

P61 Trojer/ Mayer



ROHSTOFF - LEICHTBAUSTEINE

DIE VORLIEGENDE ARBEIT
WURDE DURCHGEFÜHRT AM:

**INSTITUT FÜR GESTEINSHÜTTENKUNDE
UND FEUERFESTE BAUSTOFFE DER
MONTANUNIVERSITÄT, A-8700 LOBEN**

Tel. (03842) 42 5 55 / 490

VORSTAND o. PROF. DR. WALTER ZEDNICEK

Inhalt:

1. Vorwort
2. Die Rohstoffe
 - 2.1 Ton A
 - 2.2 Ton B
 - 2.3 Die Flugasche
3. Versuchsdurchführung
 - 3.1 Vorversuche
 - 3.2 Die Versuchsstränge
 - 3.3 Der keramische Brand
4. Versuchsergebnisse
 - 4.1
 - a) Trockenbiegefestigkeit (ähnlich DIN 51030)
 - b) Trockenschwindung (linear)
 - c) Feuchtigkeitsgehalt bei Pfefferkornwert $H_0/H = 2,0$
 - 4.2 Brennschwindung/Gesamtschwindung
 - 4.3 Biegefestigkeit
 - 4.4 Dichte DIN 51065
 - 4.5 Die Wärmeleitfähigkeit
 - 4.6 Das Saugvermögen
5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

1. Vorwort

Als Folge steigender Energiekosten erhebt sich auch für den Wohnungsbau die Forderung nach Baustoffen mit niedrigeren Wärmeleitkoeffizienten. Zur Erlangung eines "günstigen Wohnraumklimas" sind allerdings neben entsprechenden Wärmeleitkoeffizienten noch zusätzliche Faktoren wie z.B. hohes kapilläres Saugvermögen, höhere Wärmespeicherkapazität, optimale Auskühlkennzeiten usw. erforderlich.

Derartigen bauphysikalischen Kenndaten kommen gebrannte, tonkeramische Baustoffe weitgehend entgegen.

Optimierungsschritte in bauphysikalischen und materialtechnologischen Bereichen sind möglich. So z.B. steht die Wärmeleitfähigkeit von Ziegelbaustoffen in enger Korrelation zur Porigkeit (Hohlraumanteil) und zur Rohdichte*.

Dem gegenüber steht jedoch eine annähernd verkehrt-proportionale Abhängigkeit zwischen Festigkeit (z.B. Biegezugfestigkeit und Porosität. Die Produktion dünnwandiger Hohlblocksteine** bzw. stark porosierter Steine ist zumeist an gut aufbereitete, hochwertige Tone gebunden. Hochwertige Tone mit entsprechenden Lagerstätteninhalten sind in der Steiermark nur im beschränkten Umfang verfügbar. Lit.1,2).

Im Rahmen des Projektes 61 "Rohstoff-Leichtbausteine" wurden Versuche durchgeführt, VERGLEICHSTONE mit BRAUNKOHLLEN-FLUGASCHE zu versetzen und bauphysikalische Kennwerte vergleichend gegenüber zu stellen.

2. Die Rohstoffe

2.1 Ton A

Mit Ton A wurde ein typisch "fetter" Ton mit hohem Feinanteil, hohem Tonmineralgehalt und gutem Plastizitätsverhalten gewählt.

* Diagramm 4

** Hier anstelle verschiedenster Typen und Formate.

Mineralbestand des Tones A:

Quarz: Meist als Grobfraktion zu finden.
Feldspäte: Na/K-Feldspat meist als Feinsand.
Karbonate: Hoher CaCO₃-Anteil (~12 % Masse !), etwas Dolomit.
Ton- und
Glimmerminerale: Illit, Hydromuskowit, Muskowit, erhöhte Anteile
an Kaolinitmineralen und Montmorillonit.
Untergeordnet: Gips, Eisenhydroxide, Hämatit/Magnetit, Rutil.
Hornblenden, Schwefelkies.

Feinanteil: Ø 41 % Masse < 2,0 µm

Der hohe Tonmineral- und Feinanteil bewirkt eine vergleichsweise hohe Trockenschwindung und Neigung zur Rißanfälligkeit.

2.2. Ton B

Ton B ist vom Typ des "mageren" Tones mit erheblichem Gehalt sandiger Gesteinsrelikte, welche vorwiegend in den Grobfraktionen (0,063-5,0 mm) vertreten sind.

Zufolge des geringeren Tonmineralgehaltes und des geringeren Feinanteiles <2,0 µm, neigt dieser Ton kaum zur Trockenrißbildung. Demgegenüber konnte eine gesteigerte Neigung zur Kühlrißbildung beobachtet werden.

Mineralbestand des Tones B:

Quarz: Vor allem in den gröberen Fraktionen vorherrschend.
Feldspäte: Überwiegend K/Na-Feldspäte.
Ton- und
Glimmerminerale/Illit: Muskowit häufig in den gröberen Fraktionen.
Untergeordnet: Hochplastische Tonminerale der Montmorin-Gruppe.
Eisenhydroxide und Hämatit, Rutil, Hornblenden,
Spuren von Calcit und Dolomit.

Feinanteil: Ø 26 % Masse < 2,0 µm

2.3 Die Flugasche

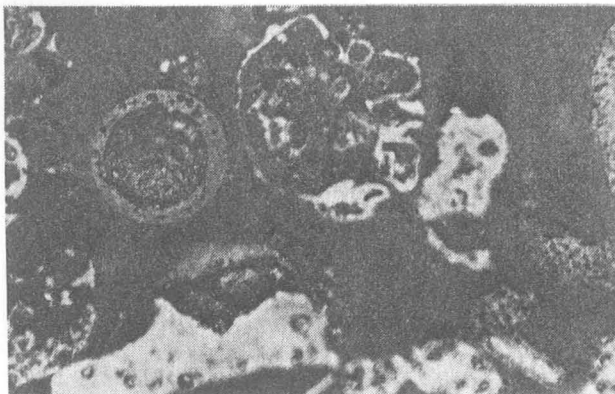
Obwohl in kalorischen Kraftwerken der Steiermark sehr große Mengen an Braunkohle-Flugaschen anfallen, wurde zur Erzielung reproduzierbarer Ergebnisse Flugasche aus St.Andrä/Kärnten herangezogen.

Mineralbestand der Flugasche:

Röntgenographisch sind in der verwendeten Flugasche nur Quarz (Restquarz) und Glasphase erkennbar.

Im Auf- und Durchlicht sind angeschmolzene, teilweise geblähte Tonteilchen, Magnetit, Hämatit, Glassplitter und Glaskugeln, Kohle-Reste, Quarz mit Reaktionssäumen, Glimmer-Reste usw. zu finden.

Bild 1

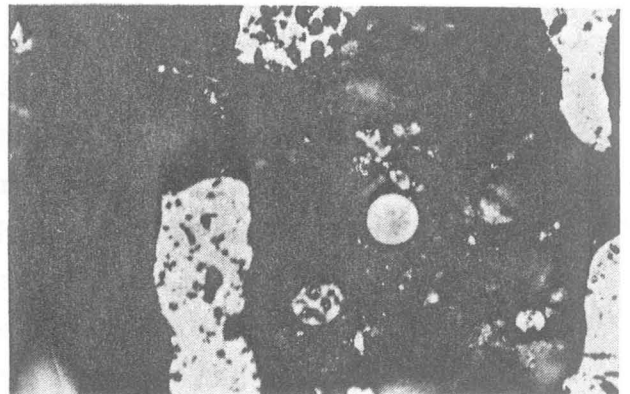


Vergrößerung: 360x

Braunkohle-Flugasche mit Glaskugel und geblähten Tonteilchen (Bildmitte). Helle Anteile z.T. Restkohle z.T. Magnetit/Hämatit.

