

97.546



INSTITUT FÜR UMWELTINFORMATIK

LEITER
UNIV.-PROF. DR. MONI JÜRGEN WOLFBACHER

Verbesserung der Korneigenfestigkeit von Blähgranulaten



1. Zwischenbericht

Forschungsvorhaben durchgeführt im Auftrag (Nr. 00019)
der Österreichischen LECA GesmbH vom 19.07.1989.

Projektbearbeitung: Dr. Martin Vinzenz

Leoben, im Dezember 1989.



A-8700 LOBEN AUSTR.
KONIGSBERGSTRASSE 17
TEL. (03042) 43053/14
(FAX 03042) 43053/05
TELEX 33475 1011 O

Inhalt

1	Problemstellung und Vorgehenskonzept	1
2	Ergebnisse und Ausblick	2
2.1	Probenahme	2
2.2	Chemie	3
2.2.1	pH-Wert	3
2.2.2	Haupt- und Spurenelemente	4
2.2.3	Kohlenstoffgehalte	6
2.3	Korngrößenverteilung	7
2.4	Mineralogie	14
2.5	Temperaturgradientenbrand	15
2.6	Thermogravimetrie	17
2.7	Blähversuche	19
2.7.1	Ausgangsrohstoffe	19
2.7.2	Verschiedene Zusätze	19
2.8	Ausblick	23

Abbildungsverzeichnis

1	Kornaufbau der Probe A	8
2	Kornaufbau der Teilprobe Halde Burgfeld	9
3	Kornaufbau der Teilprobe Halde Mataschen	10
4	Kornaufbau der Probe B	11
5	Kornaufbau der Teilprobe Grube Burgfeld	12
6	Kornaufbau der Teilprobe Grube Mataschen	13
7	Gesamtschwindung der untersuchten Proben zwischen 800 und 1200°C	16
8	Thermogravimetrische Aufnahme der Probe A mit 0,5 bzw. 1 % Blähmit- telzusatz	18

Tabellenverzeichnis

1.	pH-Werte der geogenen Teilproben und Gesamtproben	3
2.	Haupt- und Spurenelemente der Proben A sowie Grube Burgfeld und Matschen	5
3.	Kohlenstoffgehalte in den Proben A und B	6
4.	Mineralogischer Aufbau der Proben A und B	14
5.	Trocken- und Bremschwindung der untersuchten Proben	15
6.	Raumdichten der Proben A und B bei drei verschiedenen Temperaturen	19
7.	Zuschlagstoffe und ihr Einfluß auf die Raumdicthe und Festigkeit von Blähgranulaten, 1. Teil	21
8.	Zuschlagstoffe und ihr Einfluß auf die Raumdicthe und Festigkeit von Blähgranulaten, 2. Teil	22

1 Problemstellung und Vorgehenskonzept

Neben der Raumdichte stellt die Kornfestigkeit eines Blähgranulates ein wichtiges Qualitätsmerkmal dar. Besonders beim Einsatz als Zuschlagstoff gewinnt diese Größe an Bedeutung. Frühere Untersuchungen dieser Eigenschaft konnten keine befriedigende Erklärung bezüglich der Einflüsse auf die Kornfestigkeit nachweisen. Dabei wurden neben verfahrenstechnischen Methoden nur wenige mineralogische, chemische und keramische Untersuchungen eingesetzt. Aus diesen Gründen wurde von Prof. Ing. Geisregger dieses Forschungsprojekt angeregt.

Die Qualitätsmerkmale Raumdichte und Festigkeit des Endproduktes werden im wesentlichen von zwei Faktorengruppen bestimmt:

- Die rohstoffspezifische Eigenschaften der verwendeten Ausgangsmaterialien und deren Zuschlagstoffe;
- Der Produktionsprozess selbst und seine verfahrenstechnischen Einflüsse;

Um für die Dauer der Untersuchung ein in seiner Qualität gleichbleibendes Ausgangsmaterial zu gewährleisten, wurden zwei Großproben von je 30 kg gezogen, die der durchschnittlichen Zusammensetzung der in der laufenden Produktion eingesetzten Rohstoffe entspricht. Derzeit gelangen Tone aus zwei Tagbanen (Burgfeld und Mataschen) zum Einsatz, die vorher über längere Zeit auf Halde gelagert wurden. Das Mischungsverhältnis beträgt 55 % Burgfeld : 45 % Mataschen. Die Proben wurden daher in diesem Verhältnis gemischt. Die Probe A stammt von der Halde und die Probe B aus den beiden Gruben. Der Vergleich der beiden Proben läßt somit auch Rückschlüsse auf Veränderungen während dem Lagern der Tone erwarten.

Von den materialspezifischen Eigenschaften wurde der Chemismus, der Kornaufbau und die mineralogische Zusammensetzung bestimmt.

Das Verhalten der Rohstoffe und des Blähzusatzes beim Erhitzen wurde durch eine thermogravimetrische Untersuchung beschrieben, wobei der interessante Bereich unter 1000°C besonders berücksichtigt worden ist. Ein Temperaturgradientenbrand an den beiden Ausgangsrohstoffen erlaubt Rückschlüsse auf Trocken- bzw. Brennschwindung, sowie die Erfassung des Sinterbereiches. Die Vorgänge während des Sinterns haben vor allem auf die Veränderung des Mineralbestandes während dem Brand großen Einfluß.

Der Einfluß von verschiedenen Additiven auf Blähneigung und Festigkeit wurde anhand von Testreihen mittels Schockblähung bei drei Temperaturen beschrieben.

2 Ergebnisse und Ausblick

2.1 Probenahme

Die Probenahme der Tone erfolgte im Juli in den Gruben Burgfeld und Mataaschen sowie auf den Halden am Werksgelände der LECA in Fehring.

Bei der Beprobung der Tone in den Tagbauen wurde ein repräsentativer Schütz über die gesamte Mächtigkeit der anstehenden Tone gezogen, und auf 30 kg Probengewicht geviertelt. Dabei wurden Bereiche geringerer Qualität, soweit sie auch beim Abban nicht auszuhalten sind, mitbeprobte.

Auf dem Werksgelände der LECA in Fehring wurden jene Halden einer Bemusterung unterzogen, die am längsten aufgeschüttet waren. Die Teilprobe Burgfeld stammt aus der Halde 6 (Schüttungszeitraum Oktober 1987 bis Februar 1988) und die Teilprobe Mataaschen aus der Halde 2 (Schüttungszeitraum März bis Juli 1988). Das beprobte Material lag somit mindestens ein Jahr auf Halde.

Aus diesen 4 Teilproben à 30 kg wurden im Verhältnis 55 % Burgfeld und 45 % Mataaschen zwei Proben mit den jeweiligen Halden- bzw. Grubenanteilen gemischt und homogenisiert. Die Proben A (Haldenmaterial) und B (Grubenmaterial) wurden getrennt und ohne Verwendung chemischer Zusatzmittel in Wasser gelöst und anschließend wieder getrocknet.

Das Material aus Burgfeld zeigte beim schonenden Auflösen in Wasser erst nach 7 Wochen einen weitgehenden Zerfall des Tonmaterials. Hingegen war die Probe Mataaschen nach weniger als drei Wochen bereits gleichmäßig zerfallen. Innerhalb der beiden Gruppen waren die Proben von der Halde schneller aufgelöst, als jene aus der Grube. Diese Beobachtung unterstreicht den bekannten erhöhten Aufschluß von Tonen durch Lagern (Mauken).

2.2 Chemie

2.2.1 pH-Wert

Sowohl von den Teilproben als auch von den Gesamtproben wurde anschließend an die Probenahme der pH-Wert bestimmt (Tabelle 1).

Probe	pH-Wert	Temperatur °C
Probe A 55 % Halde Burgfeld + 45 % Halde Matschen	8.49	14.4
Probe B 55 % Grube Burgfeld 45 % Grube Matschen	8.83	14.6
Halde Burgfeld	8.45	14.5
Halde Matschen	8.30	14.6
Grube Burgfeld	9.21	14.5
Grube Matschen	8.50	14.6

Tabelle 1: pH-Werte der gezogenen Teilproben und Gesamtproben

2.2.2 Haupt- und Spurenelemente

Von der Gesamtprobe A (Halde Burgfeld und Halde Mataschen) sowie von den Einzelproben Grube Mataschen und Grube Burgfeld wurde mit RFA der Chemismus bestimmt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind aus Tabelle 2 ersichtlich.

Die Unterschiede zwischen Burgfeld und Mataschen sind im allgemeinen sehr gering. Charakteristisch ist ein um ca 10% höherer Gehalt an Al_2O_3 und Flusmitteln im Mataschenmaterial. Ebenso ist im Gegensatz zu Burgfeld der Gehalt an SO_3 deutlich, was auf die leichte Pyritführung zurückzuführen ist.

Interessant ist die Beobachtung der Abnahme des Glühverlustes im Halde material.

	Grube Burgfeld	Grube Mataschen	Probe A
SiO_2 %	51.620	49.150	52.170
Al_2O_3 %	16.980	19.280	17.280
CaO %	2.350	2.310	2.380
Na_2O %	0.470	0.330	0.760
MgO %	2.730	3.160	2.850
F_2O_8 %	0.187	0.110	0.137
K_2O %	2.360	3.430	2.700
TiO_2 %	0.950	0.870	0.970
Fe_2O_3 %	7.370	7.980	7.610
SO_2 %	0.005	0.257	0.818
MnO ppm	948	983	733
Glühverlust	14.983	13.143	12.965
As ppm	13	17	16
Ba ppm	439	513	488
Bi ppm	7	4	3
Br ppm	3	3	3
Cd ppm	0.6		
Cl ppm	60	72	74
Co ppm	170	394	193
Cr ppm	119	140	121
Cu ppm	13	63	69
F ppm	550	507	657
Ga ppm	20	25	22
Hg ppm	0.4		0.3
Mo ppm	1	3	2
Nb ppm	18	15	17
Ni ppm	115	114	63
Pb ppm	29	37	34
Rb ppm	119	171	129
Sb ppm	76	74	70
Se ppm	6	7.5	0.2
Sn ppm	10	7	4
Sr ppm	124	78	109
Th ppm	11	6	10
Tl ppm	0.6	0.8	0.7
U ppm	3	4	3
V ppm	146	161	143
W ppm	4	4	4
Y ppm	39	31	33
Zn ppm	94	105	97
Zr ppm	120	108	136

Tabelle 2: Haupt- und Spurenelemente der Proben A sowie Grube Burgfeld und Mataschen.

