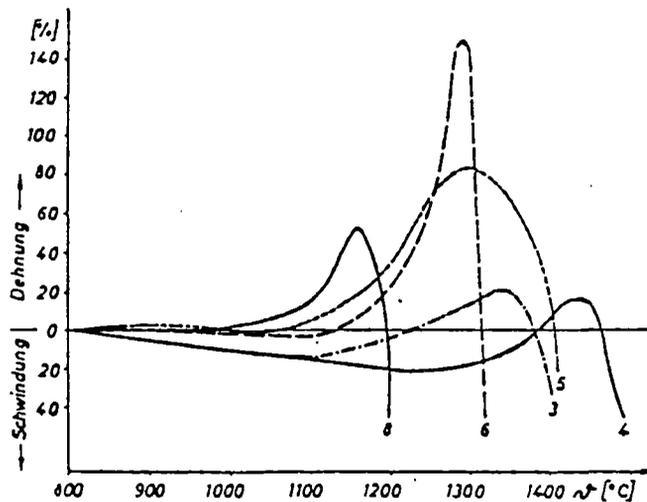


Bild 2: Schwindungs-Dehnungs-Verhalten verschiedener Tone im Erhitzungsmikroskop (3).

Daraus ist zu ersehen, daß Ton 5 ein sehr breites Blähintervall besitzt, Ton 6 hingegen nur ein sehr schmales. Ein breites Blähintervall deutet auf eine geringe Abnahme der Viskosität mit steigender Temperatur hin, so daß die Bildung von Ansätzen und Klumpen im Ofen nicht so leicht eintritt, wenn die Blähtemperatur kurzfristig überschritten wird.

Im praktischen Betrieb kann man das Blähintervall natürlich nicht bis zum Schmelzpunkt ausnützen, da die Gefahr der Ansatz- und Klumpenbildung zu groß wäre. Es hat sich als nützlich erwiesen die Ofentemperatur so einzustellen, daß das

Blähintervall vom Erweichungspunkt aus gemessen nur zur Hälfte genutzt wird, wodurch ein Zusammenbacken der Pellets mit Sicherheit vermieden wird.

2.2. Entstehung der Blähgase

Die Frage, welche Gase das Blähen bewirken und wodurch sie entstehen, stellt ein außerordentlich wichtiges Problem dar und war deshalb Gegenstand vieler Forschungsvorhaben.

Leider gibt es bis heute keine zuverlässige Methode, um die Gase in den geblähten Pellets untersuchen zu können. Ein Zerdrücken der Pellets unter Wasser verfälscht die Ergebnisse zu stark, da verschiedene wasserlösliche Gase wie z.B. SO_3 nur unvollständig erfaßt werden.

H. Schmidt und G. Piltz (4) beschreiben eine Apparatur, bei der die noch glühenden Pellets unmittelbar nach dem Blähvorgang unter Quecksilber mittels einer Spezialzange zerdrückt werden. Die austretenden Gase werden in einem mit Hg gefülltem Trichter gesammelt, anschließend in eine evakuierte Gasmaus abgezogen und der Analyse zugeführt. Aber diesem Verfahren haftet ebenso wie allen anderen der Nachteil an, daß bei auch nur kurzfristigem Abkühlen der Granalien in den Poren ein Unterdruck entsteht, der eine Diffusion der Luft in die Poren zur Folge hat, was natürlich eine Verfälschung des Analysenergebnisses mit sich bringt.

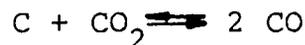
Deshalb können Gasanalysen aus geblähten Pellets nur Anhaltswerte liefern.

Das Entstehen der Blähgase ist nach übereinstimmender Auffassung fast aller mit diesem Problem beschäftigten Autoren an ein reduzierendes Milieu im zu blähenden Pellet gebunden. Aus diesem Grund ist ersichtlich, daß sich besonders solche

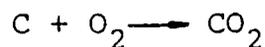
Tone zur Blähtonherstellung eignen, deren Gehalt an organischen Substanzen einem oberen Grenzwert von etwa 5 % zustrebt.

H. Hoffmann (5) beschreibt die gasbildenden Reaktionen unter Einfluß des reduzierenden Milieus im Pellet. Danach ist ein gutes Blähvermögen dann zu erwarten, wenn noch etwa 0,5 % organische Substanz bei der Bildung der pyroplastischen Phase vorhanden sind.

Im Temperaturbereich oberhalb 1273 K ist die reversible Reaktion



von entscheidender Bedeutung. Eine direkte Verbrennung

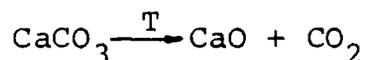


ist nur an der Grenzschicht der organischen Teilchen möglich. Das gebildete CO_2 liegt als molekulare Schicht um das Kohlenstoffpartikel und reagiert mit ihm nach der Boudouard-Gleichung zu CO . Diesen Vorgang nennt man Vergasen des Kohlenstoffes.

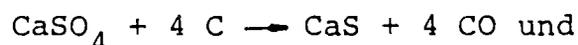
Eine weitere Vergasung wird durch den Wasserdampf, der aus der Verflüchtigung des Adsorptionswassers und der Entwässerung der Tonminerale kommt, hervorgerufen:



Außer den organischen Substanzen sind an der Bildung des reduzierenden Milieus im Pellet auch die thermischen Zersetzungsprodukte der Karbonate beteiligt,

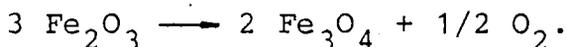


wobei sich das CO_2 weiter an der Vergasung des Kohlenstoffes aus den organischen Substanzen beteiligt. Weitere Reduktionsgase stammen aus Reaktionen zwischen anorganischen und organischen Komponenten, z.B.:

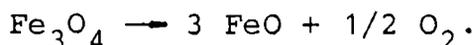




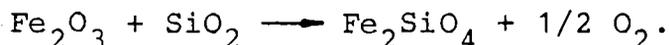
Unter der Wirkung der reduzierenden Atmosphäre werden verschiedene gasbildende Reaktionen in einen für das Blähen günstigen Temperaturbereich verlegt. Die Reduktionstemperatur des Eisen(III)-oxides liegt in oxidierender Atmosphäre bei 1673 K. Bei Anwesenheit von Kohlenstoff, Siliziumdioxid und Tonmineralen findet diese Reaktion schon knapp oberhalb 1273 K statt, wobei Sauerstoff freigesetzt wird, der wiederum mit C reagiert:



Eine gleiche Tendenz ist beim Übergang des Magnetits in das zweiwertige Eisenoxid zu beobachten:



In reduzierender Atmosphäre bilden sich aus Eisen(III)-oxid und Siliziumdioxid Fayalith und Sauerstoff, der in statu nascenti wiederum mit Kohlenstoff beziehungsweise Kohlenmonoxid reagiert:

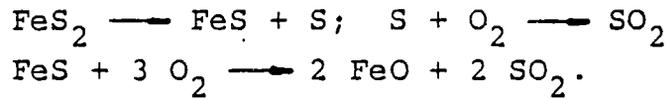


Diese Reaktion ist durch Ausbilden eines Eutektikums bereits um 1273 K möglich und für die Blähphase bestimmend. Die Sauerstoffabspaltung der Eisenoxide dürfte maßgeblich zur Vergasung des Kohlenstoffes beitragen.

Gute Rohstoffe besitzen ein Blähintervall von 200 bis 400 grd. In schwach reduzierendem Milieu ist eine Erweiterung um mehr als 100 grd zu erreichen. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß im reduzierenden Milieu auftretende eutektische Schmelzen in erster Linie den Erweichungspunkt herabsetzen, während der Schmelzpunkt nahezu unverändert bleibt.

Das reduzierende Milieu wird im Pellet während des gesamten Brennprozesses aufrechterhalten, da die entstehenden Gase einen Druck nach außen bewirken, der ein Eindringen von Sauerstoff aus der Verbrennungsluft verhindert.

Als weitere gasbildende Reaktionen sind die thermische Zersetzung des CaSO_4 zu CaO und SO_3 sowie die Dissoziation der Sulfide zu nennen:



2.3. Einfluß der Aufheizgeschwindigkeit

H. Diettrich (6) untersuchte den Einfluß der Aufheizgeschwindigkeit auf das Blähverhalten der Tone. Wie Bild 3 zeigt, ergab sich die Tendenz, daß das Blähvermögen mit steigender Aufheizgeschwindigkeit zunimmt. Beginn der Ausdehnung sowie Erreichung des maximalen Blähgrades verschieben sich dabei zu höheren Temperaturen.

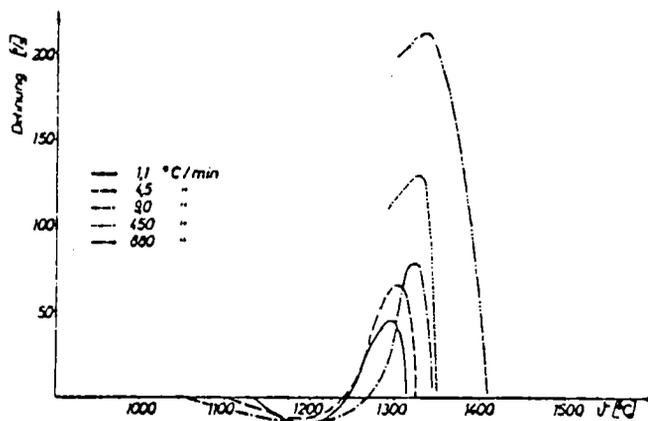


Bild 3: Abhängigkeit des Schwindungs-Dehnungs-Verhaltens eines Tones von der Aufheizgeschwindigkeit (6).

Der Effekt einer Erhöhung des Blähvermögens durch hohe Aufheizgeschwindigkeit wird in dem von H. V. Dennert (7) beschriebenen Zirkulationsströmungsverfahren ausgenutzt. Bei diesem Verfahren werden die getrockneten und auf etwa 473 K

vorgewärmten Pellets 45 Sekunden lang im Ofen den heißen Verbrennungsgasen ausgesetzt.

2.4. Einfluß von Zusätzen bei von Natur aus nicht blähenden Rohstoffen

Besitzt ein Rohstoff im Temperaturbereich zwischen 1273 und 1573 K zwar ein günstiges Erweichungs- und Viskositätsverhalten, zeigt aber kein Blähvermögen, können durch entsprechende Zusätze die fehlenden Gasbildner ersetzt werden. Da solchen Rohstoffen meist die organischen Substanzen fehlen, erwiesen sich kohlenstoffhaltige Zuschläge wie Kohlenstaub, Sägemehl, Dieselöl etc. als besonders geeignet. Zuschläge dieser Art sollen in der Regel nicht mehr als 3 % des Gewichtes des Rohstoffes ausmachen.

Zeigt ein Rohstoff hingegen kein günstiges Erweichungs- und Viskositätsverhalten, können geeignete Zuschläge seine Zusammensetzung so ändern, daß er im Riley'schen Dreikomponentensystem in den blähbaren Bereich fällt.

Obwohl als Blähhilfsmittel und Zuschläge nur Abfallprodukte anderer Industriezweige Verwendung finden, ist der Aufwand für die nötige Homogenisierung doch so erheblich, daß die Wirtschaftlichkeit einer Produktion durch solche Notwendigkeiten in Frage gestellt sein kann. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn das Erweichungs- und Viskositätsverhalten des Rohstoffes für die Herstellung von Blähtongranulat ungünstig ist.