Auflicht 360x, HF-Ätzung

Bild 2



Braunkohlen-Flugasche mit Schmelzkugel (vorwiegend martitisierte Magnetit). Daneben Kohle-Reste, Quarz-Reste und Fe-Oxid bzw. Spinell-führende helle Phasen.

Naßsiebanalyse der Flugasche:

Tab. 1

Korngröße	
mm	%
> 0,25	1,2
0,25 - 0,12	8,4
0,12 - 0,09	5,2
0,09 - 0,06	10,0
0,06 - 0,032	32,4
< 0,032	42,8
Summe	100,0

3. Versuchsdurchführung

3.1 Vorversuche

Da einerseits hochwertige Tone, wie unter Punkt 1 angeführt, nicht unbeschränkt zur Verfügung stehen und Flugaschen andererseits zu jenen Sekundärstoffen zählen, welche in sehr großen Mengen anfallen und z.T. nur unter Kostenaufwand zu deponieren sind, wurde vorangestellt, möglichst hohe Prozentsätze von Flugasche in die Leichtbaustoff-Masse einzubringen.

Voraussetzung für die industrielle Produktion dünnwandiger Leichtbau-Steine ist die plastische Formgebung auf Strangpressen. Es wurden dazu Strangpreßversuche auf der Laborstrangpresse durchgeführt. Die höchstmöglichen Flugaschegehalte und Wasser/Preßmasse-Verhältnisse über die "Pfefferkorn-Werte" festgelegt.

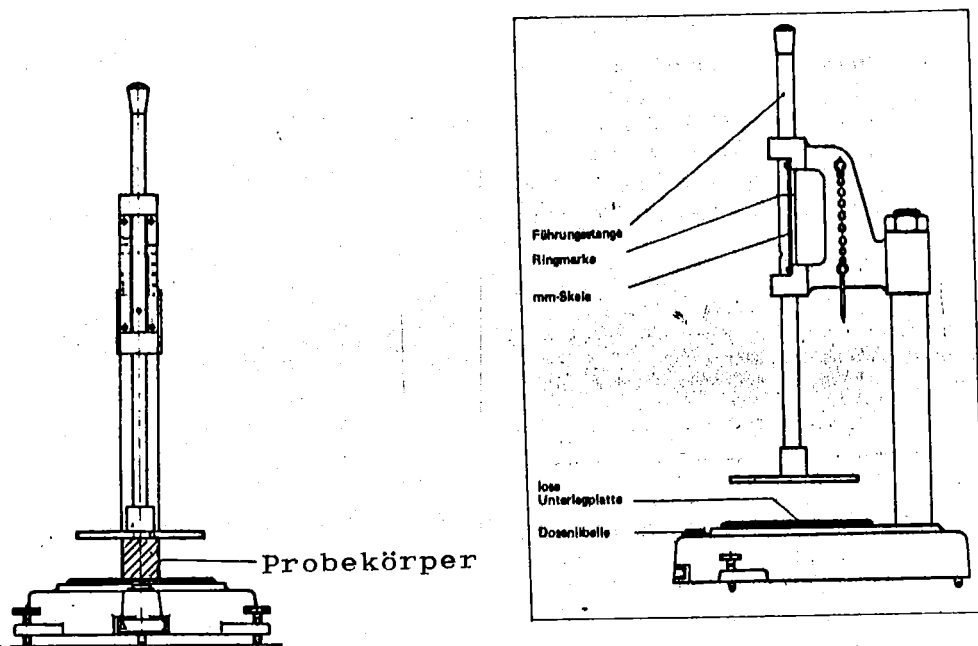


Bild 3: "Pfefferkorn-Gerät"

Dieses einfache Gerät erlaubt eine hinreichend genaue Einstellung der Plastizitätswerte keramischer Massen.

Für den Ton B lag die oberste, gerade noch verarbeitbare Flugaschenmenge bei 40 % Masse bezogen auf Trockensubstanz vor.

Um Ton A und Ton B miteinander vergleichen zu können, wurde im Rahmen der nachfolgend beschriebenen Versuche und Versuchsergebnisse ein Flugaschegehalt von jeweils 40 % eingestellt.

3.2 Die Versuchsstränge

Zur Gewinnung der erforderlichen Versuchsstränge wurden die Ton/Flugaschengemische bzw. die flugaschefreien Tonmassen im Strangpreßverfahren kontinuierlich verpreßt. Aus den kontinuierlichen Strängen wurden Prüfstränge 300x30x15 mm geschnitten. Die Strangtrocknung erfolgte zwischen Gipsplatten und im Trockenschrank bei 40°C.

3.3 Der keramische Brand

Als Brenntemperaturen wurden 950, 1000, 1050 und 1100°C gewählt. Der Brand erfolgte im Kammerofen auf $\pm 3^\circ\text{C}$ bei vorgegebener Brennkurve.

4. Versuchsergebnisse

- 4.1 a) Trockenbiegefestigkeit (ähnlich DIN 51030)
b) Trockenschwindung (linear)
c) Feuchtigkeitsgehalt bei Pfefferkornwert $H_0/H = 2,0$

Tab. 2 : Durchschnittswerte aus je 10 Probesträngen

Ton	Trockenfestigkeit	Trockenschwindung	Feuchtigkeitsgehalt
A	12,5 N/mm ²	5,15 %	23,40 Masse %
A+40% Flug- asche	7,8 N/mm ²	4,20 %	20,60 Masse %
B	15,2 N/mm ²	3,40 %	21,70 Masse %
B+40% Flug- asche	8,5 N/mm ²	2,25 %	20,80 Masse %

Tabelle 2 zeigt Werte, gemessen an ungebrannten Probesträngen aus den Tonen A und B, mit und ohne Flugaschezusatz. Infolge des Flugaschezusatzes sinkt zwar die Trockenfestigkeit, die Trockenschwindung wird jedoch merklich verringert.

4.2 Brennschwindung/Gesamtschwindung

(siehe Tab. 3)

Tab. 3: Brennschwindung bei verschiedenen Brenntemperaturen
in % (linear)

	950°C	1000°C	1050°C	1100°C
Ton A	4,70	5,50	6,70	10,30
Ton A + 40 % Flugasche	2,30	3,10	3,90	6,60
Ton B	1,15	2,10	3,40	5,50
Ton B + 40 % Flugasche	0,70	1,60	2,90	5,0

Die Durchschnittswerte der Brenn- und Gesamtschwindung für Ton A/Ton B mit und ohne Flugaschezusatz sind in den Diagrammen 1-2 dargestellt.

Aus den Werten in Tab. 3 und den Diagrammen 1-2 geht hervor, daß die Schwindung beider Tone durch den Flugaschezusatz in einem günstigen Ausmaß vermindert wird.

4.3 Biegefestigkeit

Tab. 4

	Biegefestigkeit in N/mm ² - bei:			
	950°C	1000°C	1050°C	1100°C
Ton A	21,00	24,60	28,25	36,50
Ton A + 40 % Flugasche	20,10	22,80	24,70	42,00
Ton B	18,70	19,40	21,40	25,60
Ton B + 40 % Flugasche	12,10	13,20	16,05	23,20