3.2.3 Kohlenstoffgehalte

Im Hinblick auf ein parallel dazu durchgeführtes Projekt wurde auch der Gehalt an Kohlenstoff in den Proben A und B bestimmt.

Die Bestimmung erfolgte mit Leco CS 344 am Geol. LA. in Hannover. C_{-ges} wurde an der Originalprobe, bei Verbrennung der Probe bei $1800^{\circ}C$ im reinen Sauerstoff-Strom, gemessen. Für die Bestimmung von C_{-org} wurde die Probe vor der Messung mit $2n\ HCl$ entkarbonatisiert und anschließend wie die Originalprobe weiterbehandelt. Die Differenz der beiden Werte dürfte vereinfacht dem Gehalt an karbonatisch gebundenem Kohlenstoff entsprechen (Tabelle 3).

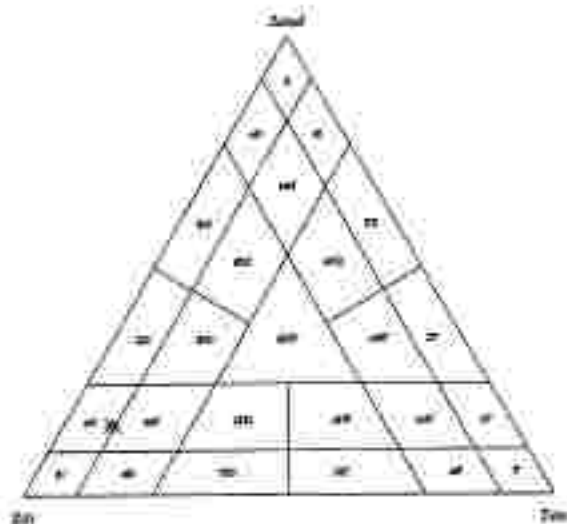
Probe	C_{-ges}	C_{-org}
Probe A 55 % Halde Burgfeld + 45 % Halde Mataschen	3.06	2.04
Probe B 55 % Grube Burgfeld 45 % Grube Mataschen	3.56	2.89

Tabelle 3: Kohlenstoffgehalte in den Proben A und B.

2.3 Korngrößenverteilung

Die Korngröße besitzt einen großen Einfluß auf die Verarbeitbarkeit der Tone. Der Kornaufbau eines Tones wird zudem stark von dessen mineralogischen Aufbau beeinflusst. In der Praxis wird daher immer der Kornaufbau eines Tones mituntersucht. Die Ergebnisse der Korngrößenanalyse ist aus den Abb. 1 bis Abb. 6 ersichtlich.

Vergleicht man den Kornaufbau der Proben, so fällt sofort der niedrige Tonanteil auf. Dieser Umstand ist auf die schonende Auflösung der Proben zurückzuführen, da für den Aufschluß weder Wasserstoffperoxid noch Natriumpyrophosphat eingesetzt werden konnte, um die nachfolgenden chemischen Analysen nicht zu verfälschen. Das Verhältnis der Anteile untereinander ist sicherlich davon unbeeinflusst, jedoch in den größeren Bereich verschoben.



PROBENBEZEICHNUNG:

Probe_A

Klassifizierung nach
Fackelmann (1979) & Mawf (1991)

μ

Durchgang:

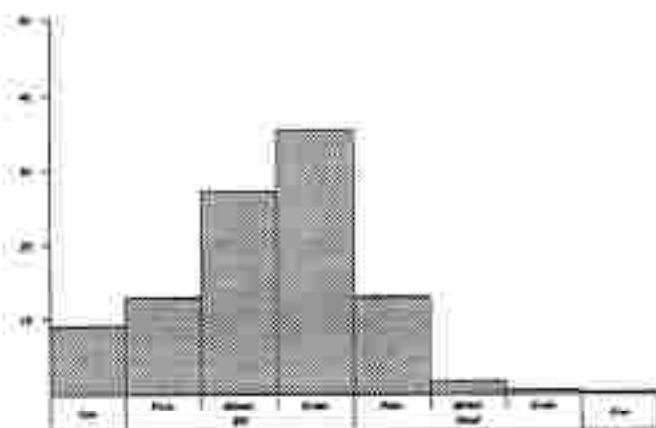
passiert (%)

Min:	1.00%	17.3%	D10:	0.075 mm	1.0%
Median:	1.00%	35.0%	D50:	0.25 mm	24.0%
Max:	0.20%	88.7%	D90:	0.425 mm	94.0%

KORNVERTEILUNG

NAZIEPARAMETER

Korngröße	Durchgang (%)	C	μ
> 2.0 mm	0	0	0
1.0 - 2.0	0	0	0
0.5 - 1.0	0	0	0
0.25 - 0.5	0	0	0
0.15 - 0.25	0	0	0
0.075 - 0.15	0	0	0
0.05 - 0.075	0	0	0
0.025 - 0.05	0	0	0
0.015 - 0.025	0	0	0
0.0075 - 0.015	0	0	0
0.005 - 0.0075	0	0	0
0.0025 - 0.005	0	0	0
0.0015 - 0.0025	0	0	0
0.001 - 0.0015	0	0	0
< 0.001	0	0	0
> 20 μ	31.70%		11.62%
5 - 20 μ	40.10%		
< 5 μ	2.07%		



Wsl:	0.28%	Grobsand:	0.22%
Seuf:	12.24%	Mittelsand:	1.79%
		Feinsand:	13.07%
Sl:	22.20%	Staub:	23.17%
		Mindest:	13.17%
		Feinst:	12.87%
Seuf:	0.17%		

nach DIN 4022

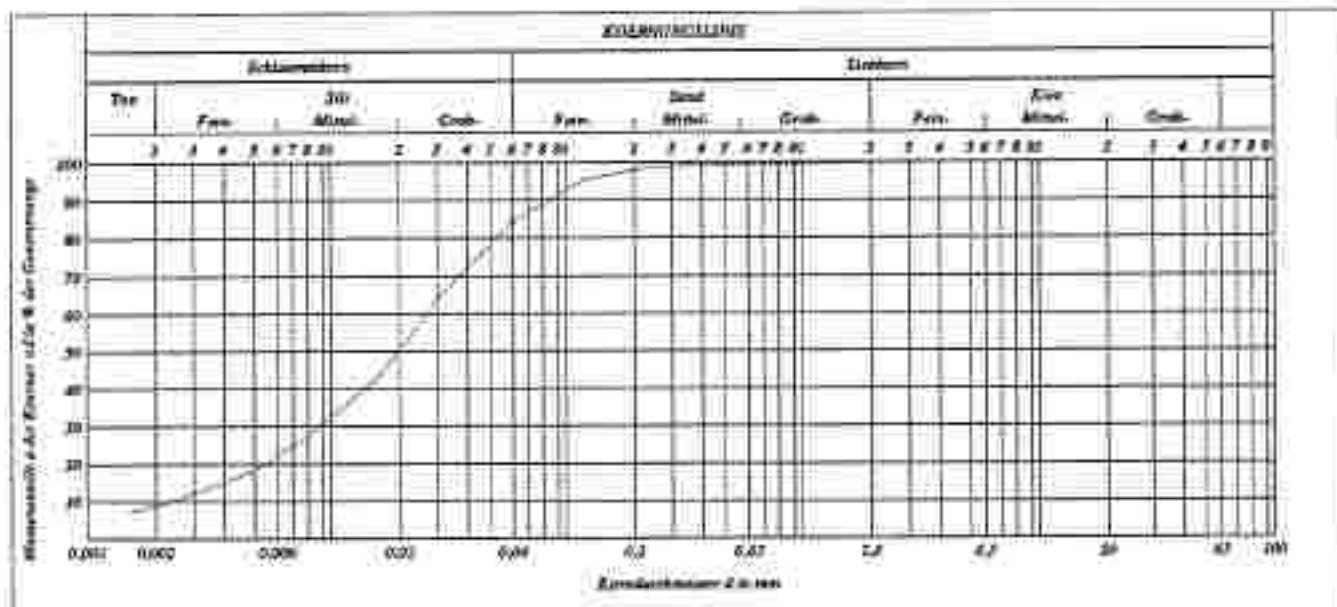
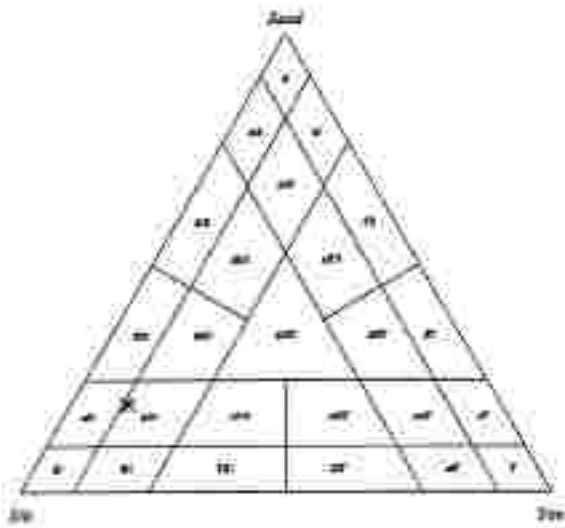