3. Versuchsdurchführung

3.1. Die Probenahme

Die Probenahme wurde vom geologischen Institut der Montanuniversität Leoben durchgeführt.

Zu diesem Zweck sind im Gelände bei Thulin nächst Aflenz mit einem Löffelbagger mehrere Schurfröschen gezogen worden, denen das Probenmaterial entnommen wurde. Dabei handelt es sich um einen Mergel, in dem vereinzelt auch Skelette von Kieselalgen vorkommen. Die im Rahmen dieser Arbeit behandelte Probe umfaßt einen Durchschnitt über die gesamte Mächtigkeit der Lagerstätte und hatte eine Masse von etwa 200 kg.

Die Lagerstätte ist schichtig aufgebaut mit Schichtdicken von wenigen Millimetern bis zu einigen Zentimetern. Bereits mit dem freien Auge lassen sich auf Grund der unterschiedlichen Farben der einzelnen leicht verfestigten Schichten große Unregelmäßigkeiten in der mineralogischen Zusammensetzung des Mergels erkennen.

Das vom Löffelbagger gewonnene Gestein liegt in plattiger Form mit Korngrößen von 20 bis 30 cm vor und enthält eine große Zahl von verkieselten Einschlüssen aus dem Tertiär.

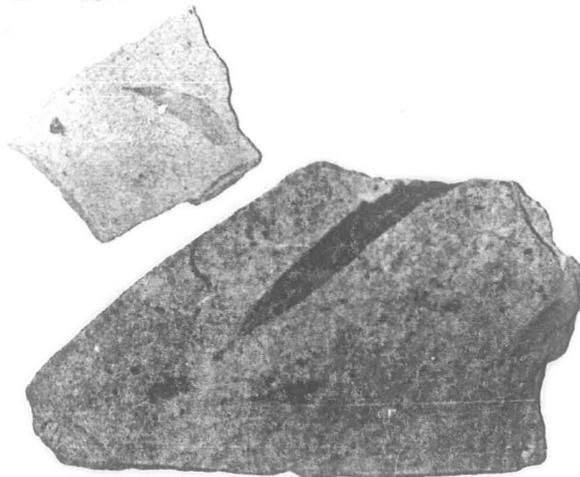


Bild 4: Mergel aus Aflenz mit verkieselten Einschlüssen.

3.2. Probeteilung und Zerkleinerung

Mit dem Hammer erfolgte eine Zertrümmerung der großen Gesteinsbrocken auf eine Korngröße von ungefähr 3 bis 5 cm. Die so vorbereitete Probe wurde durch Umschaukeln homogenisiert und anschließend durch zweimaliges Vierteln geteilt.

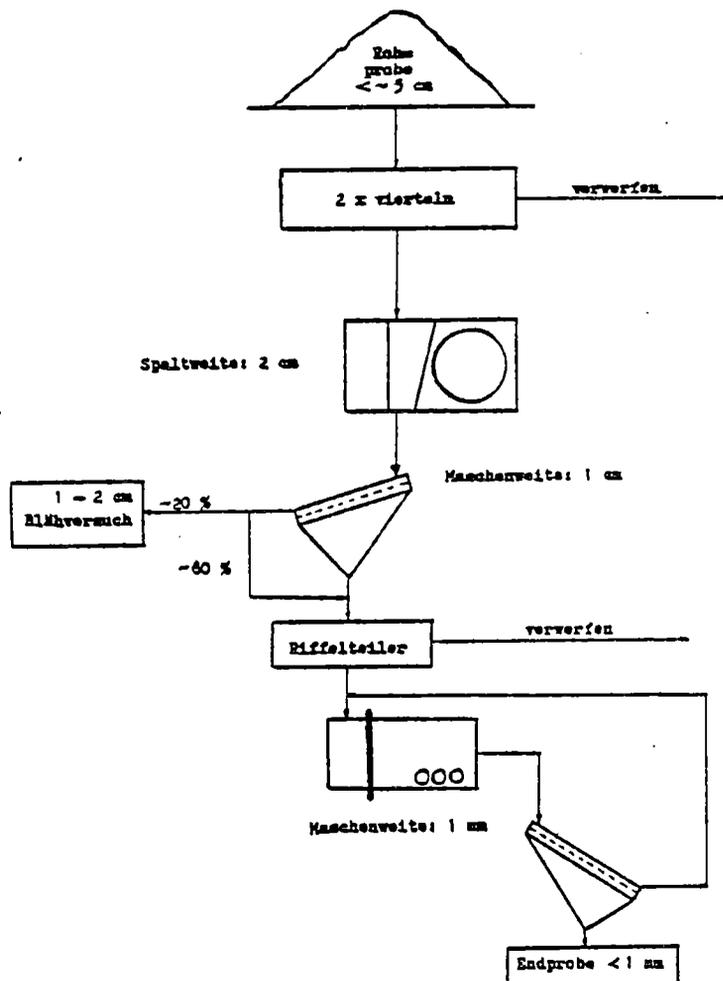


Bild 5: Stammbaum der Probeteilung und Zerkleinerung.

Die Grobzerkleinerung der gewonnenen Teilprobe auf ≤ 2 cm erfolgte im Laborbackenbrecher. Die dabei anfallende große Menge an Feingut wurde bei 1 cm abgesiebt und aus dem Rückstand ein Teil ausgesondert, um später für die Blähversuche an kompakten Gesteinsbrocken zur Verfügung zu stehen; der Rest ist im Laborriffelteiler bis auf eine Endprobenmenge von etwa 20 kg weitergeteilt worden.

Die weitere Zerkleinerung auf ≤ 1 mm erfolgte in Laborkugelmøhlen in Form einer Kreislaufmahlung. Da sich nicht die Aufgabe stellte den spezifischen Energieverbrauch der Mahlung festzustellen, konnte auf eine Einstellung des Gleichgewichtes im Mahlkreislauf verzichtet werden. Das Mahlgut wurde lediglich nach einer Mahldauer von ca. 15 min auf dem 1 mm Sieb abgesiebt und der Rückstand mit Neuaufgabe (dem Feingut entsprechend) weitergemahlen.

3.3. Die Korngrößenanalyse

Die Klassierung der Endprobe umfaßte zwei Abschnitte: Siebung und Sedimentationsanalyse.

Die Siebanalyse erfolgte als Naßsiebung auf folgenden Normprüfsieben:

1000 μm , 500 μm , 200 μm , 120 μm , 90 μm und 60 μm .

Als Dispergierungsmittel diente, wie auch zur nachfolgenden Sedimentationsanalyse 0,01 molares Butylamin in destilliertem Wasser.

Der Durchgang durch das 60 μm -Sieb wurde einer Sedimentationsanalyse nach Atterberg unterzogen. Diese Methode erhielt trotz des größeren Zeitbedarfes gegenüber der Sedimentationsanalyse nach Andreasen den Vorzug, um die einzelnen Kornklassen mikroskopisch oder röntgendiffraktometrisch auf ihren Mineralbestand hin untersuchen zu können.

Die Ergebnisse der Korngrößenanalyse sind in Tabelle 1 und

in Bild 6 (RRS-Netz) zusammengefaßt.

Fraktion μm	R %	ΣR %
> 1000	2,67	2,67
500 - 1000	2,77	5,44
200 - 500	4,30	9,74
120 - 200	8,13	17,87
90 - 120	6,07	23,94
60 - 90	4,20	28,14
32 - 60	8,46	36,60
20 - 32	8,33	44,93
6,3 - 20	14,40	59,33
2 - 6,3	16,63	75,96
< 2	24,04	100,00

Tabelle 1: Korngrößenanalyse des gemahlene Mergels

Der Rückstand auf dem 1 mm-Sieb läßt sich daraus erklären, daß vor allem die groben Körner nicht gleichmäßig gerundet sind, sondern sehr stark längliche Gestalt besitzen; bei der Trockensiebung in der Kreislaufmahlung sind diese Körner offensichtlich durch die Siebmaschen gerutscht, bei der Korngrößenanalyse aber auf dem 1 mm-Sieb liegengeblieben.

Der große Anteil an Körnern unter 2 μm läßt auf eine relativ große Menge toniger Minerale schließen.

Ganz allgemein erkennt man aus Tabelle 1 besonders aber aus der graphischen Auswertung der Klassierung in Bild 6, daß der gemahlene Mergel ein sehr polydisperses Körnerkollektiv darstellt, das heißt, daß ein sehr breites Korn-

spektrum vorliegt.

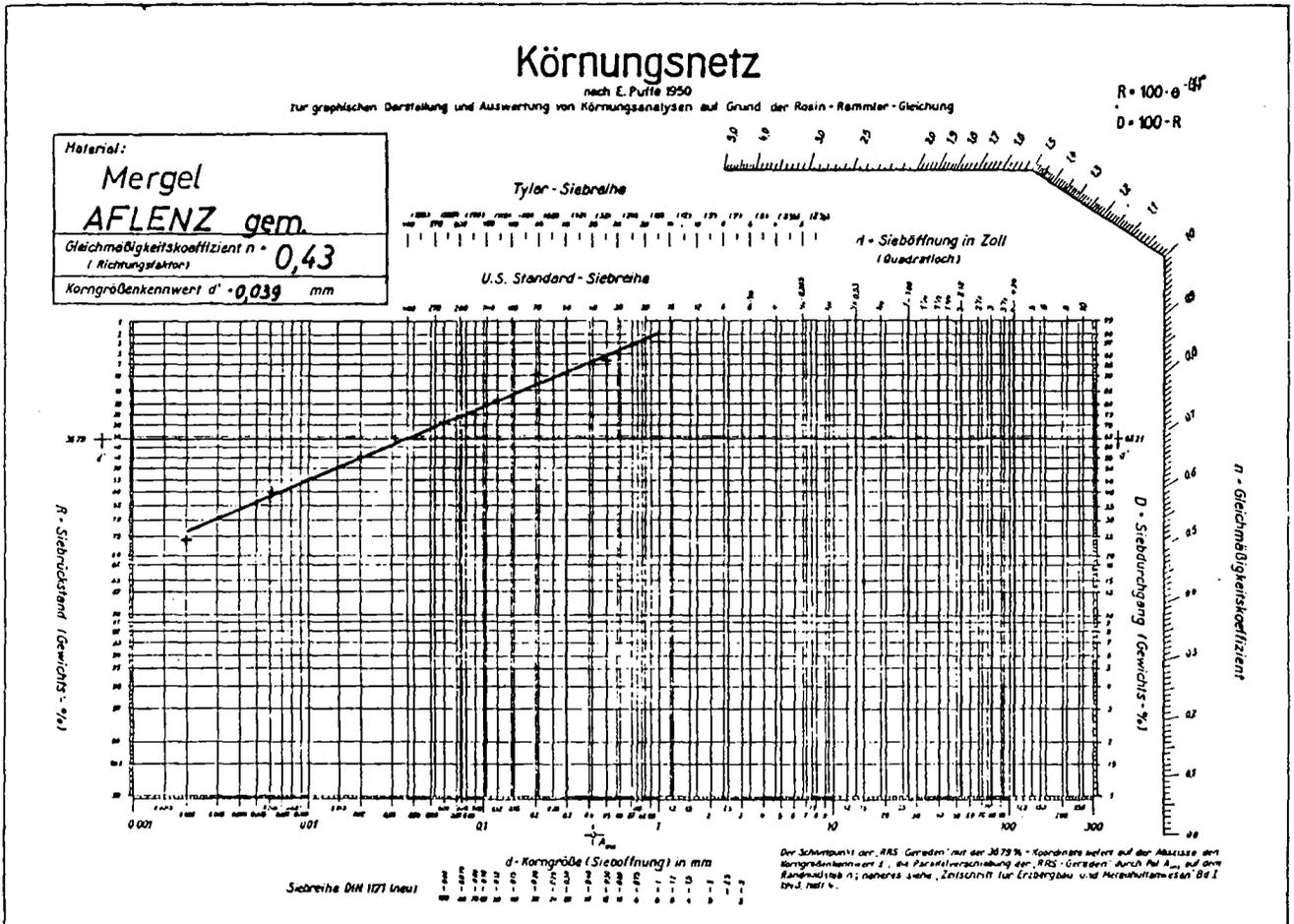


Bild 6: Graphische Darstellung der Korngrößenanalyse des gemahlenden Mergels im RRS-Netz.