DIAGRAMM 1

GESAMT - UND BRENNSCHWINDUNG VON TON A MIT UND OHNE FLUGASCHENZUSATZ

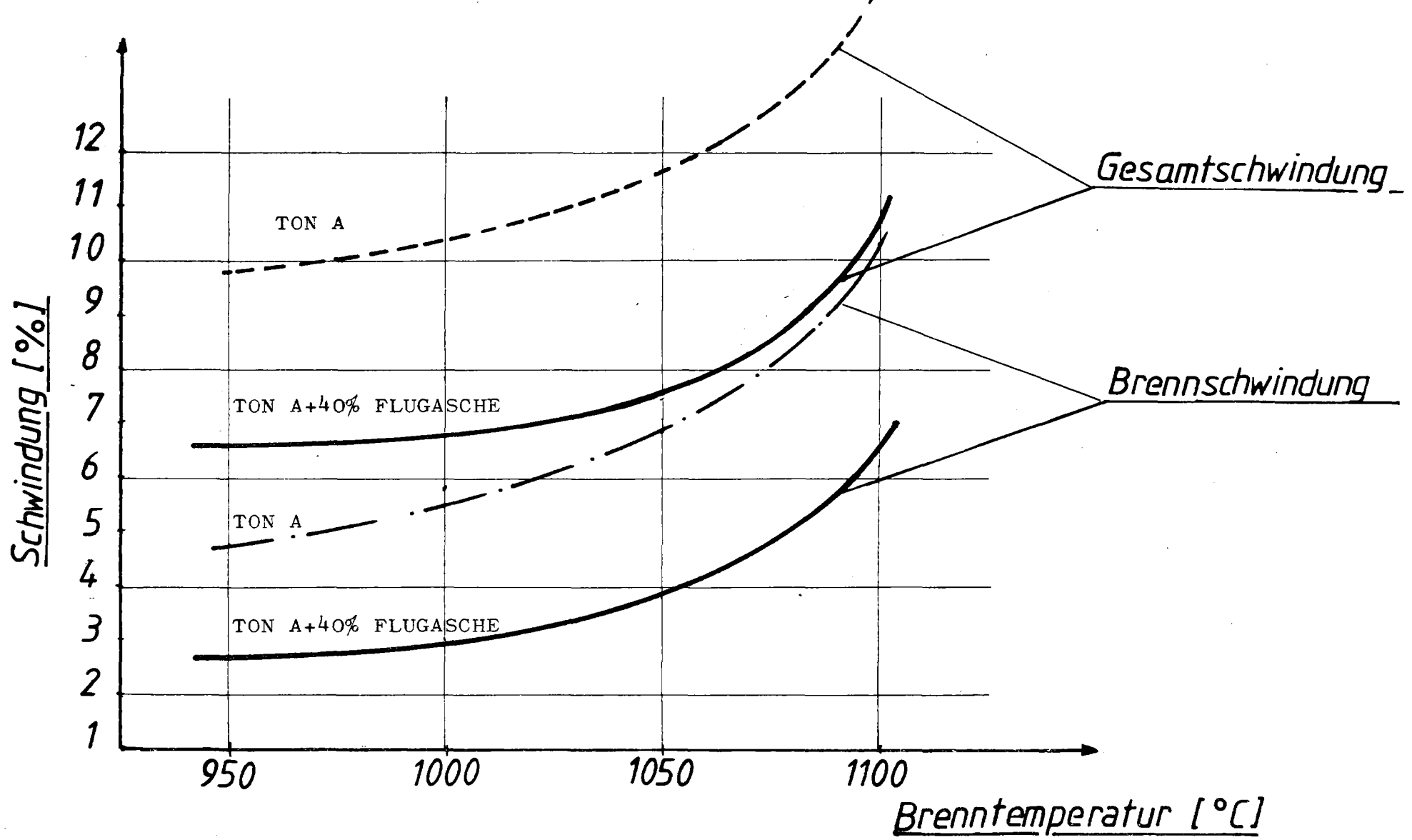
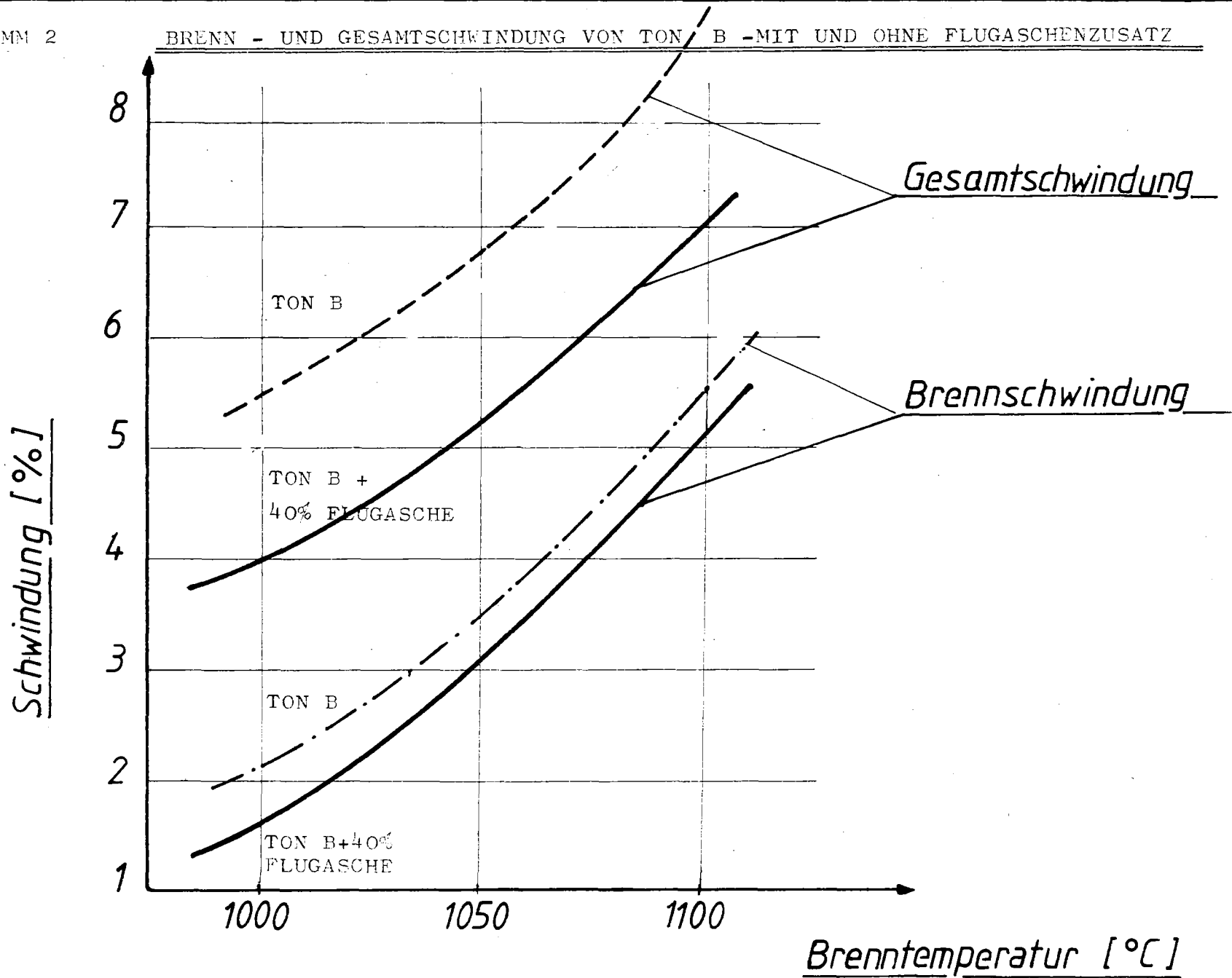


DIAGRAMM 2

BRENN - UND GESAMTSCHWINDUNG VON TON B -MIT UND OHNE FLUGASCHENZUSATZ



Die angeführten Biegezugfestigkeitsuntersuchungen zeigten, daß der unverschnittene Ton A über alle Temperaturbereiche zur mittleren bis oberen Festigkeitsgruppe gezählt werden kann. Im Versatz mit 40 % Flugasche ist die Festigkeitsabnahme im Bereich der üblichen Brenntemperaturen relativ gering.

Ton B liegt mit seinen Biegefestigkeitswerten erheblich unter Ton A. Der Zusatz von Flugasche senkt diese Werte noch weiter, so daß der ohnehin schon im unteren Festigkeitsbereich liegende Baustoff noch weiter in Richtung ungenügender Festigkeitswerte gedrückt wird.

Während für Ton A aus Sicht der Festigkeit eine 40 %-ige Flugaschezugabe noch vertretbar wäre, ist dieser Flugaschenanteil für Ton B bereits zu hoch.