Abbildung 1: Kornaufbau der Probe A



PROBENBEZEICHNUNG:

Halde_Burgfeld

Klassifizierung nach
Fuchsbauer(1991) & Mueller(1997):

SL

Swelling: very poorly swell (vs)

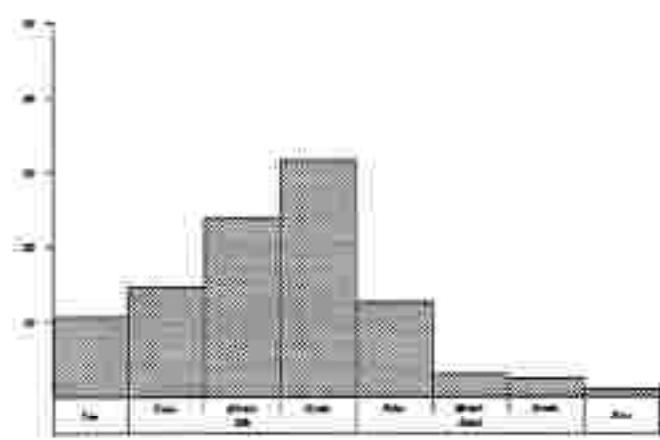
Nenn:	5,7% - 18,2%	0,10 - 0,60	1,0μ - 1,0μ
Sandfraktion:	2,35% - 196,2%	0,60 - 5,00	20,4μ - 20,4μ
Dehnung:	0,42% - 1,80-4μ	0,00 - 2,10	10,5μ - 10,5μ

KORNVERTEILUNG

FAKTOPARAMETER

Korngröße	Sandanteil	Dreckigkeit	C	U
> 120 μm		%		
100 - 120	%	%	W	
80 - 100	%	%	W	
60 - 80	%	%	W	
40 - 60	%	100,00%	W	
20 - 40	0,07%	99,93%	W	
10 - 20	0,17%	99,79%	W	
5 - 10	0,37%	99,42%	W	
2,5 - 5	1,09%	97,03%	W	
1,25 - 2,5	3,07%	85,36%	W	
0,63 - 1,25	7,64%	64,32%	W	
0,315 - 0,63	10,2%	51,40%	W	
0,15 - 0,315	10,27%	36,67%	W	
0,075 - 0,15	10,27%	20,67%	W	
0,0375 - 0,075	10,27%	6,33%	W	
0,01875 - 0,0375	10,27%	0,00%	W	
< 0,0075	0,00%	0,00%	W	

> 20 μm	10,27%	Substruktions < 0,063 mm	0,37%
2 - 20 μm	18,47%		
< 2 μm	0,67%		



Ein	1,00%		
Zw	10,27%	Grobsand	2,3%
		Mittelsand	1,07%
		Finessand	11,63%
SW	70,00%	Staub	11,70%
		Milch	15,73%
		Finst	14,67%
Zw	10,17%		

nach DIN 4022

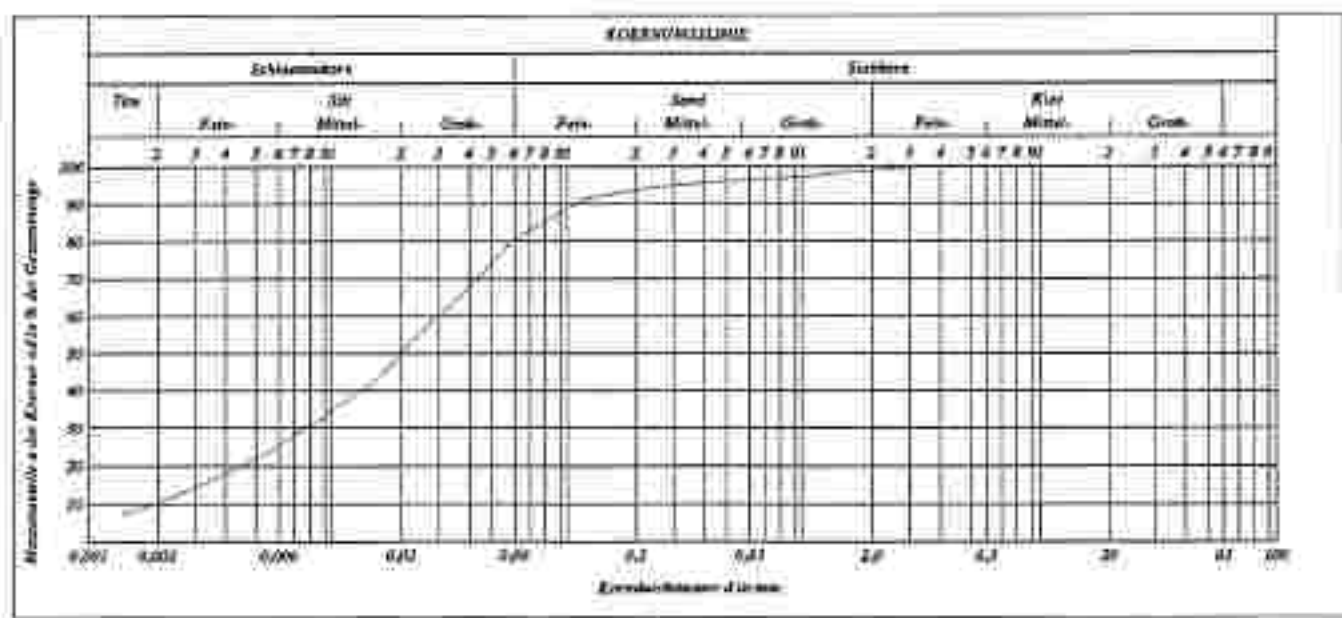
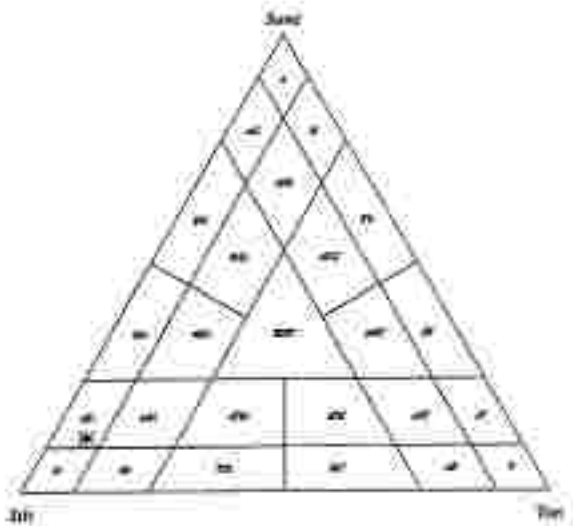


Abbildung 2: Kornaufbau der Teilprobe Halde Burgfeld



PROBENBEZEICHNUNG:

Halde_Mataschen

Erprobung nach
DIN EN 12697 (ISO & Merit) (197)

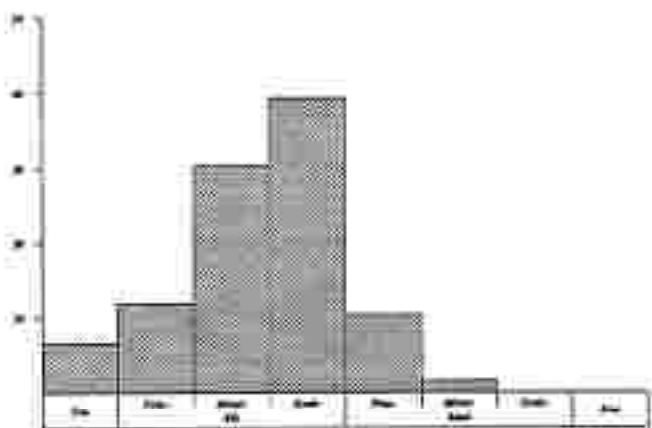
Sortierung:

	125µ	250µ	500µ	1mm	2mm	4mm
Stein:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Geröll:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Sand:	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

KORNVERTEILUNG

FAZISPARAMETER

Größe	Beobachtet	Deutlich	C	u
> 20 µ	31.2%	31.2%	100.0%	100.0%
2 - 20 µ	42.7%	42.7%	95.7%	95.7%
< 2 µ	6.4%	6.4%	10.0%	10.0%



Größe	Beobachtet	Deutlich
Stein	0.0%	0.0%
Geröll	11.6%	11.6%
Sand	81.8%	81.8%
Schluff	6.4%	6.4%
Ton	0.0%	0.0%