3.4. Chemische und mineralogische Untersuchung

Die naßchemische Untersuchung des Mergels wurde freundlicherweise vom Zentrallabor der MAGINDAG durchgeführt und brachte das, in Tabelle 2 zusammengefaßte Ergebnis.

Faßt man in der chemischen Analyse die Flußmittel zusammen, wie das Ch. M. Riley (1) getan hat, gelangt man zu folgen-

der Zusammensetzung:

47,16 % SiO_2 ; 12,37 % Al_2O_3 ; Flußmittel: 40,47 %

Oxid	Masse-%	Masse-% glv-frei
SiO_2	35,00	47,16
CaO	22,08	29,75
Al_2O_3	9,18	12,37
Fe_2O_3	4,90	6,60
K_2O	1,37	1,85
Na_2O	0,38	0,51
MgO	0,91	1,23
TiO_2	0,40	0,54
SO_3	1,42	--
Gl v	23,43	--

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung des Mergels.

Die Lage des Mergels im Riley'schen Dreistoffsystem ist in Bild 10 unter der Bezeichnung O zu sehen.

Infolge des hohen CaO-Gehaltes des Mergels ist der Flußmittelgehalt für eine Verwendung als Ausgangsstoff eines Blähproduktes zu hoch. Die Viskosität der erweichenden Masse bei der für die Gasabspaltung günstigen Temperatur ist so gering, daß die Blähgase beinahe ungehindert aus dem zu blähenden Pellet entweichen können und sich somit kein Bläheffekt einstellt.

Daraus läßt sich schon ersehen, daß dieser Rohstoff ohne Beigabe von SiO_2 - und Al_2O_3 -hältigen Zuschlägen zur Herstellung von Blähtongranulat wohl nicht geeignet sein wird.

Das CaO ist, wie eine überschlägige Untersuchung an einem Pulverpräparat im Durchlicht zeigte, fast zur Gänze als Kalzit bebunden. Dieser Kalzit liegt äußerst fein-verteilt und feinkörnig neben größeren Quarzkörnern und zusammengebackenen tonigen Mineralen vor.

Genaueren Aufschluß über die mineralogische Zusammensetzung liefern die Röntgendiffraktometeraufnahmen des Mergels insgesamt und seiner Fraktion unter $2\ \mu\text{m}$, die in den Bildern 7 und 8 wiedergegeben sind.

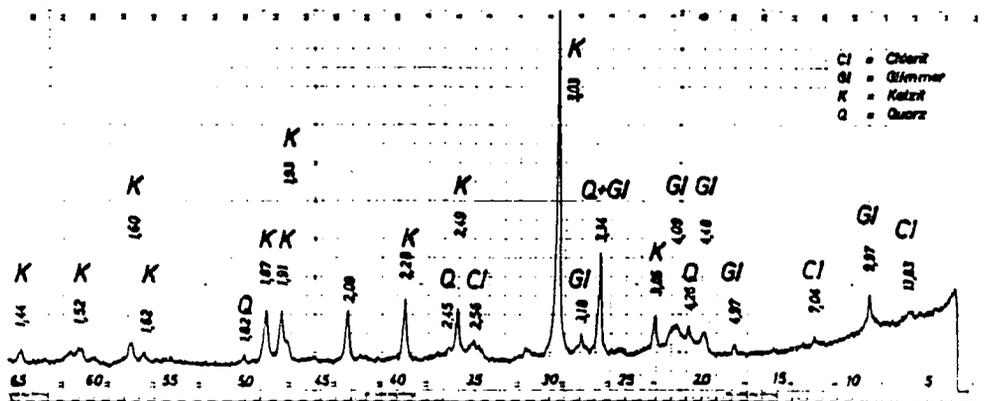


Bild 7: Röntgendiffraktometerdiagramm des Rohmergels.

Deutlich erkennbar ist die überragende Bedeutung des Kalzits, der etwa 45 % der Gesamtmasse umfaßt. Die Alkalioxide, Eisenoxide, die Tonerde und das MgO sind in den Silikaten gebunden, der Rest des SiO_2 liegt als freier Quarz vor.

In der Fraktion unter $2\ \mu\text{m}$ sind zwar die tonigen Minerale angereichert, auf Grund seiner Feinheit findet sich aber auch hier, wie schon aus der Pulverpräparatuntersuchung zu erwarten war, eine große Menge Kalzit. Der Anteil an Quarz geht hier etwas zurück, was darauf zurückzuführen ist, daß er der

Zerkleinerung mehr Widerstand entgegengesetzt als die anderen Minerale und deshalb in den gröbereren Fraktionen bleibt.

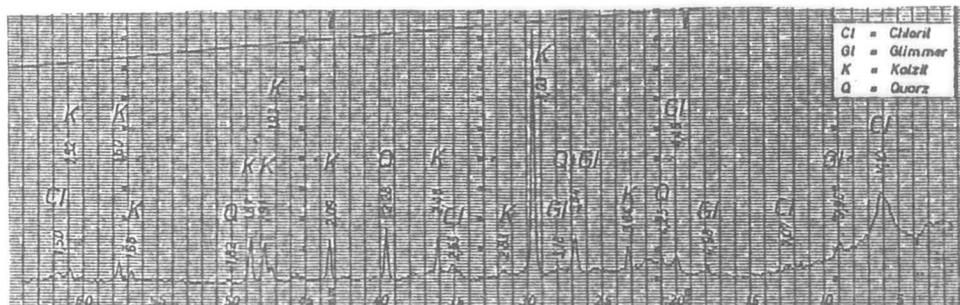


Bild 8: Röntgendiffraktometerdiagramm der Fraktion unter 2 μm des Mergels.

Aus diesen Ergebnissen läßt sich ableiten, daß der Mergel auch durch Schlämmen in Hinblick auf seine Blähfähigkeit nicht verbesserbar ist. Daher wird es auf alle Fälle nötig sein, ihn mit SiO_2 - und Al_2O_3 -haltigen industriellen Abfallprodukten zu versetzen. Da organische Substanzen fast völlig fehlen, ist auch eine Zugabe von kohlenstoffhaltigen Produkten notwendig.

3.5. Blähversuche

3.5.1. Ofenkonstruktion

Für die Blähversuche fand ein senkrecht stehender widerstandsbeheizter Röhrenofen Verwendung, dessen Temperatur automatisch gemessen und geregelt wird.

Bild 9 auf der nächsten Seite zeigt eine Skizze des Ofens.

Der Probenhalter besteht aus einem auf Stahldraht aufgehängtem Schamotteteller. Er ist mit Tonerdepulver bestreut, um ein Anbacken der Proben zu verhindern. Oberhalb des Pro-

benhalters dient eine fest angebaute Schamotteleichtsteinplatte als Ofenverschluß, wenn der Probenhalter eingefahren ist. Aufgehängt ist das ganze auf einer Stahlkette, die über den Galgen zur Handkurbel führt, womit der Probenhalter leicht ein- und ausgefahren werden kann. Unten ist der Ofen durch eine Schamotteleichtsteinplatte verschlossen.

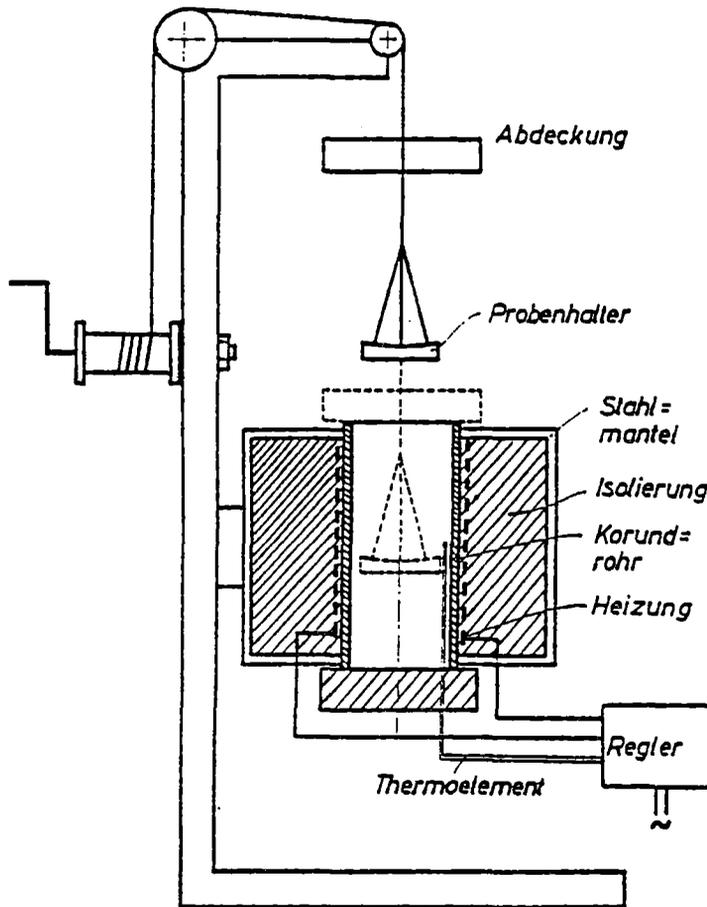


Bild 9: Ofenkonstruktion

3.5.2. Herstellung der Versuchspellets

Industriell werden Blähtongranulate aus feingemahleneu homogenisierten und pelletierten Mineralgemischen hergestellt.

Dasselbe gilt sinngemäß auch für Laborversuche.

Als Zuschlag stand ein Flugstaub folgender ungefähren Zusammensetzung zur Verfügung:

SiO_2 : 76 %

Al_2O_3 : 18 %

Flm : 6 %

Außerdem überließ mir die Firma Wienerberger freundlicherweise einen illitreichen Ton, dessen chemische Analyse leider nicht bekannt ist.

In Tabelle 3 sind die gewählten Mischungsverhältnisse angeführt. Für die Verschnitte mit dem Flugstaub sind außerdem die chemischen Bruttozusammensetzungen angegeben.

Probe Nr.	Mergel %	Zuschlag Flugstaub %	Zuschlag "Illit" %	Zusammensetzung		
				S %	A %	Flm %
0	100	0	————→	47,5	12,5	40,0
1	70	30	————→	56,1	14,2	29,7
2	60	40	————→	58,9	14,7	26,4
3	50	50	————→	61,7	15,3	23,0
4	40	60	————→	64,6	15,8	19,6
6	0		100	S = SiO_2 A = Al_2O_3 Flm = Flußmittel		
7	70		30			
8	60		40			
9	50		50			
10	40		60			

Tabelle 3: Gewählte Mischungsverhältnisse für die Blähversuche mit den beiden zur Verfügung stehenden Zuschlägen. Die Prozentangaben sind Masse-%.