Eine graphische Darstellung der Festigkeitsentwicklung über die Brenntemperatur zeigen die Diagramme 3 und 4.

4.4 Dichte DIN 51065

Wie aus der Zusammenstellung der Dichtewerte in Tab. 5 hervorgeht, hat der 40 %-ige Flugaschenzusatz eine Verminderung der Dichte und eine Veränderung des Porengefüges bewirkt. Eine entscheidende Erhöhung der Porosität trat jedoch nicht ein.

Tab. 5: Dichte ρ in g/cm^3 für Ton A und B mit und ohne Flugaschezusatz

Brenntemperatur	950°C	1000°C	1050°C	1100°C
	g/cm^3	g/cm^3	g/cm^3	g/cm^3
Ton A	1,76	1,84	1,97	2,06
Ton A + 40 % Flugasche	1,67	1,73	1,84	1,99
Ton B	1,68	1,77	1,89	2,01
Ton B + 40 % Flugasche	1,48	1,58	1,69	1,81

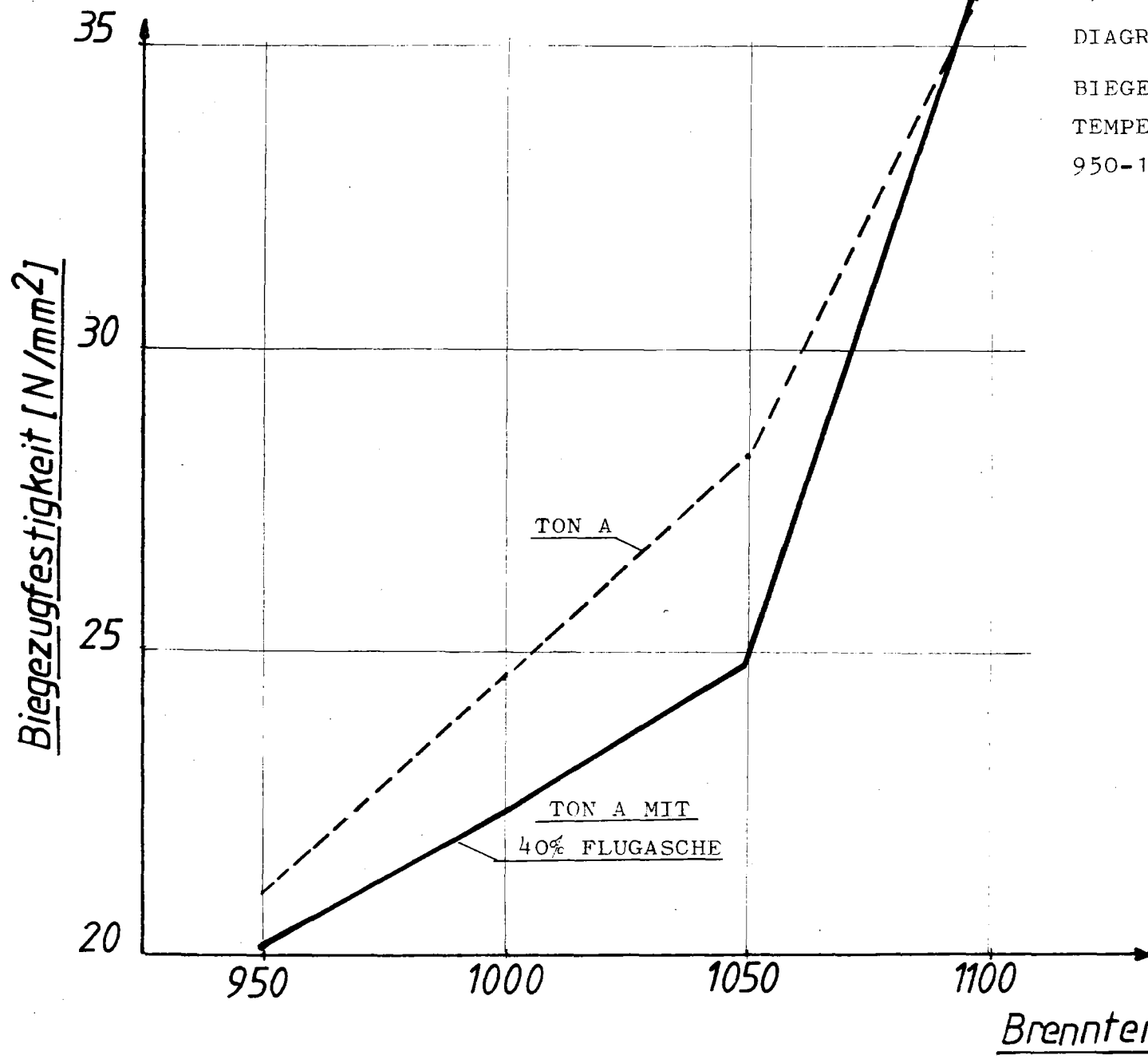


DIAGRAMM 3
BIEGEFESTIGKEITEN NACH BRENN-
TEMPERATUREN VON
950-1000-1050 und 1100°C

TON A

TON A MIT
40% FLUGASCHE

Brenntemperatur [°C]