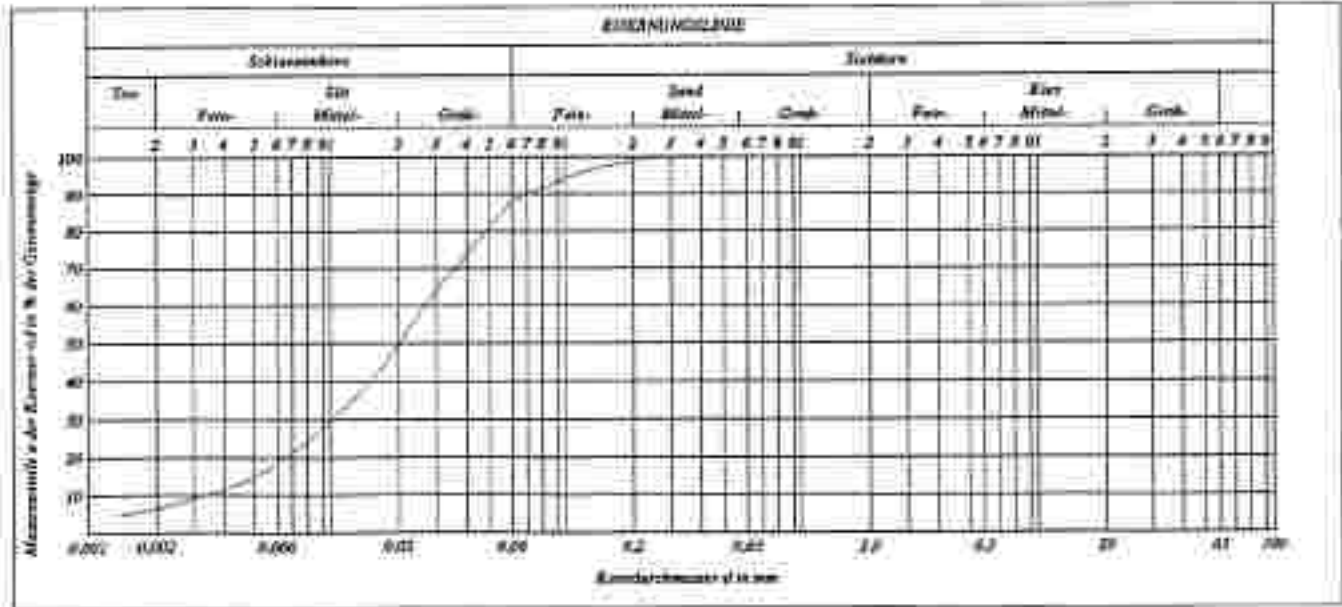
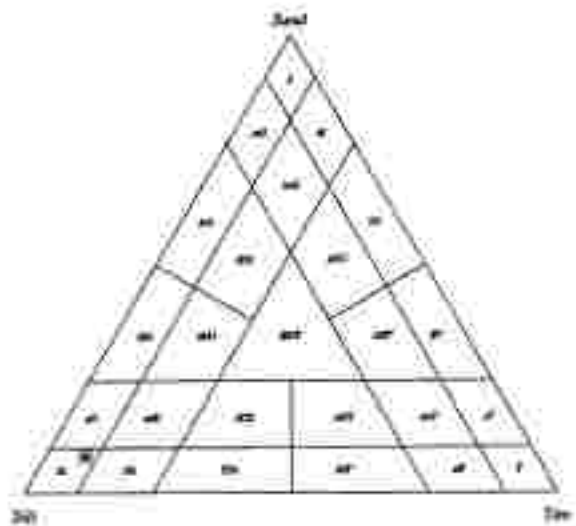


Abbildung 3: Kornaufbau der Teilprobe Halde Mataschen



PROBENBEZEICHNUNG:

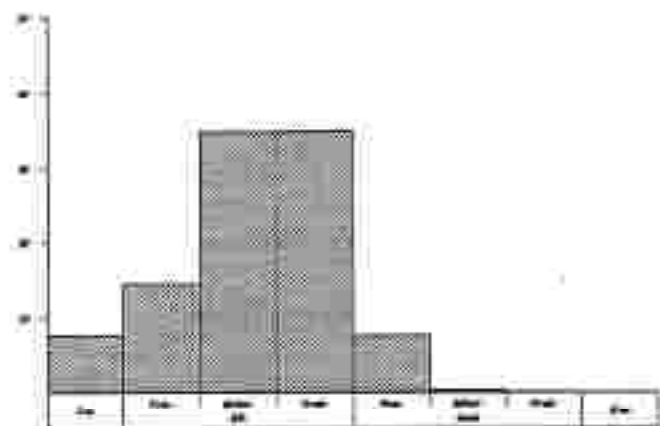
Probe B

Konzentrationsmaß
Punchmass (PMM) & Massier (M02):

Ergebnis	Probe (erschöpfend)		B		
Masse	8,399	140g	0,10	4,390	3,1g
Luftfeuchte	7,644	222,2g	0,00	2,540	21,4g
Steuerung	2,218	807,2g	0,00	4,210	37,9g

KORNVERTEILUNG

Größenklasse	Quantität	Durchgang	C	U	
> 125 µm	%	%	St	µ	
100 - 125	%	%	F	µ	
63 - 100	%	%	L	µ	
5,0 - 63	%	%	A	µ	
4,0 - 5,0	%	%			
2,5 - 4,0	%	%			
2,0 - 2,5	%	88,89%	Fraktion	µ	
1,0 - 2,0	0,04%	89,57%	Schluff	µ	
0,5 - 1,0	0,07%	89,83%	Schluff	µ	
0,25 - 0,5	0,13%	89,74%	Schluff	µ	
0,125 - 0,25	0,33%	89,37%	Schluff	µ	
0,062 - 0,125	1,33%	91,07%	Schluff	µ	
0,031 - 0,062	24,88%	74,21%	Schluff	µ	
0,015 - 0,031	28,97%	47,06%	Schluff	µ	
0,008 - 0,015	30,34%	27,70%	Schluff	µ	
0,004 - 0,008	27,97%	14,67%	Schluff	µ	
0,002 - 0,004	2,99%	7,69%	Schluff	µ	
0,001 - 0,002	7,69%	%	Schluff	µ	
< 0,001	%	%			
> 20 µ	42,89%	Dünnschluff < 0,063 mm			8,09%
2 - 20 µ	48,49%				
< 2 µ	7,61%				



Kla.	0,09%		
Schl.	8,09%	Grob	2,09%
		Mittel	6,00%
		Fine	7,00%
Slb.	84,09%	Grob	34,00%
		Mittel	34,09%
		Fine	16,00%
Ton	7,60%		

nach DIN 4122

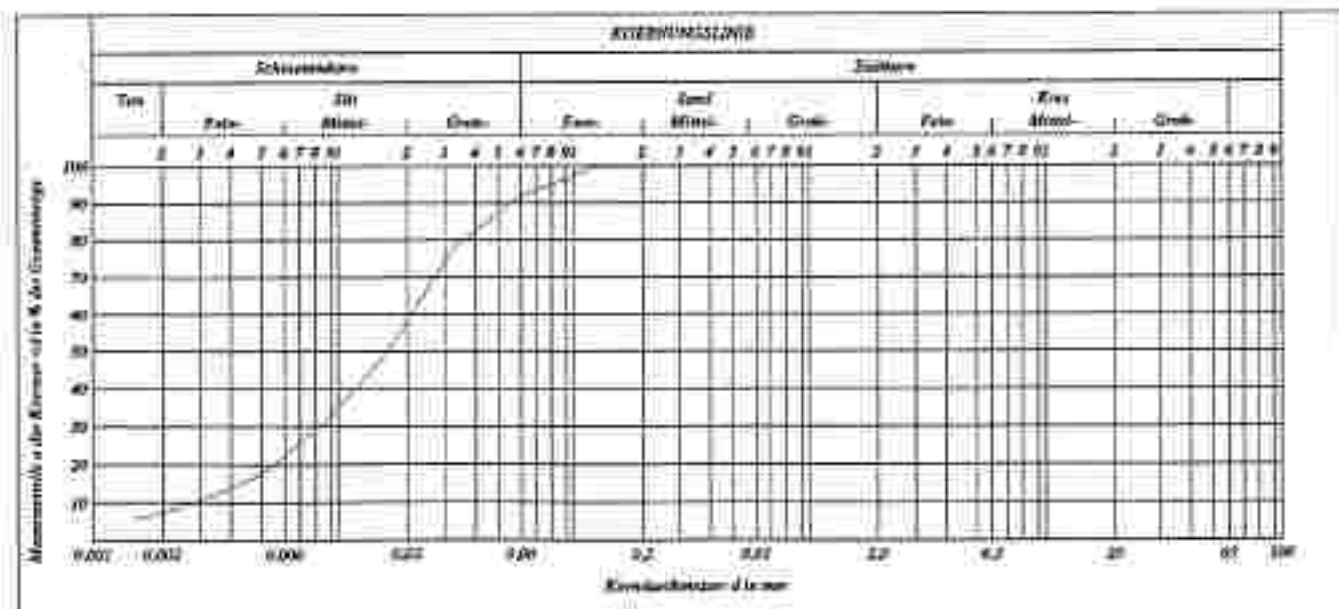
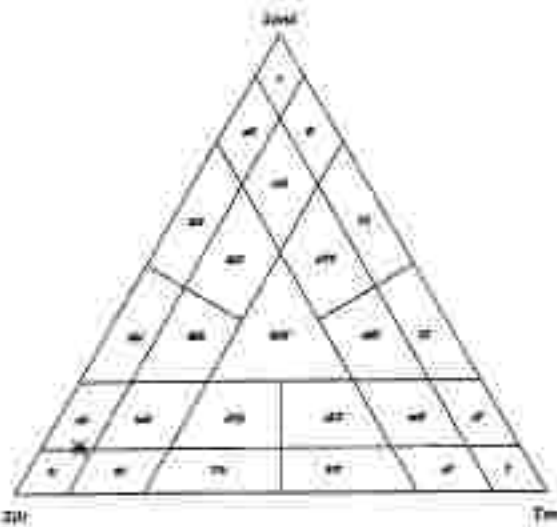


Abbildung 4: Kornverteilung der Probe B



PROBENBEZEICHNUNG:

Grube_Mauschen

Erneuerung von
Fuchsbauer (015) & Meier (2MG)