Um die in den Pellets beim Brennen nötigen reduzierenden Verhältnisse für die gasbildenden Reaktionen zu schaffen, wurde jeder Mischung etwa 1 % feinstgemahlener Kohlenstaub zugesetzt.

In Bild 10 sind die Mischungen bekannter chemischer Zusammensetzung in das Riley'sche Dreistoffsystem eingezeichnet:

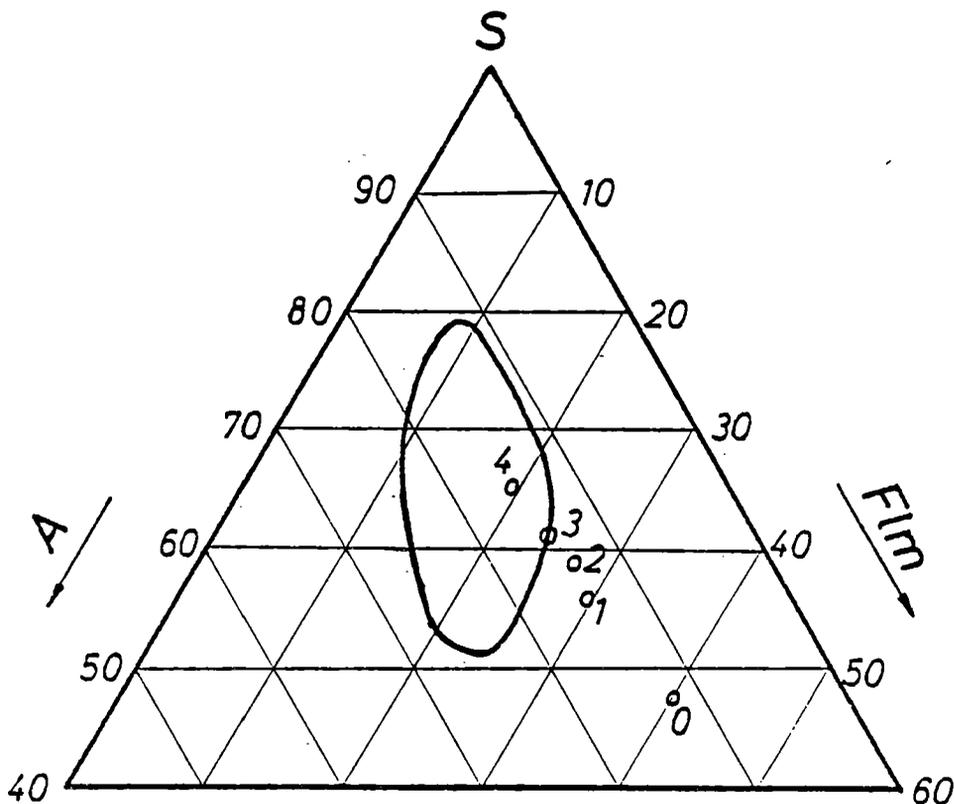


Bild 10: Dreistoffsystem nach Riley mit eingezeichneten Blähversuchsmischungen. S = SiO_2 , A = Al_2O_3 , Flm = Summe der Flußmittel nach²Riley (1).³ Die Prozentangaben auf den Dreieckseiten sind Masse-%. Mischungsnummern sind dieselben, wie in Tabelle 3.

Man sieht, daß von den Verschnitten bekannter chemischer Zusammensetzung nur Probe 4 eindeutig im Gebiet blähbarer Zusammensetzungen liegt; Probe 3 ist an der Grenze, die anderen Mischungen liegen außerhalb. Bei den Mischungen

mit dem illitreichen Ton dürften die Verhältnisse ähnlich sein.

Die gewählten Mischungen wurden in trockenem Zustand homogenisiert und mit 1 % ihres Gewichtes feinstgemahlenem Kohlenstaub versetzt. Unter vorsichtiger Wasserzugabe wurde eine plastische Masse erzeugt, aus der mit der Hand Pellets geformt wurden. Die fertigen Pellets hatten einen Durchmesser von etwa 1 cm. Sie wurden nach mindestens 24 Stunden Luftlagerung 5 Stunden im Trockenschrank bei 378 K getrocknet und gelangten anschließend sofort zum Ofen, in dem die Blähversuche durchgeführt wurden.

3.5.3. Durchführung der Blähversuche

Die Aufheizgeschwindigkeit hat nach Diettrich (6) einen entscheidenden Einfluß auf das Blähvermögen.

Bei der hier angewandten Methode werden die Grünlinge mit einer Temperatur von etwa 373 K unmittelbar der jeweiligen Versuchstemperatur ausgesetzt. Dadurch ist die Aufheizgeschwindigkeit sehr hoch, die Temperaturen, bei denen ein maximaler Bläheffekt eintritt liegen höher, als dies bei kleineren Aufheizraten der Fall wäre. Mit steigenden Versuchstemperaturen verschieben sich auch die Blähzeiten zur Erreichung maximaler Blähgrade in Richtung kürzerer Blähdauer. Die optimale Blähdauer bei den verschiedenen Versuchstemperaturen mußte daher in Vorversuchen festgelegt werden, wobei darauf geachtet wurde, daß die Volumina der verwendeten Pellets in allen Versuchen annähernd übereinstimmten, weil ja die Durchwärmung von der Dicke der zu durchwärmenden Schicht abhängt.

Um die Pellets rundum der selben Temperatur aussetzen zu können, wurde der Probenhalter vor Versuchsbeginn durch Einführen in den Ofen auf Versuchstemperatur gebracht.

In Tabelle 4 sind die Versuchstemperaturen, die dazu ermittelte Versuchsdauer und die der Dauer entsprechenden Auf-

heizraten angegeben:

Versuchstemperatur K	Versuchsdauer min	Aufheizrate grd/min
1323	5	190
1373	3	330
1423	3	350
1473	2	550

Tabelle 4: Versuchstemperaturen, Versuchsdauer und entsprechende Aufheizraten.

Die Blähversuche an kompakten Gesteinstücken von 1 bis 2 cm Größe wurden bei den gleichen Versuchstemperaturen und Zeiten durchgeführt; auch hier erfolgte die Trocknung bei 378 K im Trockenschrank.

Von jeder Probe wurden bei den einzelnen Versuchstemperaturen jeweils 5 Pellets untersucht, um Fehler aus eventuellen Inhomogenitäten der Mischungen erkennen zu können.

3.5.4. Ergebnisse der Blähversuche

Die Ergebnisse von Blähversuchen werden üblicherweise in Form des Blähgrades BG aufgezeichnet. Der Blähgrad stellt das Verhältnis aus Pelletvolumen nach der Temperaturbehandlung (V_T) zu Pelletvolumen in grünem Zustand (V) dar:

$$BG = \frac{V_T}{V}$$

Ein Blähgrad von 1 entspricht also absoluter Volumenkonstanz.

Die Messung der Pelletvolumen geschah vor und nach den einzelnen Blähversuchen folgendermaßen: mit einer Schiebelehre wurden jeweils 3 verschiedene Durchmesser der annähernd ku-

gelförmigen Probekörper gemessen und aus ihnen ein Mittelwert errechnet, mit dem das Kugelvolumen berechnet werden konnte.

Die so erhaltenen Volumina nach und vor den einzelnen Blähversuchen ergaben ins Verhältnis gesetzt für jede Mischung bei den jeweiligen Versuchstemperaturen 5 Werte für den Blähgrad, aus denen wieder ein Mittelwert bestimmt wurde.

Im Folgenden sind die Ergebnisse in tabellarischer und graphischer Form wiedergegeben:

Versuchstemperatur K	1323	1373	1423	1473
Probe Nr.				
0	1,36	1,93	1,46	geschm
1	1,54	2,10	1,47	1,37
2	1,26	1,89	1,70	1,19
3	1,53	1,63	3,22	1,55
4	1,06	1,36	1,37	1,53
6	1,32	1,77	1,60	1,49
7	1,70	2,17	1,36	0,72
8	1,93	2,58	1,59	0,75
9	1,63	1,74	1,54	1,14
10	1,10	1,95	1,92	1,55

Tabelle 5: Erzielbare Blähgrade bei den einzelnen Blähversuchen als Mittelwerte von jeweils 5 Messungen. Die Probennummern entsprechen den Nummern der Mischungen in Tabelle 3.

Auf den folgenden Seiten sind die Ergebnisse der Tabelle 5 in Bild 11 als sogenannte Blähkurven dargestellt; neben den Diagrammen jeder einzelnen Mischung ist in etwa natürlicher Größe ein aufgeschnittenes Blähtonkorn des maximal erzielbaren Blähgrades zu sehen:

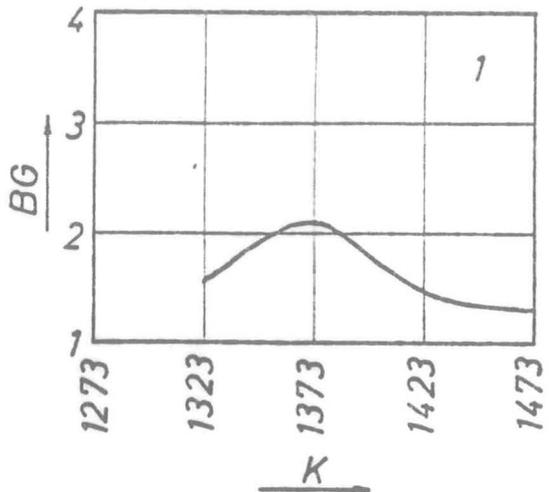
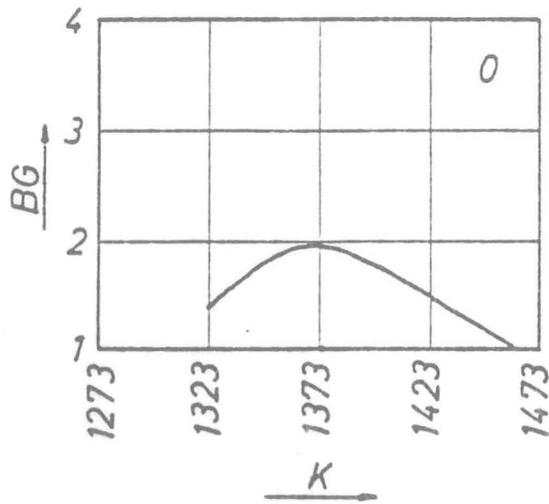


Bild 11: Graphische Darstellung der Blähversuchsergebnisse. Die Probennummern entsprechen denen in Tabelle 5.