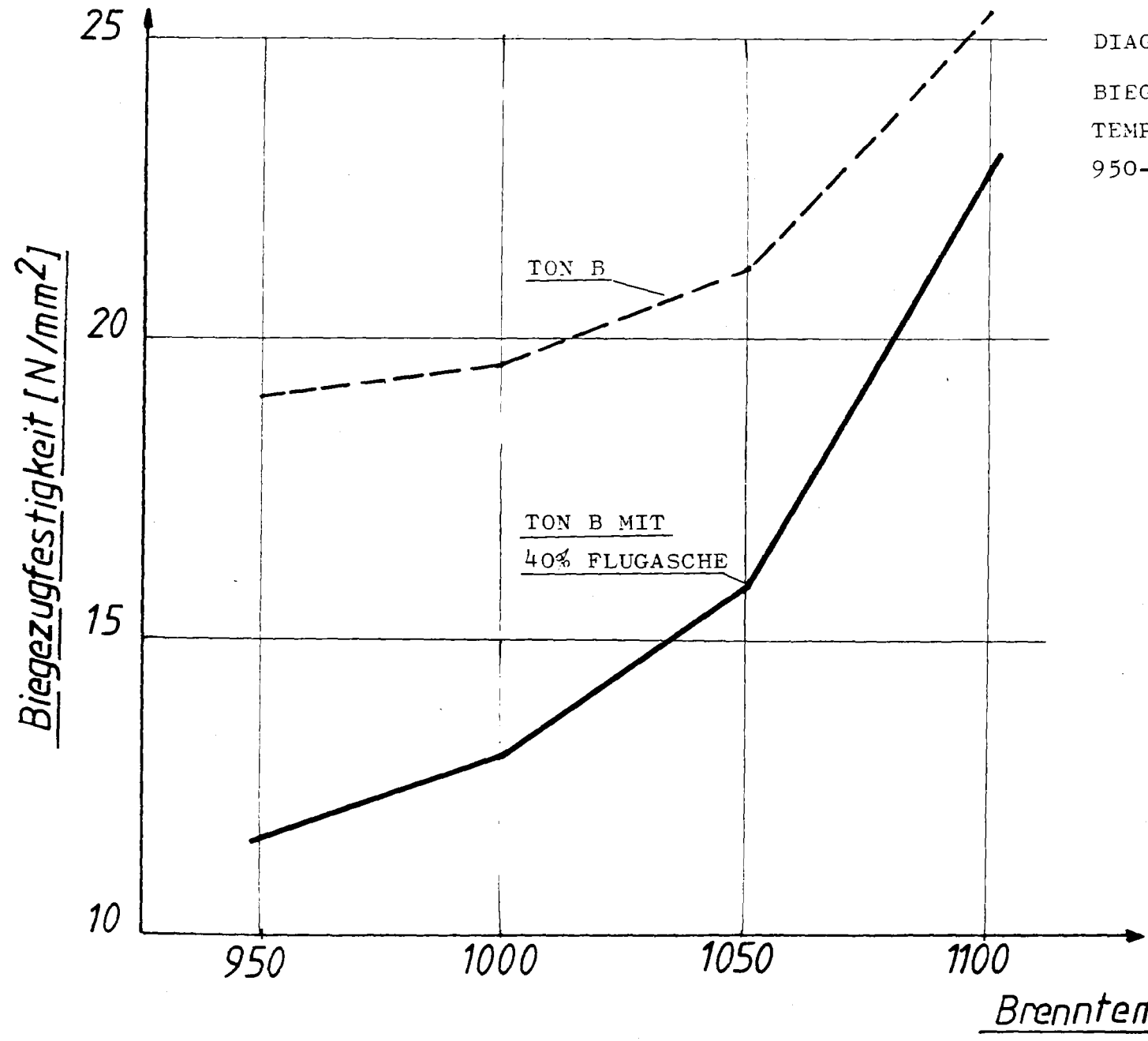


DIAGRAMM 4
BIEGEFESTIGKEIT NACH BRENN-
TEMPERATUREN VON
950-1000-1050 und 1100°C

Die nachfolgenden Bilder bringen Auszüge aus mikroskopischen Untersuchungen der Tone A/B bei verschiedenen Brenntemperaturen. Zur Hervorhebung einzelner Mineral- und Glasphasen waren z.T. starke Ätzungen erforderlich.

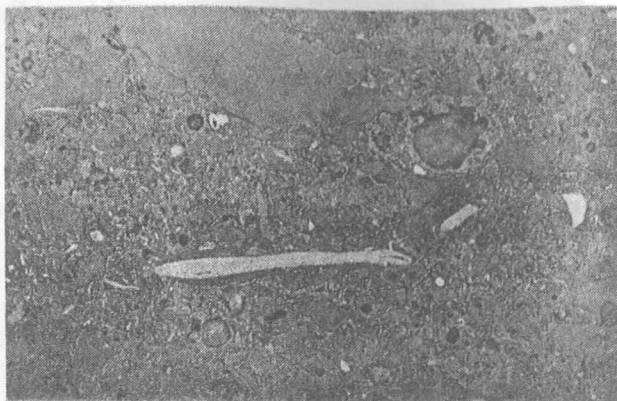


Bild 3:

Ton A mit länglichem Glimmerrest (Bildmitte). Am unteren Bildrand ist ein zersprungenes Quarzkorn zu erkennen. Neben Hornblende- und Rutilteilchen treten helle, zu Hämatit oxidiert Roggenpyritreste deutlich hervor.

Auflicht 125 x, 1000°C

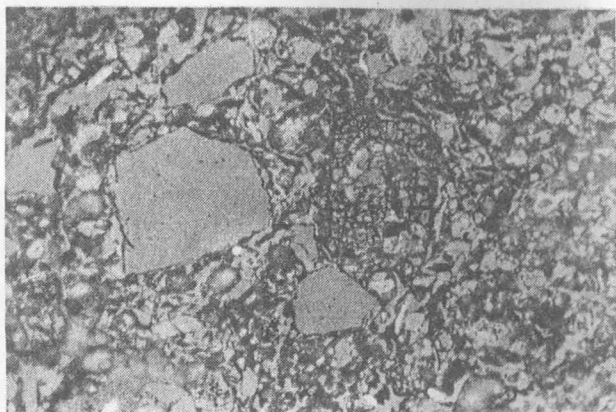


Bild 4:

Ton B. Dunkler Chloritrest (Bildmitte) neben hellgrauem Quarz, hellem Hämatit/Magnetit, Tonmineralresten und Poren.

Auflicht 125 x, starke HF-Ätzung, 1000°C.



Bild 5:

Ton A + 40 % Flugasche/950°C. Heller Kohlerest (grafitisiert) mit Oxidationsaum.

Auflicht 360 x

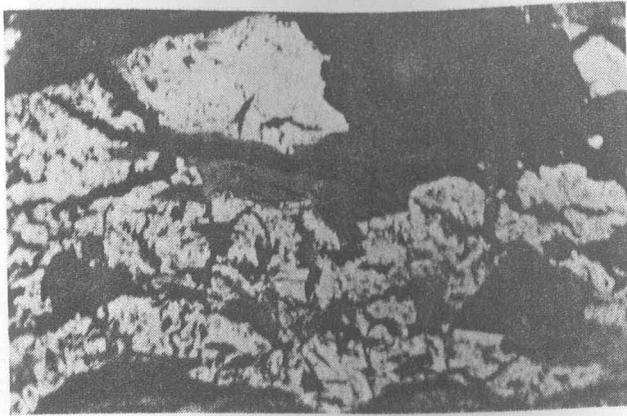


Bild 6:

Ton A + 40 % Flugasche/950°C
Kohlerest und eingelagertes
wenig versehrtes Glimmerpaket.

Auflicht 1000 x

Auflicht 360 x



Bild 7:

Ton A + 40 % Flugasche/ 950°C
Neben den feinkörnigen Ton- und
Begleitmineralen sind besonders
die runden, Fe-reichen Flugasche-
anteile gut zu erkennen.

Auflicht 125 x, geätzt.



Bild 8:

Ton B + 40 % Flugasche/1000°C
Quarz, helle Kohlereste, Fe-
und Ti-haltige Minerale sowie
dunkel geätzte Glasphase und
Poren.

Auflicht 125 x

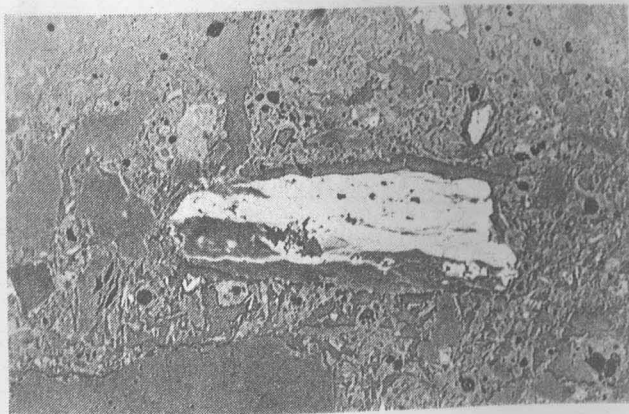


Bild 9:

Ton B + 40 % Flugasche/1000°C
Detail aus Bild 8 bei 360-facher
Vergrößerung und HF-Ätzung. Die
Kohlereste (hell) weisen bereits
breite Oxidationssäume auf.
Die Glasstege sind tief heraus-
geätzt.

Auflicht

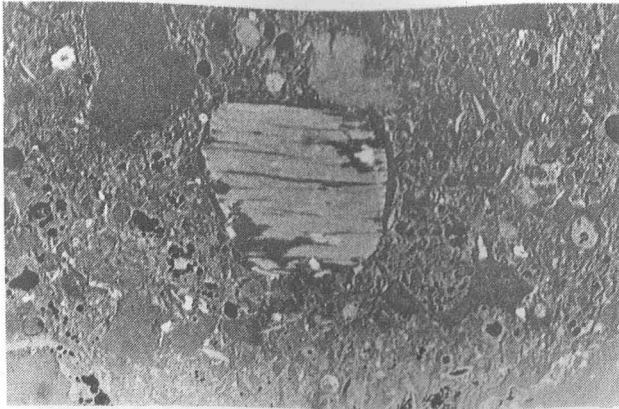


Bild 10:

Detail aus Bild 8/9. Flugasche-
teilchen, Quarz, Tonmineralrest
geätzte Glasphase und in der
Bildmitte ein großes teilweise
angeschmolzenes Glimmerplättche

Auflicht 360 x

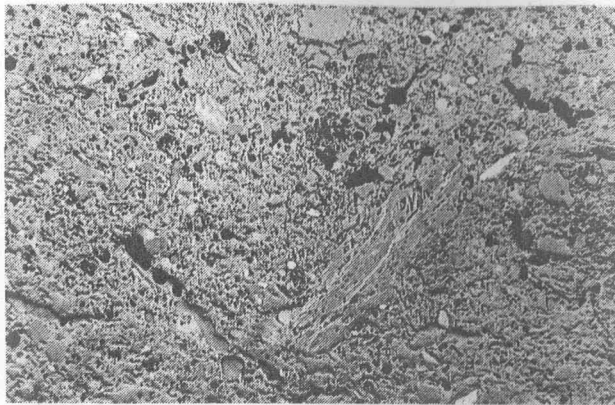


Bild 11:

Ton A + 40 % Flugasche/1050°C
Feinkörnige Tonmatrix mit Flug-
ascheteilchen und länglichem
Glimmerrest.