40

Sortierung

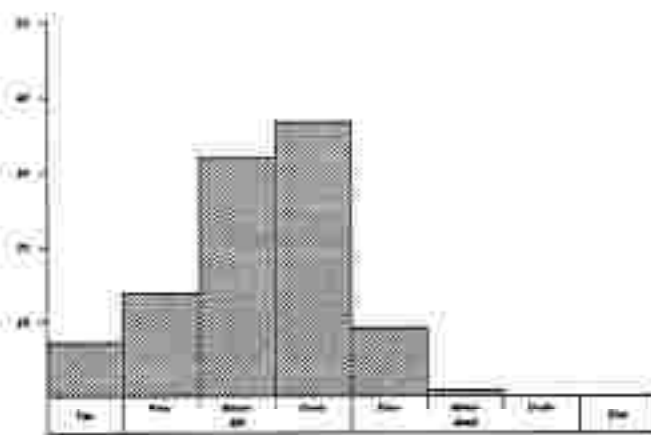
partikulärrtyp

Mass	0,00%	22,2%	0,00%	22,2%	2,2%
Standardabw.	1,73%	80,2%	0,00%	1,89%	33,6%
Standard	0,20%	870,2%	0,00%	1,94%	65,1%

KORNVERTEILUNG

FABRIKPARAMETER

Größenbereich	Durchgang	C	μ
> 12,5 mm	%	M	μ
10 - 12,5	%	L	%
8,5 - 10	%	A	%
7,0 - 8,5	%		
6,0 - 7,0	%		
5,0 - 6,0	%		
4,0 - 5,0	%		
3,15 - 4,0	%		
2,5 - 3,15	0,72%		
2,0 - 2,5	0,04%		
1,6 - 2,0	0,09%		
1,25 - 1,6	0,09%		
1,0 - 1,25	0,09%		
0,75 - 1,0	1,25%		
0,63 - 0,75	2,07%		
0,5 - 0,63	15,17%		
0,4 - 0,5	26,47%		
0,3 - 0,4	35,41%		
0,25 - 0,3	42,71%		
0,2 - 0,25	47,71%		
0,15 - 0,2	52,71%		
0,125 - 0,15	57,21%		
0,1 - 0,125	60,71%		
> 0,1	60,71%		



> 20 μ	60,88%	Submaximal = 0,002 mm	0,07%
2 - 20 μ	42,77%		
≤ 2 μ	7,21%		

Fein	0,72%	Grob	0,10%
Seid	10,77%	Mittel	0,09%
		Feinst	0,10%
Stb	82,47%	Grobs	26,77%
		Mittel	22,91%
		Feinst	13,87%
Stb	7,21%		

nach DIN 4122

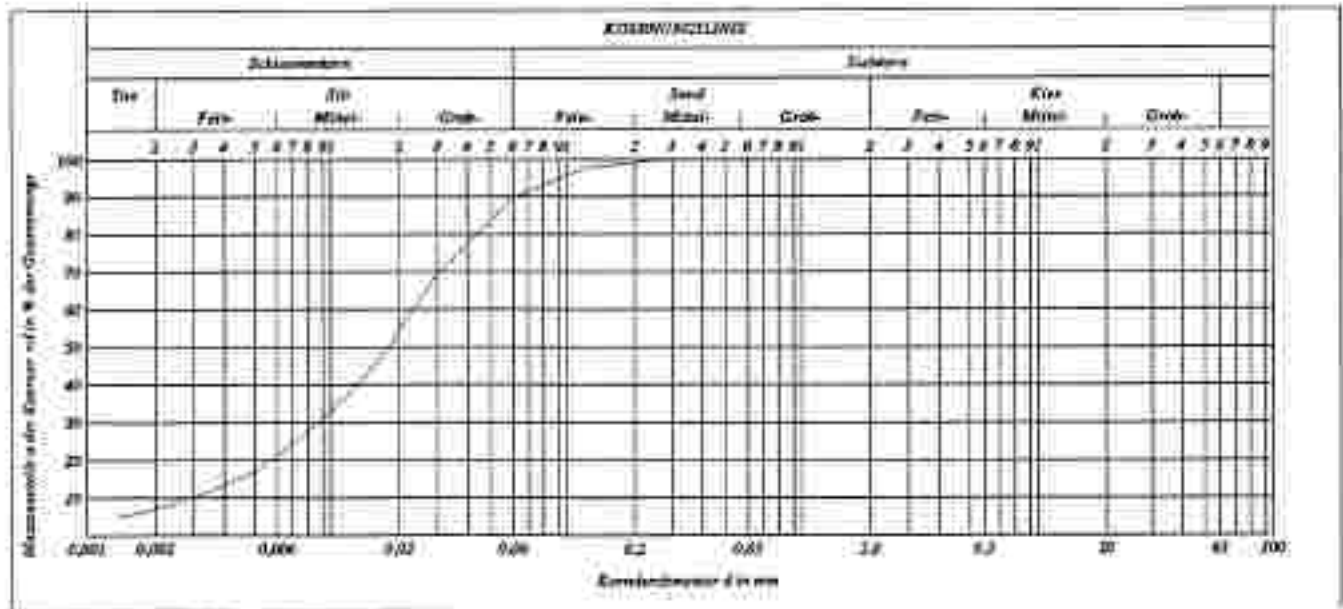
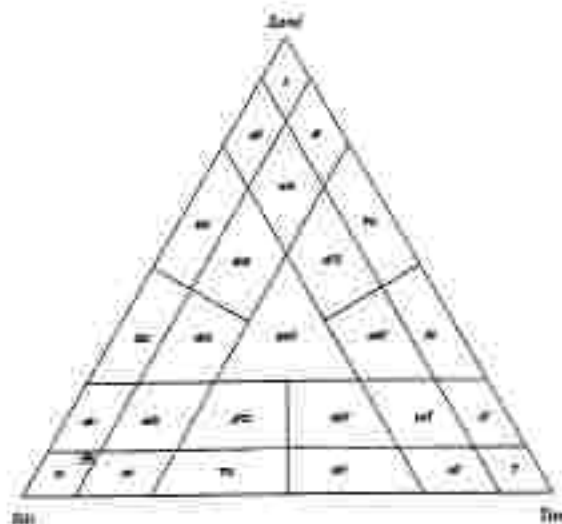


Abbildung 5: Kornaufbau der Teilprobe Grube Burgfeld



PROBENBEZEICHNUNG:

Grube_Burgfeld

Klassifizierung nach
Faustformel (1970) & Mueller (1967):

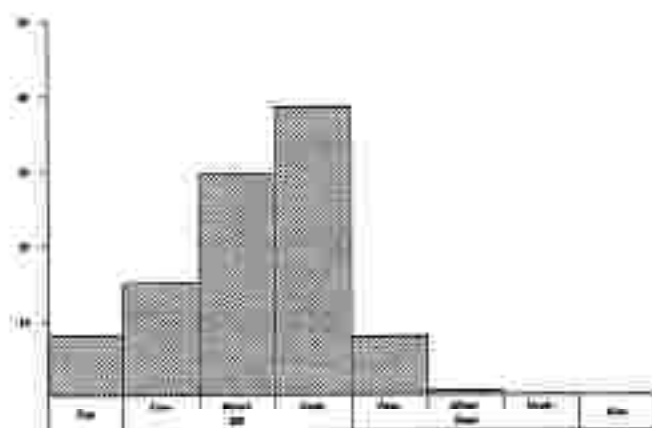
Sortierung:	Faustformel (1970)		Mueller (1967)	
Minn:	0,078	14,8%	0,11	6,89%
Sandmittel:	1,739	331,7%	0,69	2,39%
Stein:	0,279	785,6%	0,09	4,06%

KORNVERTEILUNG

Größenbereich	Einheitsmaß	Durchgang	Prozent	Prozent
> 250 mm				
250 - 200				
200 - 100				
100 - 63				
63 - 40				
40 - 25				
25 - 16				
16 - 10				
10 - 6,3				
6,3 - 4,0				
4,0 - 2,5				
2,5 - 1,6				
1,6 - 1,0				
1,0 - 0,63				
0,63 - 0,4				
0,4 - 0,25				
0,25 - 0,16				
0,16 - 0,1				
0,1 - 0,063				
0,063 - 0,04				
0,04 - 0,025				
0,025 - 0,016				
0,016 - 0,01				
0,01 - 0,0063				
< 0,0063				
> 20 µ	47,19%			
2 - 20 µ	44,89%			
< 2 µ	8,22%			

FAZIEPARAMETER

Parameter	Wert
C	11
M	11
F	11
L	11
S	11
Trennkenn	11
Leicht	11
Superfein	11
z.z.	11
z.	11
Fein	11
Normal	11
Sehr	11



Größe	Prozent	Größe	Prozent
Kies	0,00%	Grub	0,00%
Sand	8,00%	Mittel	0,01%
		Fein	7,99%
Sl	83,22%	Grob	38,37%
		Mittel	29,37%
		Fein	22,19%
Stk	0,19%		