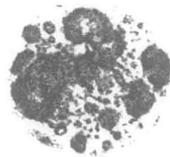
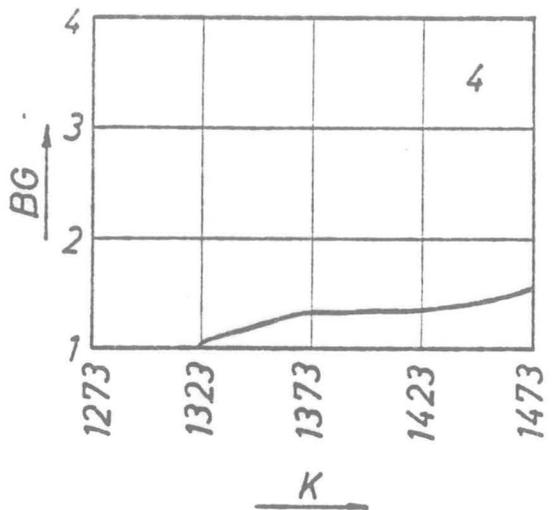
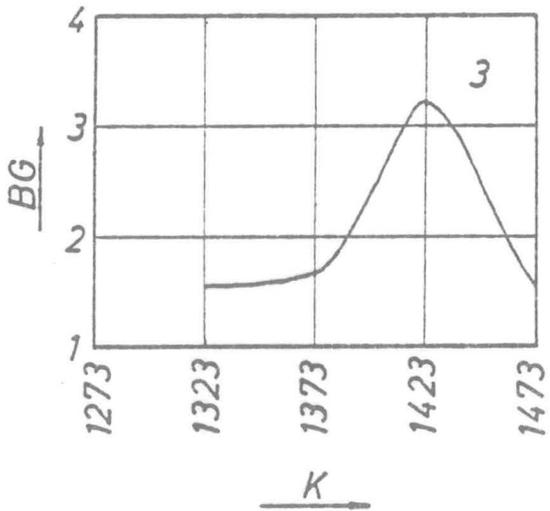
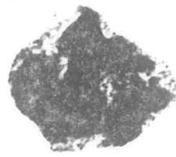
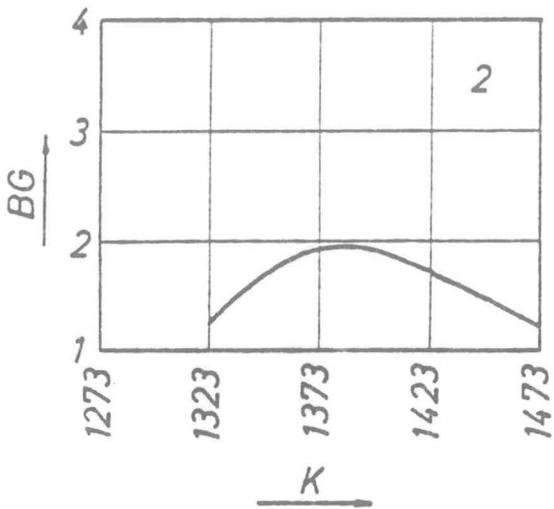


Bild 11: Fortsetzung

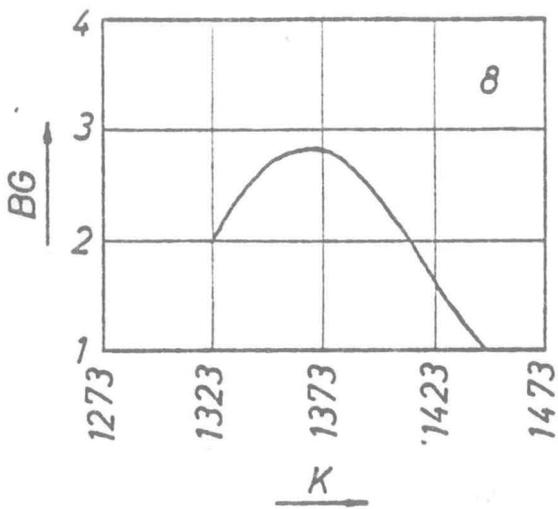
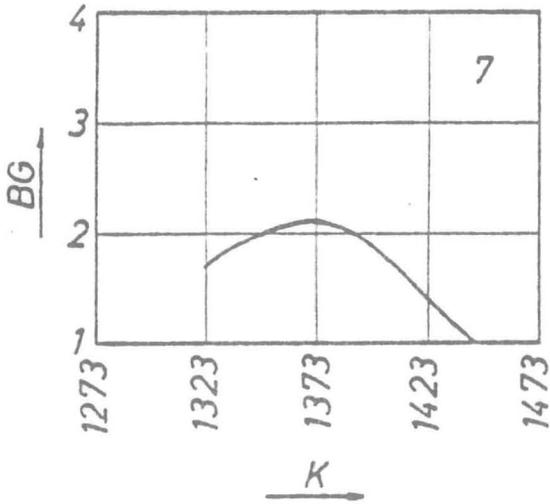
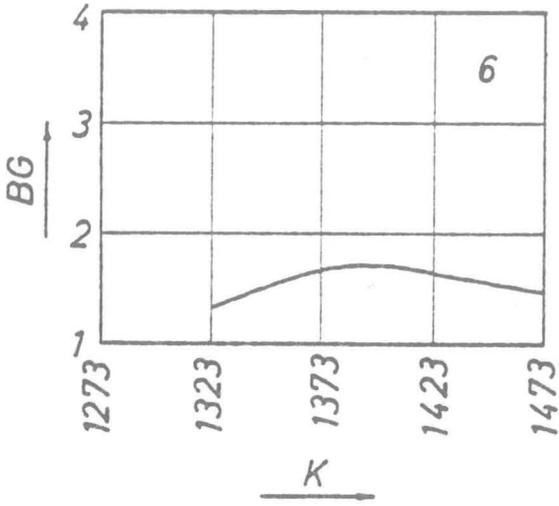


Bild 11: Fortsetzung

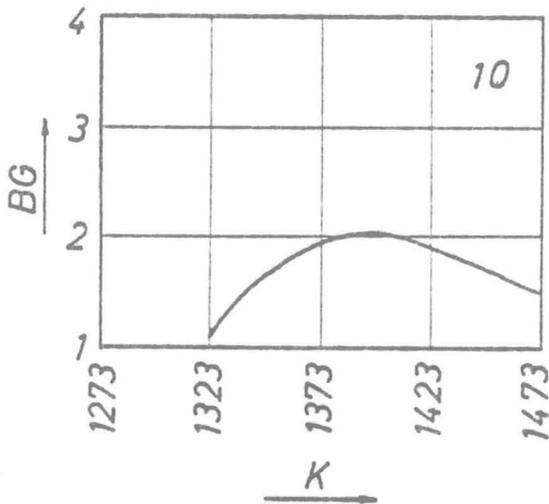
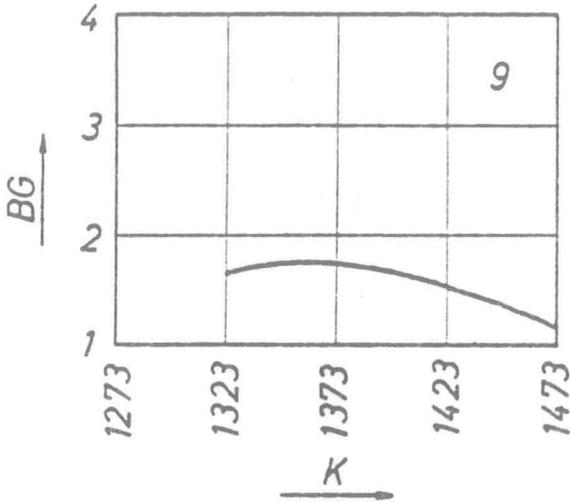


Bild 11: Fortsetzung

Von allen Proben erreichten nur die Probe 3 bei 1423 K und die Probe 8 bei 1373 K gebrannt Korndichten unter 1 gcm^{-3} , was durch Schwimmen auf Wasser bestätigt wurde. Alle anderen Proben hatten Korndichten, die zum Teil erheblich über 1 lagen.

3.5.5. Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerung

Wie schon aus der chemischen Analyse und der daraus resultierenden Lage des Mergels im Riley'schen Dreistoffsystem zu erwarten war, brachte der nur mit 1 % Kohlenstaub versetzte Mergel (Probe 0) kein gutes Ergebnis. Er erreichte zwar fast einen Blähgrad von 2 bei 1373 K, doch ist die pyroplastische Masse bei dieser Temperatur so niedrig viskos, daß nur ein großer Hohlraum in einer glasig erstarrten Schale entsteht. Daraus resultiert eine äußerst geringe Korneigenfestigkeit; das geblähte Korn ließ sich leicht mit der bloßen Hand zerdrücken.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Proben 1 (70 % Mergel + 30 % Flugstaub) und 2 (60 % Mergel + 40 % Flugstaub). Festzustellen ist, daß die Viskosität der pyroplastischen Masse bei steigenden Gehalten an Flugstaub in den Mischungen größer wird. Das ist darauf zurückzuführen, daß durch den Flugstaub (76 % SiO_2 , 18 % Al_2O_3 und 6 % Flußmittel) der Flußmittelgehalt der Mischungen gegenüber dem des unverschnittenen Mergels (47,5 % SiO_2 , 12,5 % Al_2O_3 und 40,0 % Flußmittel) wesentlich gesenkt wird. Die Probe 1 enthält nur noch 29,7 % Flußmittel, Probe 2 nur noch 26,4 %. Die geblähten Körner der Probe 2 weisen daher auch schon mehrere, wenn auch sehr große Poren auf.

Die im Riley'schen Dreistoffsystem an der Grenze zum blähbaren Bereich liegende Probe 3 (50 % Mergel + 50 % Flugstaub; 61,7 % SiO_2 , 15,3 % Al_2O_3 und 23,0 % Flußmittel) erzielte zwar bei 1423 K den größten überhaupt erreichten Blähgrad von 3,22 weist aber auch noch der Festigkeit, Wärme- und Schalldämmung abträgliche große Poren auf.

Die günstigste Struktur hatte Probe 4 (40 % Mergel + 60 % Flugstaub; 64,6 % SiO_2 , 15,8 % Al_2O_3 und 19,6 % Flußmittel), weil ihr Erweichungsverhalten auf Grund der chemischen Zusammensetzung fast optimal zu nennen ist. Der Bläh-

grad bei der höchsten Versuchstemperatur weist noch steigende Tendenz auf, so daß bei höheren Brenntemperaturen auch noch größere Blähgrade erreicht werden könnten.

Die Probe 6 (illitreicher Ton + 1 % Kohlenstaub) zeigte ein ungenügendes Erweichungsverhalten. Bei der Temperatur maximaler Gasabspaltung (1373 K) ist noch nicht genügend pyroplastische Masse entwickelt, so daß die Gase zum größten Teil entweichen konnten. Daß zu wenig Schmelzphase gebildet wurde, erkennt man daran, daß dieses Korn keine dichte Haut besitzt. Der illitreiche Ton enthält also offenbar zu wenig Flußmittel.

Die Proben 7 bis 10 korrelieren in ihren Strukturen mit den entsprechenden Mischungen 1 bis 4, wenngleich sich auch in den Blähgraden mehr oder weniger große Unterschiede ergeben. Der illitreiche Ton spielt in den Mischungen 7 bis 10 etwa die selbe Rolle, wie der Flugstaub in den Proben 1 bis 4.

Nur die Proben 4, 9 und 10 besitzen eine Struktur, die eine Verwendung als Leichtzuschlag in Beton gerechtfertigt erscheinen läßt.

Da das Ausgangsmaterial dieser Proben aber aus Verschnitten des Aflenzer Mergels mit 50 beziehungsweise 60 % SiO_2 - und Al_2O_3 -reichen Zuschlägen besteht, und obendrein zur Verbesserung der Gasentwicklung noch Kohlenstaub zugesetzt werden mußte, ist eine wirtschaftliche Nutzung dieses Rohstoffes zur Blähtonerzeugung problematisch.