Auflicht 125 x

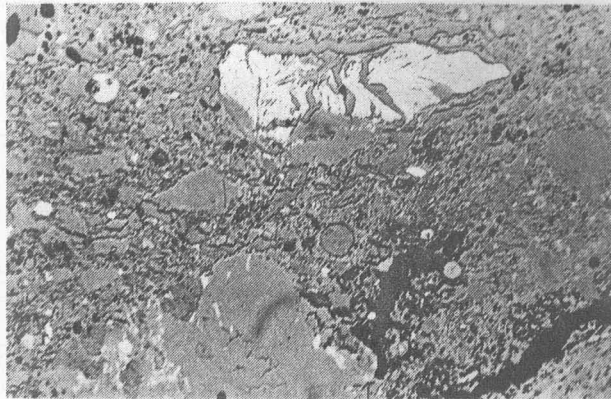


Bild 12:

Ton B + 40 % Flugasche/1050°C
Bild 12 zeigt den wesentlich
grobkörnigeren Ton B mit einem
weitgehend zersetzten Flugasche
rest.

Auflicht 125 x

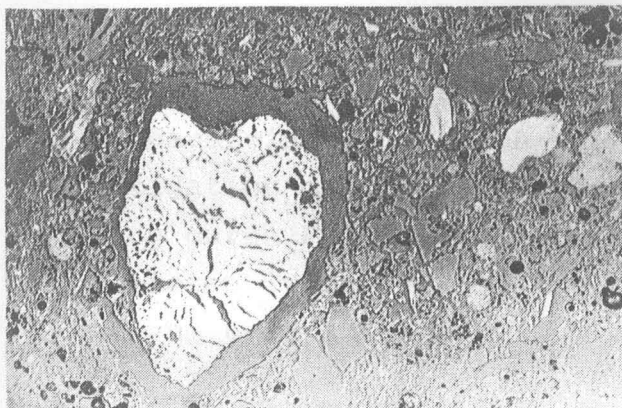


Bild 13:

Ton A + 40 % Flugasche/1050°C
In der Bildmitte ist ein großes
Kohleteilchen mit breitem Saum
ersichtlich. Neben Quarz und
Glimmerresten findet man Rutil,
Hämatit/Magnetit, Glasphasen
und dunkle Poren.

Auflicht 125 x

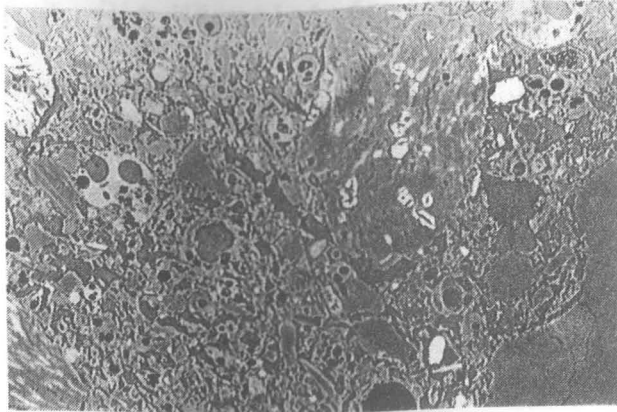


Bild 14:

Ton A + 40 % Flugasche/1100°C
Der stark verglaste und stark geätzte Anschliff läßt Quarzreste, Glimmerreste, Flugasche-Glasphasen, Hämatit (z.T. nach Pyrit) und Rutil sowie schwarze Poren erkennen.

Auflicht 360 x

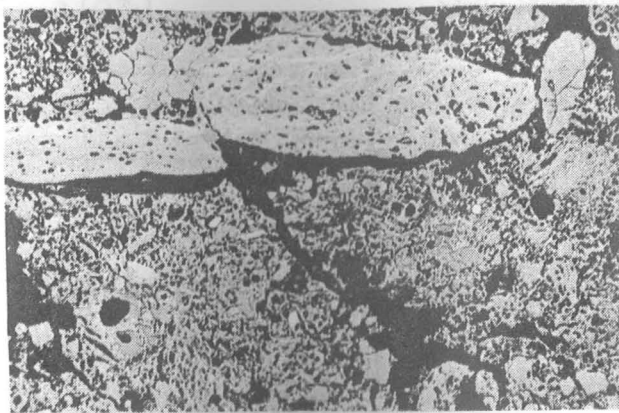


Bild 15:

Ton B + 40 % Flugasche/1100°C
Stark angeschmolzene Ton- und Glimmerteilchen und Flugaschereste.

Auflicht 360 x

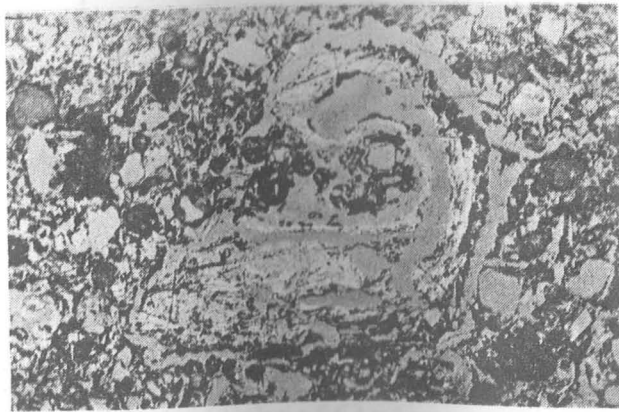


Bild 16:

Ton B + 40 % Flugasche/1100°C
Stark angeschmolzene Tonmatrix mit gerolltem, ebenfalls stark angeschmolzenem Glimmerteilchen (Glasphase dunkel geätzt).