nach DIN 4022

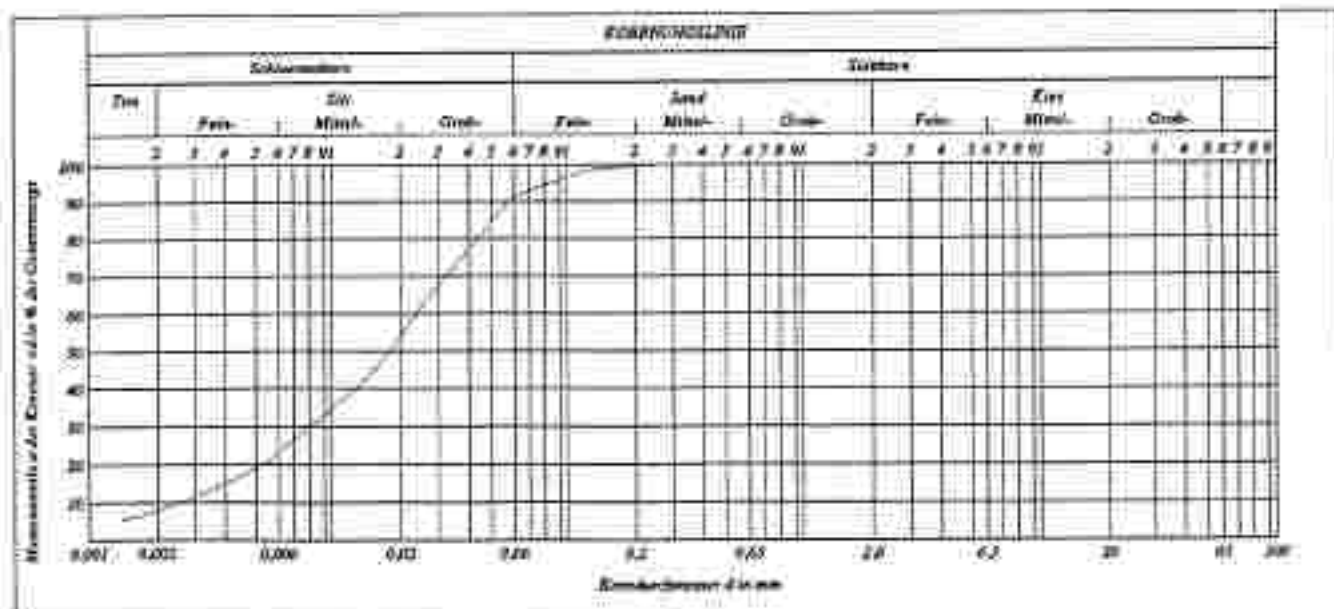


Abbildung 6: Kornaufbau der Teilprobe Grube Mataschen

2.4 Mineralogie

Die beiden Proben A und B wurden röntgendiffraktometrisch auf ihren Mineralbestand untersucht, dessen Ergebnis in Tabelle 4 dokumentiert ist.

Mineral	Probe A	Probe B
Quarz	17	14
Mu/Illit	15	20
Montmorillonit	11	10
Feldspat	5	2
Chlorit	6	3
Kaolinit	5	3
Kalsit	1	2
Dolomit	3	1
Siderit	1	7
amorph	47	38

Tabelle 4: Mineralogischer Aufbau der Proben A und B.

2.5 Temperaturgradientenbrand

Sowohl die Proben A und B, als auch die Teilproben wurden in einem Temperaturgradientenofen im Bereich zwischen 860 bis 1200°C gebrannt. Wichtige keramische Eigenschaften können durch diesen einfachen Versuch bereits abgeleitet werden. Die Untersuchung der Prüfkörper erlaubt Aussagen über Trockenschwindung, Brennschwindung und den Sinterbereich des jeweiligen Materials.

Ein wichtiger Faktor stellt die Schwindung beim Brand dar. Deshalb wurde die Gesamtschwindung (Trocken- und Brennschwindung, Tabelle 5) der Proben in Abb. 7 dargestellt. Daraus lassen sich bereits erste Schlüsse ziehen:

Beim Grubenmaterial setzt der Sinterbereich bei 1120°C ein. Die Teilproben zeigen bis zu einer Temperatur von 1200°C eine stetige Zunahme der Brennschwindung, während die Mischprobe B ab 1170°C bereits eine natürliche Blähneigung aufweist. Ein Vergleich der Kurven in Abb. 7 bestätigt dies deutlich. Hier dürften sich ab einer Temperatur von 1170°C neue Phasen bilden, die diese negative Brennschwindung verursachen.

Beim Haldenmaterial zeigen die Kurven eine gleichmäßige Zunahme der Gesamtschwindung, was durch den besseren Aufschluß des Ausgangsmaterials durch die Lagerung auf Halde bedingt sein dürfte. Hier ist auch bei den Teilproben ab 1180°C eine Blähneigung zu erkennen. Der Sinterbereich beginnt bereits ab 1100°C, das bedeutet, daß sich im Haldenmaterial bereits ab 1160°C neue Phasen zu bilden beginnen.

Weiterführende keramische Untersuchungen könnten den Einfluß eines Blähmittels auf Sinterbereich und Brennschwindung klären. Daraus resultierende Erkenntnisse sollten zu einem besseren Verständnis der Umwandlungen im Leca-Korn während dem Sintervorgang führen (optimale Zusammensetzung der Ausgangsrohstoffe → Eutektikum).

Temperatur °C	Haldenmaterial			Grubenmaterial		
	Probe A	Burgfeld	Mataschen	Probe B	Burgfeld	Mataschen
110	10.10	6.83	4.27	9.87	3.23	3.43
860	-0.50	0.60	0.66	0.36	1.17	-0.10
905	-0.39	1.44	0.80	0.30	1.34	-0.34
952	0.47	1.80	1.20	0.90	1.44	0.57
1000	1.77	2.87	1.43	1.13	1.24	0.14
1048	3.37	2.40	1.76	2.56	3.10	1.90
1096	5.47	4.17	3.76	4.60	4.17	4.07
1135	7.83	3.64	6.90	6.23	7.00	7.20
1171	10.07	6.04	10.80	13.05	9.90	12.14
1186	10.00	7.27	14.43	10.93	10.47	12.10
1200	8.17	7.27	13.73	7.20	13.54	13.90

Tabelle 5: Trocken- und Brennschwindung der untersuchten Proben

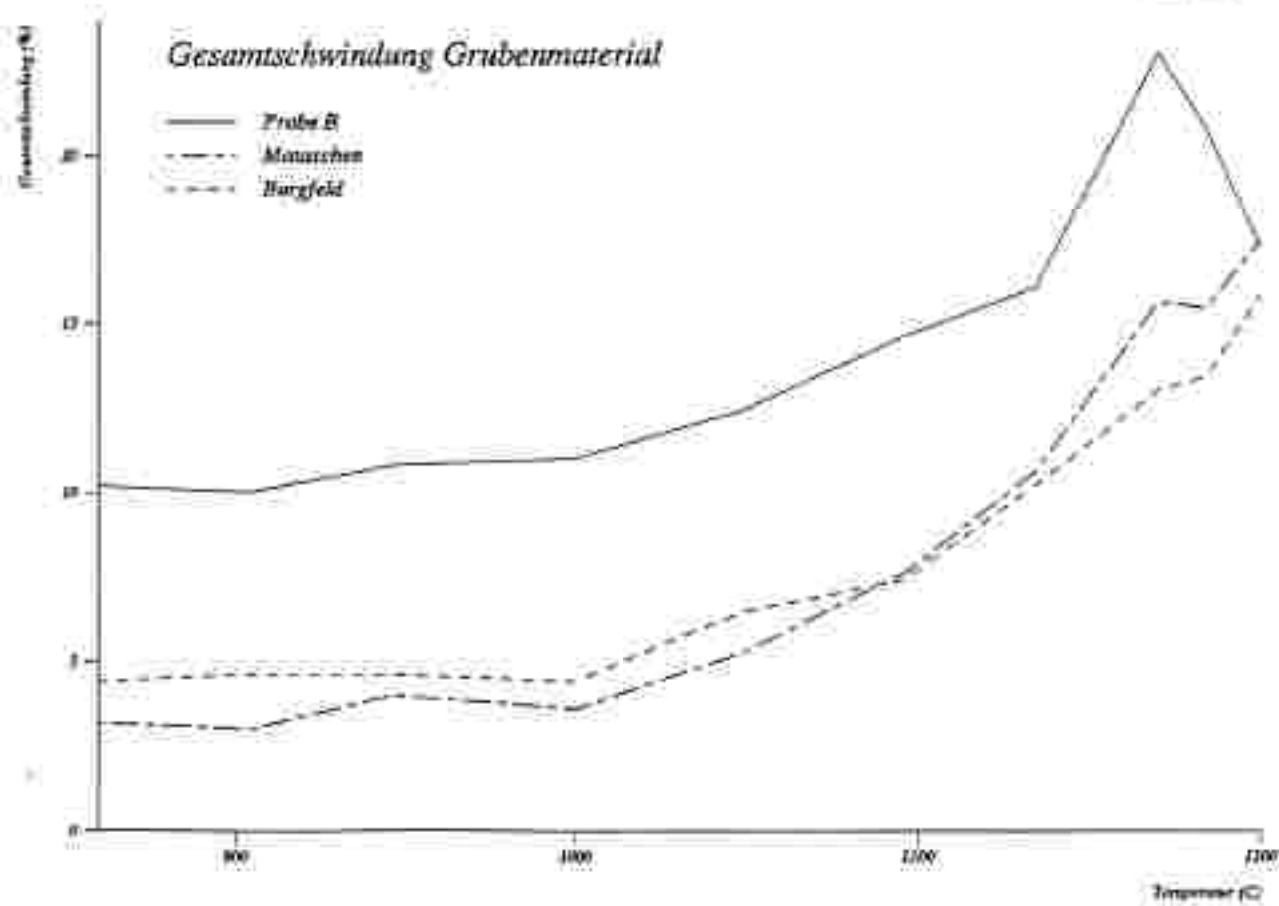
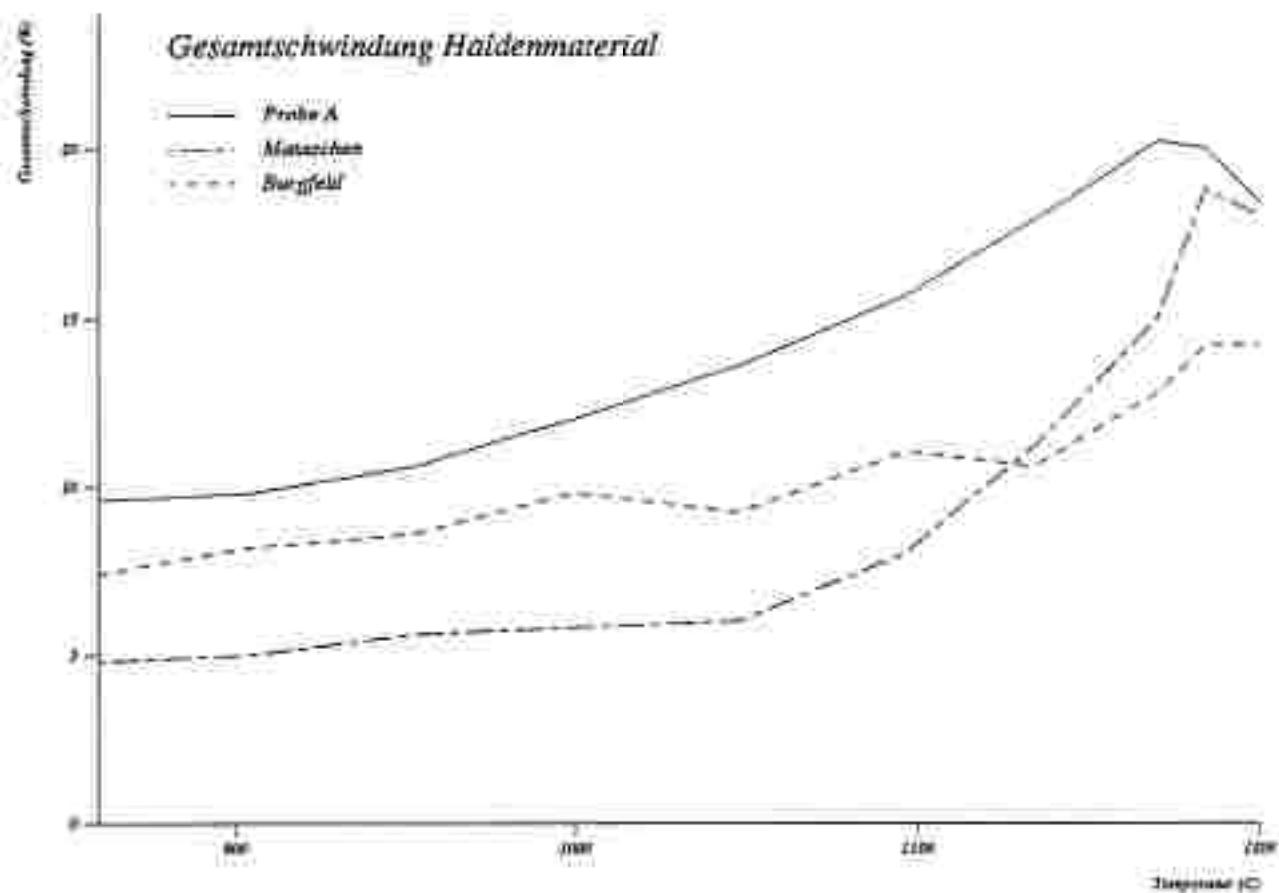