4. Andere Verwendungsmöglichkeiten

4.1. Verwendung als Bindemittel

Der hohe Gehalt des Mergels an Kalzit läßt an eine Verwendung als Bindemittel denken.

Zwei Möglichkeiten scheinen aussichtsreich: als hydraulischer Kalk in Verbindung mit Portlandzement und als latent-hydraulischer Zusatz, ähnlich der Hochofenschlacke zu Zement.

Um solche Verwendungsmöglichkeiten genauer untersuchen zu können, ist es nötig die Änderung des Mineralbestandes unter Temperatureinwirkung festzustellen.

T. Peters und R. Iberg (8) untersuchten an einem kalkreichen Ton die Mineralbestandsänderung während des Brennprozesses. Ihre Ergebnisse sind in Bild 12 graphisch dargestellt:

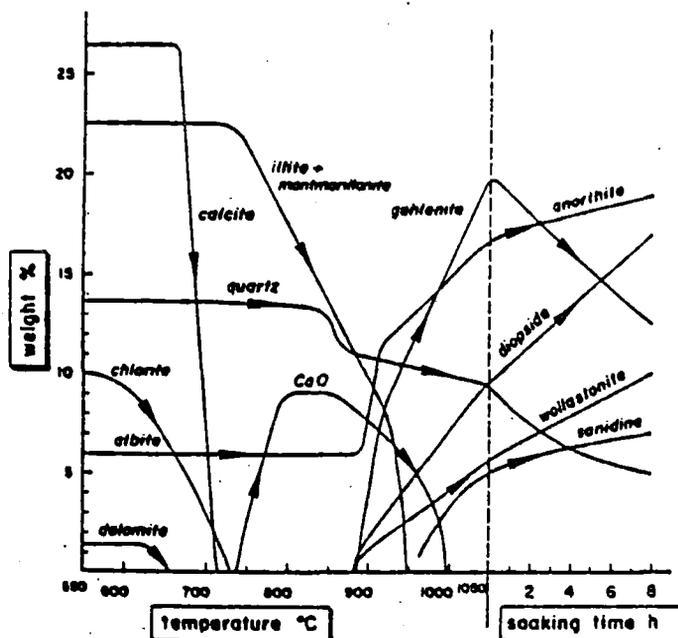


Bild 12: Änderung des Mineralbestandes eines kalkreichen Tones während des Brennprozesses (8).

Ähnliche Verhältnisse müßten auf Grund seiner Zusammensetzung auch beim Aflenzer Mergel herrschen.

Der unter 1 mm zerkleinerte Rohstoff wurde jeweils zwei Stunden folgenden Temperaturen ausgesetzt:

823, 1023, 1173, 1273 und 1373 K.

Der Mineralbestand wurde röntgendiffraktometrisch bestimmt. Die Diagramme sind in Bild 13 zusammengestellt:

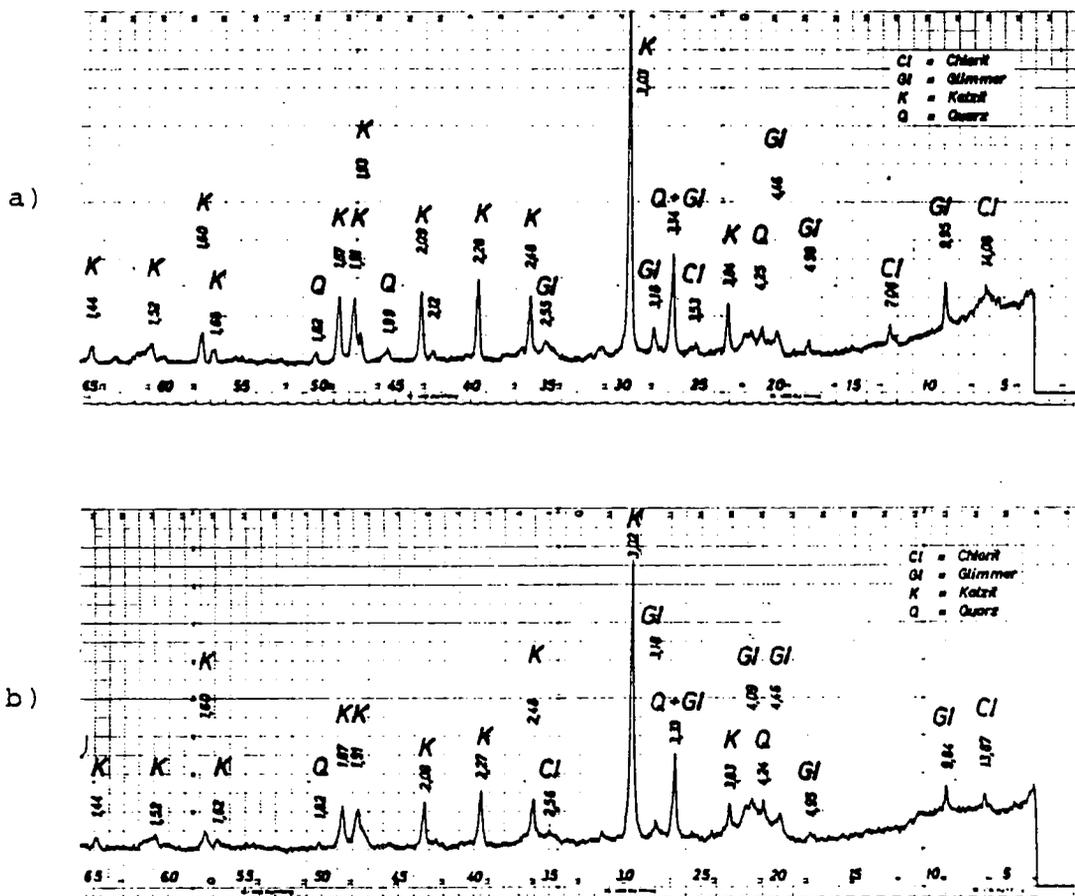


Bild 13: Röntgendiffraktometerdiagramme zur Darstellung der Änderung des Mineralbestandes des Aflenzer Mergels bei Temperaturbehandlung.

a) ungebrannt, b) Brand bei 823 K.

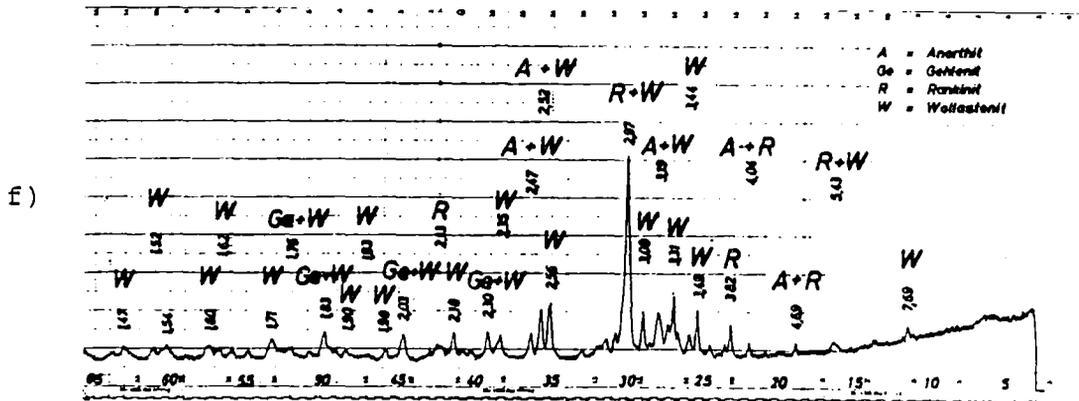


Bild 13: (Fortsetzung) f) Brand bei 1373 K

Bis 823 K tritt keine besondere, in den Röntgendiffraktometeraufnahmen merkbare Umwandlung ein.

Bei 1023 K hat bereits der ganze Kalzit entsäuert. Reines CaCO_3 dissoziiert erst bei etwa 1173 K vollständig; in Anwesenheit von Säuren (hier SiO_2) wird die Zersetzungstemperatur herabgesetzt (mit HCl reagiert CaCO_3 bereits bei Raumtemperatur heftig zu CaO und CO_2).

Ab 1173 K tritt Mineralneubildung ein: es bilden sich entsprechend der Röntgendiffraktometeraufnahme Bild 13 d Anorthit, Gehlenit, Rankinit und überwiegend Wollastonit.

Bei höheren Temperaturen schreiten diese Neubildungen in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Peters und Iberg (8) weiter fort, bis sie bei 1373 K abgeschlossen werden. Bei dieser Temperatur tritt schon Schmelzphase in merklichen Mengen auf.

4.1.1. Verwendung des bei 1373 K gebrannten Mergels als latent-hydraulischer Zuschlag zu Zement

Der bei 1373 K gebrannte Mergel ähnelt sowohl in chemischer

als auch in mineralogischer Hinsicht der sauren Hochofenschlacke ($C : S = 0,63$). Nach H. Kühl (9) besitzen Wollastonit, Rankinit und Gehlenit, sofern sie vorwiegend glasig aus dem Schmelzfluß erstarrt sind, beträchtliche latent-hydraulische Eigenschaften mit alkalischer Anregung.

Nach der Zementnorm DIN 1164 ist eine Hochofenschlacke dann als latent-hydraulisch anzusehen und als Zuschlag zu Zement verwendbar, wenn der Quotient $(C + M + A) : S \geq 1$. Dieser Quotient beträgt bei unserem Mergel 0,92, weswegen eine Verwendung in Normenzement nicht möglich ist.

Auch der F-Wert nach F. Keil (10), der sich für die Bewertung der latent-hydraulischen Eigenschaften von Schlacken bewährt hat, ist mit $F = 0,91$ zu niedrig. Der F-Wert ist wie folgt definiert:

$$F = \frac{\text{CaO} + \text{CaS} + 0,5 \text{ MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{MnO}}$$

Ein Hüttensand mit $F \geq 1,9$ ist sehr gut latent-hydraulisch, mit $F \leq 1,5$ hingegen nur mäßig verwendbar. Außerdem bezieht sich dieser Wert nur auf die glasig erstarrten Bestandteile der Schlacke.

Da ein Zusatz des bei 1373 K gebrannten Mergels zu Normenzement nicht möglich ist, bleibt nur eine Verwendung als Putz- und Mauermörtel, bestehend aus einer Mischung von Zement und gebranntem Mergel übrig.

Nach DIN 1053 werden 3 Gruppen von Mauermörteln unterschieden:

Gruppe I: keine Festigkeitsanforderungen

Gruppe II: $2,45 \text{ N/mm}^2$ (25 kp/cm^2) 28-Tage-Druckfestigkeit

Gruppe III: $9,81 \text{ N/mm}^2$ (100 kp/cm^2) 28-Tage-Druckfestigkeit.

Um diese Verwendungsmöglichkeit zu untersuchen, wurde der gemahlene Mergel im Muffelofen bei 1373 K gebrannt, anschließend in Kugelmühlen auf Zementfeinheit gemahlen und mit verschiedenen Prozentsätzen PZ 375 gemischt.