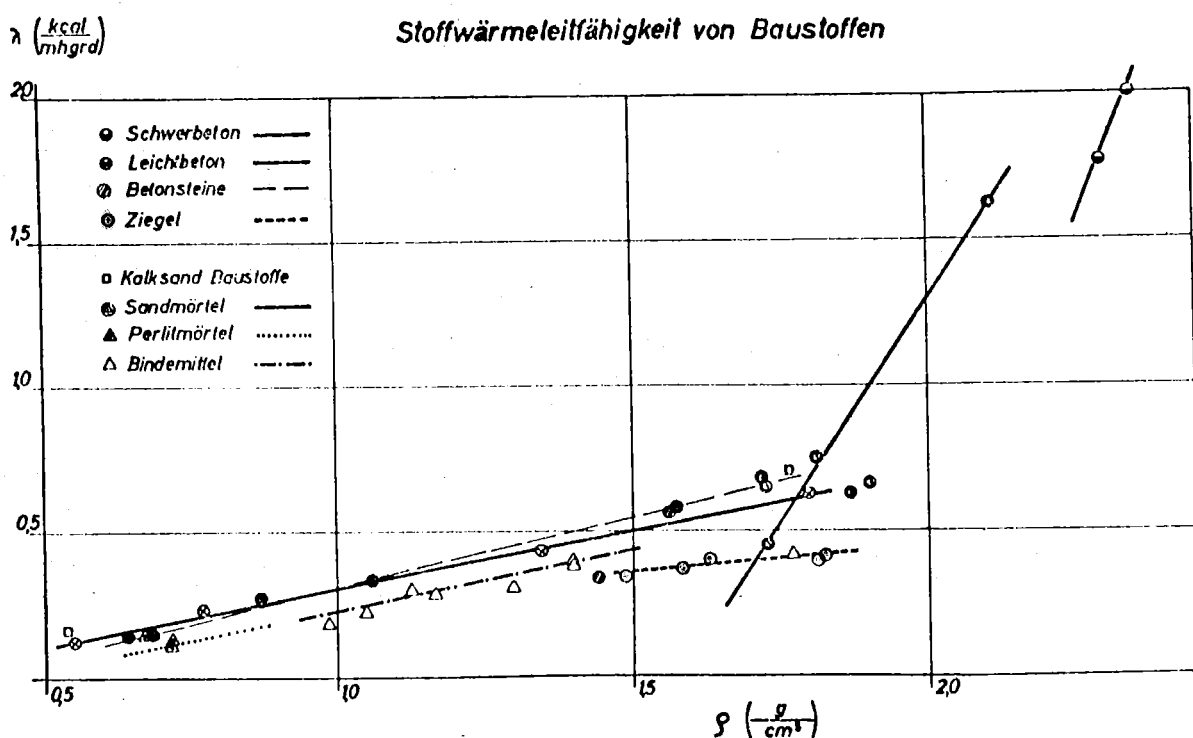
Auflicht 360 x

Aus den z.T. starken Aufschmelzvorgängen bei 1100°C kann abgeleitet werden, daß die Brenntemperaturen für Ton/Flugasche Leichtbausteine im Bereich von 900-1050°C liegen sollen. Die Oxidation des Flugasche-Restkohlenstoffes und die Porosierung durch Flugasche-Glashohlkugeln bringen im Falle der verwendeten Tone eine durchschnittliche Verminderung der Rohdichte um 6-10 % Masse.

4.5 Die Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen steht im engen Zusammenhang mit dem Raumgewicht bzw. der Dichte ρ -g/cm³. Im Diagramm 5 sind die Wärmeleitkoeffizienten von Leichtbaustoffen, Ziegel, Mörtel und Schwerbeton dargestellt (Mayer 1975 - eigene Messungen).

Diagramm 5:



Für Ton A/B mit und ohne Flugaschezusatz wurden folgende Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten gemessen:

Tab. 5:

	$\lambda \frac{\text{kcal}}{\text{m h } ^\circ\text{C}}$	$\lambda \frac{\text{W}}{\text{m K}}$
Ton A	0,87	0,43
Ton A+40 % Flugasche	0,35	0,41
Ton B	0,38	0,44
Ton B+40 % Flugasche	0,36	0,42

Aus den Werten in der Tabelle 5 ist ersichtlich, daß der Flugaschezusatz die Baustoffwärmeleitfähigkeit um einige Prozente senkt.

4.6 Das Saugvermögen

Das Saugvermögen von Baustoffen und Leichtbaustoffen zeigt in vielen Fällen Auswirkungen auf andere bauphysikalische Kenndaten wie Diffusionsverhalten, Wasserkapazität, Frostfestigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Ausblühneigung, Raumklima und Wohnraumluftheuchte.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Probestränge für 5, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 230 und 300 Sekunden 5 mm tief in Wasser gelagert. Die Bestimmung der Wasseraufnahme erfolgte gravimetrisch.

In den Diagrammen 6 und 7 ist das Saugverhalten der mit Flugasche versetzten Tone A/B graphisch dargestellt.

Während das Saugverhalten der beiden Leichtbaustoffmassen bei Brenntemperaturen von 1100°C und 1050°C sehr ähnlich ist, liegen Saugfähigkeitswerte des Tones B bei 950°C um rund 50 % über den Werten des Tones A.

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß aus Illit-Ton der Steiermark, gemeinsam mit gemahlener Braunkohle-Flugasche, Leichtbausteine nach dem derzeit üblichen Strangpreßverfahren, herstellbar sind.

Im Laborversuch* konnten bis zu 40 % Flugasche beigemischt werden. Für die großtechnische Ansendung werden von Fall zu Fall verschieden und mit unterschiedlicher Wichtung, beispielsweise folgende Parameter zu berücksichtigen sein:

DIAGRAMM 6 DAS SAUGVERMÖGEN von TON A + 40% FLUGASCHE
GEBRANNT BEI VERSCHIEDENEN TEMPERATUREN

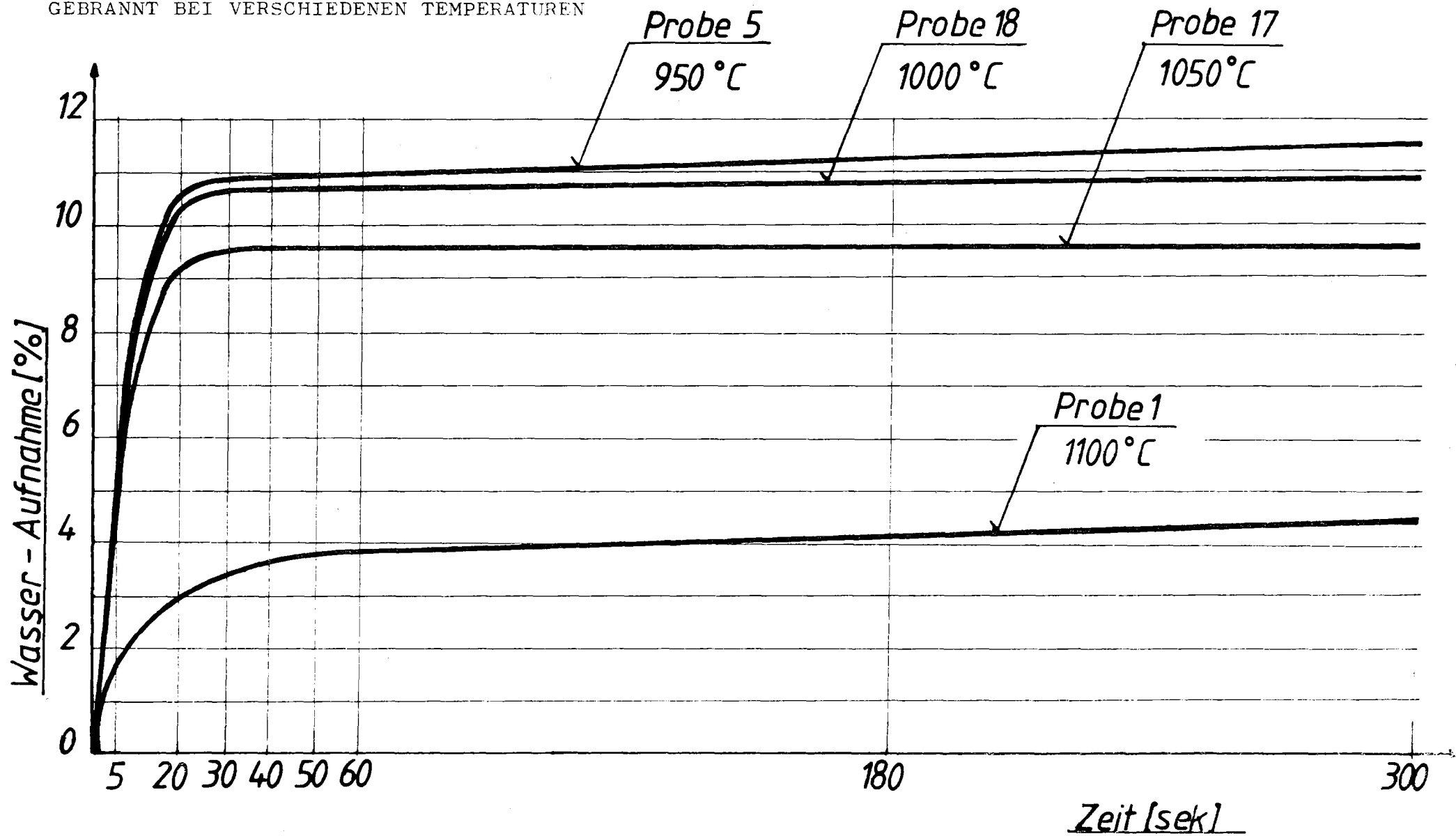
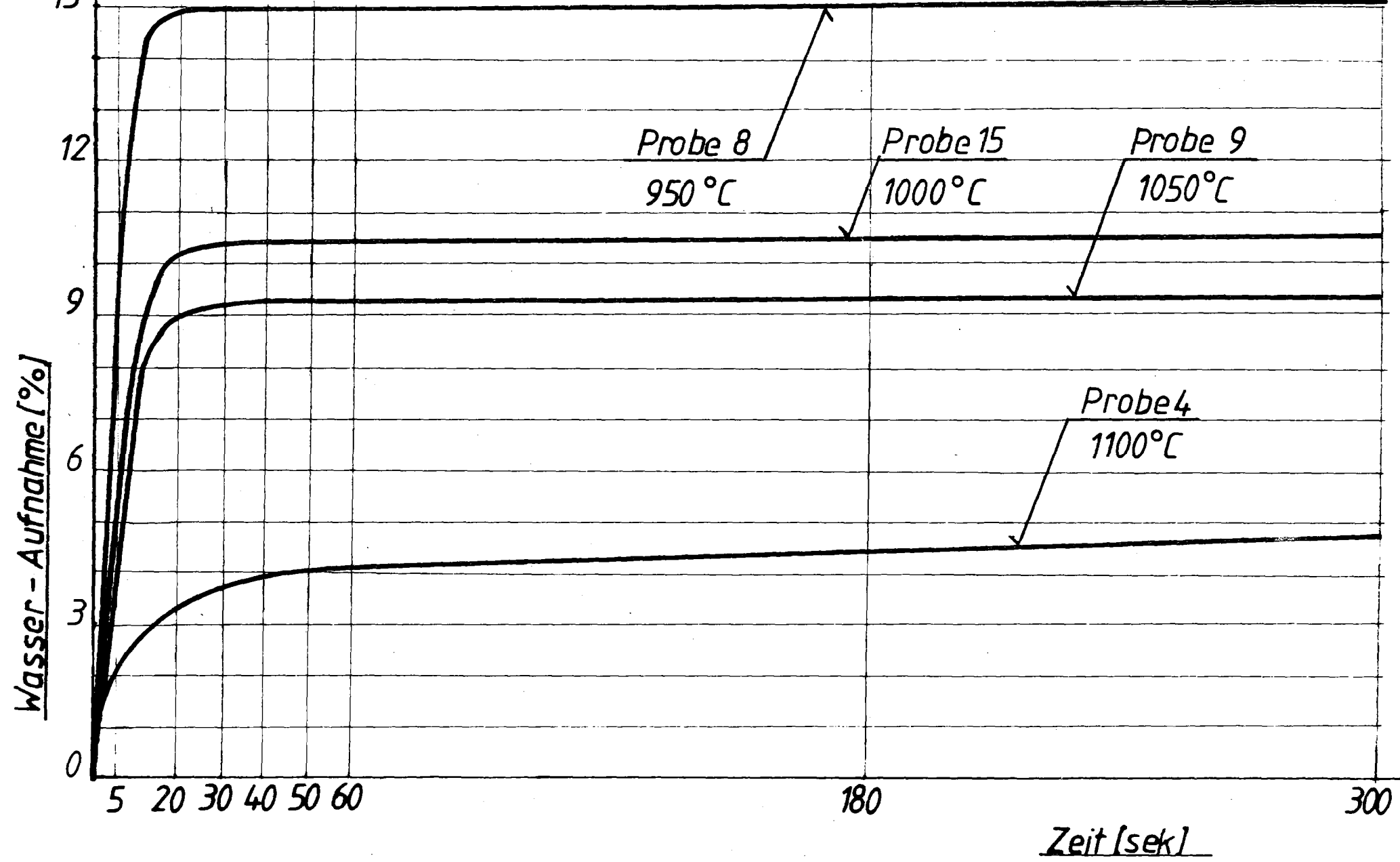


DIAGRAMM 7 SAUGVERMÖGEN TON B + 40% FLUGASCH (VERSCH. BRENNTEMPERATUREN)



- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| a) Ton (Lehm)-Lagerstätte | - Mineralogie, Kornaufbau |
| b) Flugasche | - Typ, Mahlfeinheit, Chemismus |
| c) Aufbereitung | - Tonabbau, Homogenisierung |
| d) Formgebung | - Baustoff-Formate |
| e) Trockenverfahren | - Trocknungsverlauf |
| f) Brennverfahren | - Brennkurve, Reproduzierbarkeit |

Zu den bauphysikalischen Kennwerten der Untersuchungen kann festgehalten werden, daß infolge des 40-%-igen Flugaschezusatzes die Druck- und Biegefestigkeiten gesenkt werden. Mit der Erhöhung der Porosität sinken auch die Wärmeleitfähigkeitswerte.

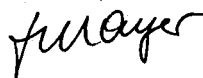
Der im Flugascheanteil vorhandene Restkohlegehalt führte in den Laborversuchen zu keinen Reduktionskernen.

Energieeinsparungen infolge des Restkohle-Anteiles sind im beschränkten Umfang möglich.

Schlußbemerkung:

Zusammenfassend kann ausgesagt werden, daß plastische Illit-Tone mit erheblichen Mengen von Braunkohle-Flugaschen gestreckt werden können. Damit könnte sowohl ein Beitrag zur sinnvollen und mengenmäßig bedeutenden Sekundärrohstoffverwertung (Recycling), als auch ein Beitrag zur Schonung der heimischen Rohstoffreserven erreicht werden.

Glück Auf !



(Dipl. Ing. Dr. mont. Anton Mayer)

- * Strangpreß-Laborversuche: Rechteck-, Rund-, Rohr- und Hohlblockprofilstränge gepreßt auf der "Netzsch-Strangpresse" des Institutes für Gesteinshüttenkunde und feuerfeste Baustoffe - Montanuniv. Leoben

Literaturhinweise

1. Haditsch, J.G., Laskovic, F.
"Ein Beitrag zur Kenntnis steirischer Ziegeleirohstoffe"
Archiv für Lagerstättenforschung in den Ostalpen,
2. Sonderband 1974
2. Haditsch, J.G.
"Grundlagen der Rohstoffversorgung"
Heft 2/1979, Bundesministerium f. Handel, Gewerbe und
Industrie
3. Manns, W., Schneider, H.
"Einsatzmöglichkeiten von Metallhydroxidschlamm bei der
Mauerziegelherstellung"
Ziegelindustrie International, H. 3, 1979, S. 110-126
4. Hilker, E.
"Behandlung trockenempfindlicher Rohstoffe"
Ziegelindustrie International, H. 8, 1974, S. 338-345
5. Piltz, G.
"Großprüfung von Steinkohlewaschberge-Zusätze in
Ziegelwerken"
Ziegelindustrie International, H. 6, 1975, S. 214-215
6. Piltz, G., Hilker, E.
"Über Brennstoffeinsparung durch Zusatz brennbarer
Materialien zum Ziegelrohstoff"
Ziegelindustrie International, H. 9, 1974, S. 374-377
7. Hesse, E.
"Magerung mit Steinkohleaschegranulat"
Mitteilungen des IZF, Nr. 1/9, 1976

8. Moritz, K.
"Richtig und falsch im Wärmeschutz"
Bauverlag 1970
9. Mirkovich, V.V.
"Comperative Method and Choice of Standards for Thermal
Conductivity Determinations"
Journ.Americ.Cer.Soc. 1965/8
10. Zagar, L.
"Verteilung der Porengrößen in keramischen Werkstoffen"
Sprechsaal, H. 1, 1967, S. 1 ff