Abbildung 7: Gesamtschwindung der untersuchten Proben zwischen 800 und 1200°C

2.6 Thermogravimetrie

Da es sich beim Blähmittelausatz um eine organische Kohlenstoffverbindung (Flüssigkoks) handelt, die spätestens bei 700°C verdampfen müßte, wurde eine thermogravimetrische Aufnahme durchgeführt. Besonders der Temperaturbereich unter 1000°C wurde bei diesem Versuch genauer untersucht.

Thermogravimetrische Verfahren beschreiben den Gewichtsverlust einer Probe bei steigender Temperatur. Sie sind geeignet neben mineralogischen Umwandlungen auch Veränderungen des organogenen Anteils zu erfassen.

Bei der Probe A wurde das auch in der Produktion verwendete Blähmittel (Flüssigkoks) in einem Verhältnis von 0.5 und 1.0 % beigemischt, und dann untersucht. Die Gewichtsabnahme bei den jeweiligen Temperaturen ist in Abb. 8 dokumentiert.

Dabei zeigten sich überraschende Ergebnisse, deren Konsequenzen zum Teil noch nicht verstanden werden.

So zeigte die Probe A mit 0.5% Blähmittel bei 930 Grad eine graue und jene mit 1% Blähmittel eine rötliche Brunnfarbe, obwohl beide in einer Stickstoffatmosphäre erhitzt worden sind. Eine Erklärung hierfür kann noch nicht gegeben werden (Reduktionsvorgänge).

Der direkte Vergleich der beiden Kurven zeigt, daß die Probe mit 0.5% Blähmittel eine deutlich höhere (→ 5%) Gewichtsabnahme aufweist. Die Gründe für diese Reaktion sind noch völlig unbekannt. Hier könnte eine gaschromatographische Aufnahme mit angeschlossenen Massenspektrometer Hinweise auf die Zusammensetzung der dabei entstandenen Gase geben. Wie später noch zu sehen ist, zeigen die Proben mit 0.5% Blähmittelausatz dementsprechend auch niedrigere Raumdichten. Diese Zusammenhänge sollten in der Folge weiter geklärt werden, zumal sich auch in der laufenden Produktion Hinweise in dieser Richtung andeuten. Hier kann die laufende Erfassung der Temperaturen und anderer Parameter wichtige Hinweise geben. Ein möglicher mathematischer Ansatz wäre eine Faktor- bzw. Charakteristikanalyse.

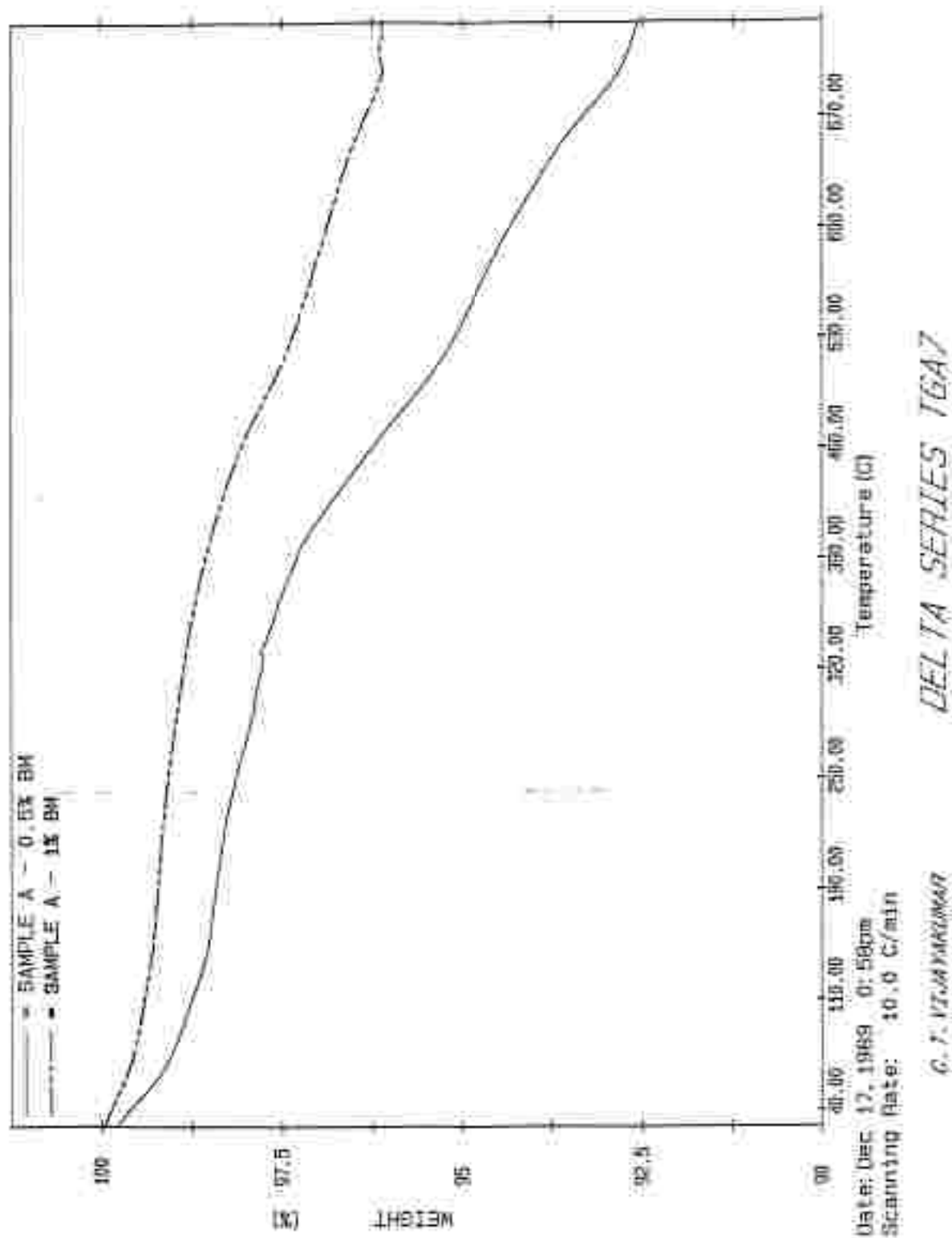


Abbildung 8: Thermogravimetrische Aufnahme der Probe A mit 0,5 bzw. 1 % Blähmittelzusatz

2.7 Blähversuche

2.7.1 Ausgangsrohstoffe

Von den Proben A und B wurden im Standardverfahren Blähgranulate hergestellt um eine Vergleichsbasis zu schaffen. Dabei wurde das Blähverhalten bei 0.5 und 1 % Blähmittelzugabe bei jeweils drei Temperaturen (1160, 1180 und 1200°C) bestimmt (Tabelle 6).