Die Mahlfeinheit wurde mit dem Blaine-Gerät bestimmt und überprüft. Das fertig gemahlene Gut hatte eine spezifische Oberfläche von $3729 \text{ cm}^2/\text{g}$, der verwendete PZ 375 eine solche von etwa $3800 \text{ cm}^2/\text{g}$.

Die Herstellung und Prüfung der Probekörper erfolgte nach DIN 1164. Der Bindemittelgehalt des zu prüfenden Betons beträgt hiernach 25 % der trockenen Gesamtmasse, der Rest ist eine Mischung von grobem und feinem Normensand im Verhältnis 1 : 2. Der W/Z-Wert betrug 0,50, wobei hier unter W/Z-Wert das Gewichtsverhältnis aus Anmachwasser zu Bindemittel (Mischung von PZ 375 und Brenngut) zu verstehen ist. Die Prüfkörper wurden nach einem Tag entformt und nach 28 Tagen Lagerung in 100 % relativer Luftfeuchtigkeit auf Biegezug- und Druckfestigkeit geprüft.

Probe	Bindemittel		σ_{BZ} N/mm ²	σ_D N/mm ²
	PZ 375 %	1373 K %		
A	25	--	5,59	53,37
B	20	5	7,26	43,26
C	15	10	6,57	26,39
D	10	15	4,02	15,21
E	5	20	1,37	6,18
F	--	25	nb	0,08

Tabelle 6: 28-Tage-Festigkeiten des bei 1373 K gebrannten Mergels in verschiedenen Mischungsverhältnissen mit PZ 375. Die Prozentangaben sind Masse-%.

Um zu ergründen, ob überhaupt eine Anregung des Brenngutes durch den Zement stattfindet, oder ob die erreichten Festig-

keiten ausschließlich auf den Zementanteil im Bindemittel zurückzuführen sind, der gebrannte Mergel sich also wie der Sand fast inert verhält, wurden Vergleichsproben folgender Beschaffenheit hergestellt:

Bindemittel: 7,5 % PZ 375

Betonzuschlag: 92,5 % Sand (grob : fein = 1 : 2)

Diese Probekörper wurden ebenfalls 28 Tage feucht gelagert und anschließend auf ihre Festigkeit geprüft.

In Tabelle 7 sind diese Festigkeitswerte entsprechend aus Tabelle 6 errechneten Werten gegenübergestellt:

Probe	Bindemittel		σ_{BZ} N/mm ²	σ_D N/mm ²
	PZ 375 %	1373 K %		
$\overline{DE-\emptyset}$	7,5	17,5	2,70	10,70
Vergl.	7,5	--	0,76	3,34

Tabelle 7: Vergleich der 28-Tage Festigkeiten von Normenprismen zur Überprüfung der Anregbarkeit des bei 1373 K gebrannten Mergels durch Zement.
 $\overline{DE-\emptyset}$ = Mittelwerte der Festigkeiten der Proben D und E in Tabelle 6.

Es ist zu erkennen, daß offensichtlich doch eine Anregung stattfindet. Gegenüber der Vergleichsprobe (Vergl.) zeigt die Probe $\overline{DE-\emptyset}$ eine Erhöhung der Festigkeiten um das etwa 3,5-fache.

Eine weitere Verbesserung ließe sich sicherlich dadurch erreichen, daß man den Mergel aus dem Schmelzfluß weitgehend glasig erstarren läßt. Technisch durchführen ließe sich das durch Einblasen des gemahlten Mergels in die Brennzzone eines Zementrotierofens, wie das in der UdSSR teilweise mit

nicht glasig erstarrten Hochofenschlacken geschieht.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Bild 14 als relative Festigkeitswerte der einzelnen Mischungen aufgetragen, wobei die Purzementprobe A (gesamtes Bindemittel = PZ 375) die Bezugsgröße darstellt:

$$\sigma_{\text{rel}} = \frac{\sigma_i}{\sigma_A}$$

Wie man aus Bild 14 besonders deutlich sieht, steigen die Biegezugfestigkeiten bei geringeren Zusätzen von gebranntem Mergel zum Zement zunächst an, um dann annähernd linear gegen Null abzusinken. Die Druckfestigkeiten fallen sofort ab, und zwar ebenfalls annähernd linear.

Mit Ausnahme der Probe F erreichen alle Mischungen die für Mauermörtel der Gruppe II geforderte Mindestdruckfestigkeit nach 28 Tagen. Die Proben A bis D erreichen sogar die Mindestfestigkeiten der Mauermörtel-Gruppe III.

Obwohl diese Ergebnisse insgesamt nicht negativ bewertet werden können, sprechen doch wirtschaftliche Gesichtspunkte gegen eine Verwendung des gebrannten Mergels als latent-hydraulisches Bindemittel.

Es ist sicherlich billiger, dem Zementklinker granuliert Hochofenschlacke zuzumahlen, als den Mergel eigens abbauen und mahlen zu müssen, wobei obendrein die Hochofenschlacke bessere latent-hydraulische Eigenschaften besitzt und man mit ihr Normzemente herstellen kann, die sich leichter absetzen lassen, als nicht genormte Produkte. Auch die Herstellung von Mauermörtel dürfte sich wegen zu geringer Nachfrage erübrigen.

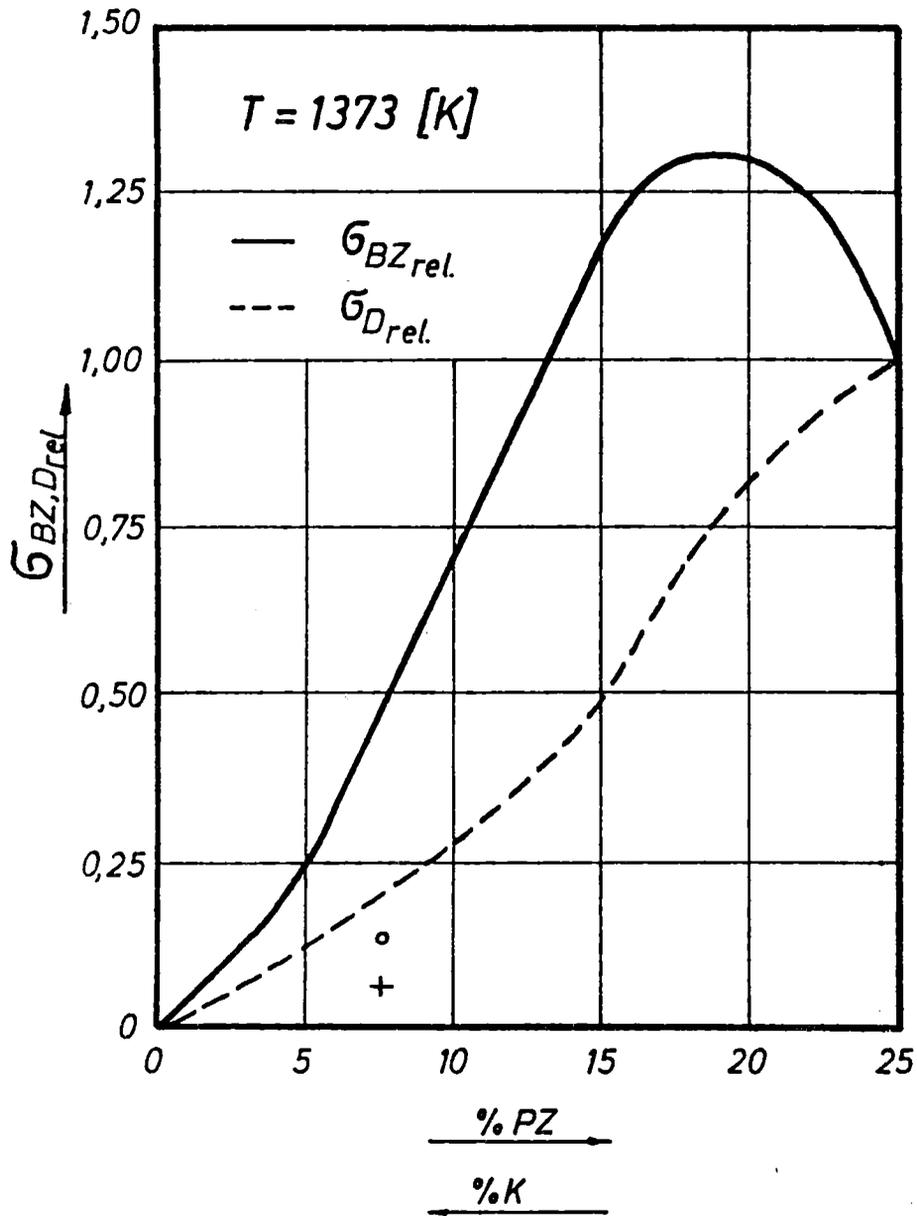


Bild 14: Relative 28-Tage-Festigkeiten der Mischungen gemäß Tabelle 6. % PZ = Gehalt des Bindemittels an PZ 375; % K = Gehalt des Bindemittels an, bei 1373 K gebranntem Mergel. $\circ = \sigma_{BZ,rel}$ d. Vergleichsprobe
 $+ = \sigma_{D,rel}$ d. Vergleichsprobe

4.1.2. Verwendung als Mischbinder

Mischbinder nach DIN 4207 sind fabrikmäßig vermahlene hydraulische Stoffe, die allein oder nach Beimengung von Anregern erhärten. Als Anreger kommen Portlandzement, Weißkalk, Dolomitmalk, Gips und Gemenge aus diesen Stoffen in Betracht. Der Gehalt an Gips soll 6 %, der an Zement oder Kalk 30 % nicht überschreiten.

Mischbinder dürfen nur für unbewehrten Beton bis B 160 und Mauermörtel verwendet werden. Sie müssen nach 28 Tagen eine Druckfestigkeit von $14,72 \text{ N/mm}^2$ (150 kp/cm^2) erreichen.

Zur Prüfung auf ihre Verwendungsfähigkeit als Mischbinder gelangte bei folgenden Temperaturen gebrannter Mergel:

1073, 1173 und 1273 K.

Nach dem Brand wurden die einzelnen Proben wie unter 4.1.1. beschrieben auf Zementfeinheit gemahlen und mit 30 % PZ 375 versetzt.

Prüfkörper nach DIN 1164 enthalten somit 7,5 % PZ 375, 17,5 % gebranntes Mergel-Mehl und 75 % Normensand (grob : fein = 1 : 2). Das Gewichtsverhältnis Wasser zu Bindemittel (W/Z-Wert) betrug 0,50. Nach 28 Tagen Feuchtlagerung wurden Biegezug- und Druckfestigkeit geprüft.

Eine Vergleichsprobe mit 7,5 % PZ 375 und 92,5 % Normensand diente wie unter 4.1.1. beschrieben zur Feststellung, ob überhaupt eine Anregung des gebrannten Mergels durch den Zement erfolgt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 und Bild 15 dargestellt.

Es zeigt sich, daß der gebrannte Mergel allein überhaupt nicht hydraulisch erhärtet, daß er aber beträchtliche latent-hydraulische Eigenschaften besitzt, die durch den zugegebenen Zement aktiviert werden.

Probe	Bindemittel			σ_{BZ} N/mm ²	σ_D N/mm ²
	PZ 375 %	gebrannter Mergel			
		%	Brenn- temp. K		
G	7,5	17,5	1073	2,06	19,91
H	---	25,0	1073	0,11	0,14
I	7,5	17,5	1173	1,86	18,44
J	---	25,0	1173	0,47	1,77
K	7,5	17,5	1273	1,18	6,57
L	---	25,0	1273	0,10	0,12
Vergl.	7,5	--	--	0,76	3,34

Tabelle 8: 28-Tage-Festigkeiten der geprüften Mischbinder.

Die Proben G, I und K wurden nach einem Tag entformt, die Proben H, J und L konnten erst nach 5 Tagen entformt und zur Feuchtlagerung gebracht werden.

Gegenüber der Vergleichsprobe mit 7,5 % PZ 375 und 92,5 % Normensand sind beträchtliche Verbesserungen in den Festigkeiten zu verzeichnen. Das beste Ergebnis erzielt die Probe G, deren Bindemittel noch viel CaO enthält (Brand des Mergels bei 1073 K); ihre Druckfestigkeit ist gegenüber der Vergleichsprobe 6 mal so hoch. Auch die Probe I zeigt ein gutes Ergebnis; ihre Druckfestigkeit gegenüber der Vergleichsprobe ist um den Faktor 5,5 gestiegen. Die weitgehend totgebrannte Probe K fällt dagegen schon sehr ab.

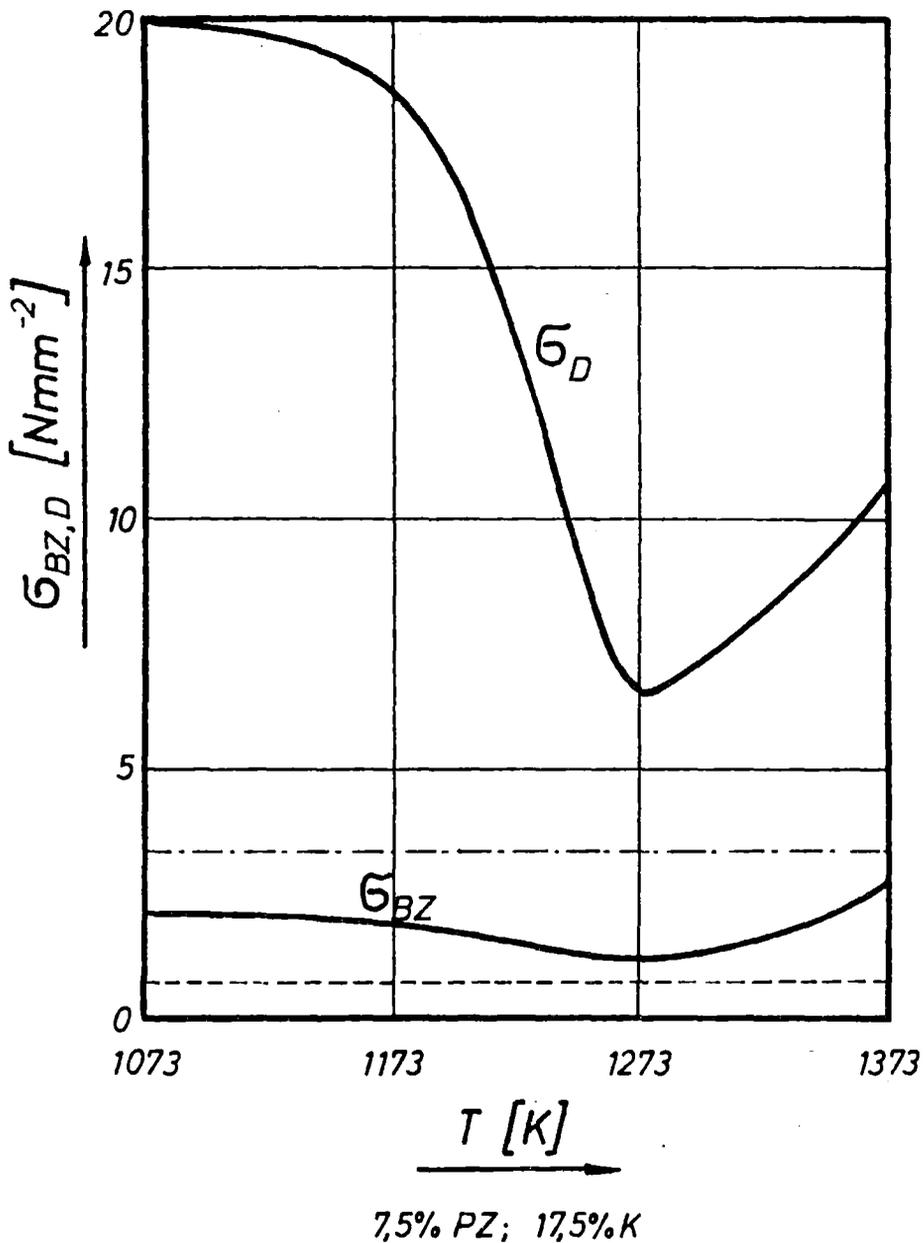


Bild 15: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Festigkeitsprüfung an den Proben G, I und K. Die Werte der Probe bei 1373 K stammen aus 4.1.1. Bindemittelzusammensetzung: 7,5 % PZ 375, 17,5 % gebrannter Mergel; Ergänzung auf 100 % ist Normensand. --- = σ_{BZ} d. Vergleichsprobe
-.- = σ_D d. Vergleichsprobe

Interessant ist, daß die Festigkeiten jener Proben, deren Bindemittel aus PZ 375 und bei über 1273 K gebranntem Mergel bestehen, wieder zunehmen. Das ist darauf zurückzuführen, daß bei höheren Brenntemperaturen größere Mengen an Schmelzphase auftreten, die glasig erstarren. Glas besitzt auf Grund der relativen Unordnung der es aufbauenden Atome und Ionen immer eine höhere Entropie als die selbe Substanz in kristallinem Zustand und ist somit reaktionsfähiger als diese.

Da für Mischbinder eine Mindestdruckfestigkeit von $14,72 \text{ N/mm}^2$ nach 28 Tagen vorgeschrieben ist, ließe sich der Aflenzer Mergel bei 1073 oder 1173 K gebrannt, auf Zementfeinheit gemahlen und mit 30 % Zement gemischt ohne weiteres als Mischbinder nach DIN 4207 verwenden.

Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten wäre lediglich zu erörtern, ob nach Mischbindern die Nachfrage groß genug ist, um eine Produktion gesichert erscheinen zu lassen.

5. Zusammenfassung

Der Aflenzer Mergel wurde auf zwei Verwendungsmöglichkeiten hin untersucht.

1. Verwendung zur Blähtonherstellung

Die Blähversuche erfolgten an kompakten Gesteinsstücken von 1 - 2 cm Durchmesser und an Pellets aus gemahlenem und mit verschiedenen Zusätzen versehenem Mergel. An den kompakten Gesteinsstücken konnten auf Grund der inhomogenen Zusammensetzung infolge des schichtigen Aufbaues des Mergels keine Bläherfolge erzielt werden. Blähversuche an Pellets aus unverschnittenem Mergel brachten wegen des hohen Flußmittelgehaltes des Mergels (insbesondere CaO) keine brauchbaren Ergebnisse.

Erst ein Versatz des gemahlenen Mergels mit 60 % eines SiO₂-reichen Flugstaubes und ein solcher mit 60 % eines illitreichen Tones ergaben brauchbare Blähtongranalien. Die geblähten Körner haben eine dichte glasige Haut und im Inneren eine nicht zu grobe Porenstruktur. Vom Aussehen her sind sie mit handelsüblichen Blähtongranalien vergleichbar, so daß sie als Betonzuschlagstoff in Isolier- oder Leichtbeton verwendet werden könnten.

2. Verwendung als Bindemittel

Um die Verwendungsmöglichkeit des Aflenzer Mergels als Bindemittel zu untersuchen, wurden an ihm Versuchsbrände bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt, und die Änderung des Mineralbestandes mit der Temperatur röntgenographisch bestimmt.

Nach dem Brand bei 1373 K (1100 °C) ist röntgenographisch kein freies CaO mehr festzustellen; die Umwandlung in die latent-hydraulischen Verbindungen Anorthit, Gehlenit, Wol-

lastonit und Rankinit abgeschlossen.

Mischungen dieses auf Zementfeinheit gemahlene Brenngutes mit Portlandzement brachten bei hohen Anteilen an Zement (70 % und mehr) 28-Tage-Druckfestigkeiten von 35 N/mm^2 (357 kp/cm^2) bis etwa 53 N/mm^2 (540 kp/cm^2); Verschnitte mit höheren Anteilen an Brenngut fielen in den Festigkeiten ab, weil die Anregung der latent-hydraulischen Eigenschaften des großteils kristallin vorliegenden gebrannten Mergels durch den Zement nur sehr langsam erfolgt.

Der noch viel freies CaO enthaltende, bei 1073 K ($800 \text{ }^\circ\text{C}$) gebrannte Mergel erreichte, auf Zementfeinheit gemahlen und mit 30 % PZ 375 versetzt nach 28 Tagen Lagerung in 100 % relativer Luftfeuchtigkeit eine Druckfestigkeit von $19,91 \text{ N/mm}^2$ (203 kp/cm^2) und läßt sich somit als Mischbinder nach DIN 4207 verwenden.

Der bei dieser Temperatur gebrannte Mergel kann in höheren Prozentsätzen nicht als Zuschlagstoff zu Normzementen verwendet werden, weil der Freikalkgehalt in diesen höchstens 2 % betragen darf.

Abschließend sei bemerkt, daß eine Nutzung des Aflenzer Mergels durchaus möglich ist; zur Zeit gibt es allerdings in der Steiermark sicher für beide untersuchten Verwendungsmöglichkeiten geeignetere und leichter zu handhabende Rohstoffe, so daß man auf das Aflenzer Vorkommen noch nicht zurückzugreifen braucht.

6. Literaturverzeichnis

- (1) Ch. M. Riley: Relation of chemical properties to the bloating of clays.
J. Am. Ceram. Soc. (34) 1951, S. 121 - 128
- (2) H. Wilson: Ceramics-clay technology.
Mc-Graw-Hill Book Co. Inc. New York 1927
- (3) F. Möller: Untersuchungen an Tonen, Tonschiefern und Schlacken auf ihre Eigenschaften zur Herstellung von Blähprodukten.
Tonind. Ztg. (92) 1968 S. 498 - 501.
- (4) H. Schmidt und G. Piltz: Ermittlung der Blähbedingungen von Tongranulat und Hinweise zur Steuerung des Blähprozesses bei der Erzeugung von Blähton.
Ziegelind. 1975 S. 165 - 180
- (5) H. Hoffmann: Einfluß der organischen Substanzen auf das Blähvermögen von Tongesteinen.
Ziegelind. 1971 S. 261 - 264
- (6) H. Diettrich: Beitrag zur Bestimmung der Bläheigenschaften keramischer Rohstoffe.
Diss. 1970 TU Clausthal, Fak f. Bergbau, Hüttenwesen u. Maschinenwesen.
- (7) H. V. Dennert: Das ZS-Verfahren zur Herstellung geblähter Leichtzuschlagstoffe.
Ziegelind. 1971 S. 257 - 260
- (8) T. Peters und R. Iberg: Mineralogical changes during firing of calcium-rich brick clays.
Am. Ceram. Soc. Bull. (57) 1978 S. 503 - 505 u. 509
- (9) H. Kühl: Zementchemie Bd.II. Verl. Technik Berlin 1951
- (10) F. Keil: Zement, Herstellung und Eigenschaften.
Springer 1971