Probe	Blähmittel %	Raumdichte g/cm^3			Feuchtigkeit %
		1160°C	1180°C	1200°C	
A	1.0	0.409	0.346	0.297	28.6
A	0.5	0.350	0.336	0.287	
B	1.0	0.410	0.328	0.272	28.7
B	0.5	0.344	0.297	0.245	

Tabelle 6: Raumdichten der Proben A und B bei drei verschiedenen Temperaturen

Hier fallen zwei Trends auf. Erstens kann mit einem geringeren Blähmittelsatz eine geringere Raumdichte erzielt werden. Besonderes Gewicht erhält diese Beobachtung durch die Versuchsergebnisse bei der Thermogravimetrie. Zweitens, ist die Abnahme der Raumdichte beim Grubenmaterial bei Temperaturen über 1160°C stärker als beim Haldenmaterial.

2.7.2 Verschiedene Zusätze

Tone, die keine natürliche Blähneigung zeigen, können durch sogenannte Blähhilfsmittel oder Regulatoren so beeinflusst werden, daß ein guter Blähton erzeugt werden kann. Solche Zuschlagstoffe sind Quarz bzw. Aluminiumoxide, Gesteinsmehle (Syenite, Kalksteine, Dolomite), Eisenoxide und Eisenhydroxide, Eisensulfide, Bitumen, Öle mit hohem C-Gehalten, Kohle, Sulfbalangen, Kuks, Glas und Zellstoffe.

Das Blähen eines Tones erfolgt in einem relativ kurzen Temperaturintervall, wobei zwei Voraussetzungen notwendig sind. Zum Einen benötigt man einen entsprechen Gasdruck im Inneren des Korns, und zum anderen eine bereits dichte Außenhaut, welche die Gase am Austreten hindert. Diese dichte Außenhaut wird im oberen Sinterbereich erreicht.

Blähneigung und Festigkeit sind im Wesentlichen über die zwei Faktoren Sinterbereich und Gasangebot steuerbar. Bei der Festigkeit kommt noch hinzu, daß die Porenstruktur die physikalischen Eigenschaften beeinflusst. So ergeben bei kleiner Raumdichte viele kleine Poren eine wesentlich höhere Festigkeit als wenige große Poren.

Die Zusatzrohstoffe wurden in Absprache mit Ing. Geierregger dergestalt gewählt, daß einerseits der Sinterbereich erweitert bzw. herabgesetzt (Viskosität und dichte Oberflächenporen) wird und andererseits der im Korninneren notwendige Gasdruck kontinuierlich aufgebaut werden kann.

Für die Erweiterung und Herabsetzung des Sinterbereiches und damit auch des Schmelzpunktes wurden basische Zuschlagstoffe mit hohen Gehalten an Fe^{+++} (zusätzliche Gasentwicklung durch Reduktion zu Fe^{++}) ausgewählt. Folgende Beimengungen und ihre Auswirkungen auf Blähneigung und Festigkeit wurden ausgewählt:

Chlorit gehört zu den Schichtsilikaten (Sprödglimmer) und besteht aus einem Wechsel von Talk- und Brucitschicht. Es besteht ein breites Spektrum aus Mischkristallzusammensetzungen. Die allgemeine Formel für Chlorit lautet $(Mg, Fe)_2[(OH)_2/(Si, Al)_4O_{10}](Mg, Fe, Al)_2(OH)_2$. Chlorit kommt als gesteinsbildendes Mineral in metamorphen Gesteinen als sekundäres Umwandlungsmineral vor. Der hier verwendete Chlorit stammt aus der Talklagerstätte Rabenwald.

Basalt gehört zu den basischen Vulkaniten (Ergußgesteine) und ist ein quarzarmes bis quarzfreies Gestein mit hohen Feldspatanteilen. Es gibt vereinfacht zwei Arten von Basalten. Jene mit hohen Feldspatanteilen (Feldspatbasalte) und solche mit hohen Anteilen an Feldspatvertretern (Nephelinbasalte). Der hier verwendete Basalt gehört zu den Nephelinbasalten.

Illit-Ton ist ein Tonmineral (Hydromuskowit), das durch den Austausch von K^+ gegen H_3O^+ aus Muskowit entsteht. Er wurde ausgewählt, um den Einfluß des Illit auf die Blähfähigkeit und Festigkeit zu untersuchen, da ihm die eigentliche Blähwirkung des Fehringers Materials zugewiesen wird.

Tuff 2 ist ein aufgemahlener, basischer Tuff aus Statzendorf (NO). Tuffe sind unter dem Einfluß von Wasser verfestigte vulkanische Aschen.

Bentonit Bentonite sind Glastuffe, die durch Entglasung in Montmorillonit oder ein ähnliches Tonmineral umgewandelt sind. Je nach dem Einbau von Na oder Ca Ionen werden sie in Na- bzw. Ca-Bentonite unterteilt. Die generalisierte, chemische Formel von Bentonit lautet: $(Al, Mg)_2[(OH)_2/Si_4O_{10}](Na, Ca)_x \cdot nH_2O$.

Die Einflüsse der verschiedenen Zuschlagstoffe sind aus den Tabellen 7 und 8 ersichtlich.

Q)	Kalk	Heimengzug	Temperatur	Dichte	Festigkeit	Oberfläche	Poros (mm)	Bemerkung
0,1%	0,5%	-	1180	0,373	+	rau	2	kleinmittelporig
0,1%	0,5%	-	1180	0,300	+	rau	3	mittelporig
0,1%	0,5%	-	1200	0,267	-	glatt	7	großporig
1%	0,5%	-	1180	0,480	+	rau	5	feinporig, einzelne Großporen
1%	0,5%	-	1180	0,517	±	rau	7	feinmittelporig
1%	0,5%	-	1200	0,313	±	glatt	10	mittelgroßporig
0,5%	-	1% Chlorit	1180	0,400	+	rau	2	kleinporig
0,5%	-	1% Chlorit	1180	0,355	+	rau	5	mittelporig
0,5%	-	1% Chlorit	1200	0,285	-	glatt	>10	mittelgroßporig
1%	-	1% Chlorit	1180	0,447	+	rau	2	kleinporig
1%	-	1% Chlorit	1180	0,362	±	rau	5	kleinporig, Großporen
1%	-	1% Chlorit	1200	0,373	±	rau, glatt	8	mittelgroßporig
0,5%	-	2% Chlorit	1180	0,411	+	rau	4	kleinmittelporig
0,5%	-	2% Chlorit	1180	0,352	+	rau	6	mittelporig, einzelne Großporen
0,5%	-	2% Chlorit	1200	0,504	±	rau, glatt	5	großporig
1%	-	2% Chlorit	1180	0,421	+	rau	1	kleinporig
1%	-	2% Chlorit	1180	0,380	±	rau	5	mittelporig, einzelne Großporen
1%	-	2% Chlorit	1200	0,318	±	bi-glatt	8	mittelporig, einzelne Großporen
0,5%	0,5	1% Chlorit	1180	0,500	+	rau	4	feinmittelporig
0,5%	0,5	1% Chlorit	1180	0,411	+	rau	6	mittelporig
0,5%	0,5	1% Chlorit	1200	0,277	-	bi-glatt	10	großporig
1%	0,5	1% Chlorit	1180	0,411	+	rau	3	feinporig
1%	0,5	1% Chlorit	1180	0,355	±	rau	10	feinmittelporig, ein. Großporen
1%	0,5	1% Chlorit	1200	0,308	-	rau	>10	großporig
0,5%	0,5	2% Chlorit	1180	0,400	+	rau	4	feinmittelporig
0,5%	0,5	2% Chlorit	1180	0,360	+	rau	5	mittelporig
0,5%	0,5	2% Chlorit	1200	0,287	-	glatt	>8	großporig
1%	0,5	2% Chlorit	1180	0,411	+	rau	6	kleinporig, einzelne Großporen
1%	0,5	2% Chlorit	1180	0,333	+	rau	6	kleinmittelporig
1%	0,5	2% Chlorit	1200	0,290	±	glatt	8	mittelporig
1%	-	5% Chlorit	1180	0,523	+	glatt, löslig	3	kleinporig
1%	-	5% Chlorit	1180	0,367	±	rau	5	mittelgroßporig
1%	-	5% Chlorit	1200	0,312	+	glatt, löslig	6	mittelgroßporig

Tabelle 7: Zuschlagstoffe und ihr Einfluß auf die Raumdichte und Festigkeit von Blähgranulaten, 1. Teil

Q	Kalk	Belmischung	Temperatur	Dichte	Festigkeit	Oberfläche	Poros. (max) mm	Bemerkung
0,5%	-	1% Basalt <63	1160	0,379	+	rauh	6	kleinmittelporig, einzelne Großporen
0,5%	-	1% Basalt <63	1180	0,393	+	rauh	6	kleinmittelporig, einzelne Großporen
0,5%	-	1% Basalt <63	1200	0,398	-	1. raub	7	glatte Oberfläche, großporig
0,5%	-	2% Basalt <63	1180	0,400	±	rauh	6	kleinporig, einzelne Großporen
0,5%	-	2% Basalt <63	1180	0,372	±	rauh	6	mittelfeinporig
0,5%	-	2% Basalt <63	1200	0,398	-	rauh	6	großporig, leicht glasig
1%	-	0% Basalt <63	1180	0,447	+	rauh	4	kleinporig, einzelne Großporen
1%	-	2% Basalt <63	1180	0,387	-	rauh	>10	großporig, glasig
1%	-	4% Basalt <63	1200	0,394	-	rauhsandig	>8	großporig
1%	-	1% Illit-Ton	1160	0,444	+	rauh	2	feinporig
1%	-	1% Illit-Ton	1180	0,371	+	rauh	4	fein- mittelfeinporig
1%	-	1% Illit-Ton	1200	0,317	±	rauh, glasig	>10	mittelfeinporig
1%	-	6% Illit-Ton	1160	0,453	+	rauh	7	feinporig, einzelne Großporen
1%	-	0% Illit-Ton	1180	0,372	+	rauh	>10	feinporig, einzelne Großporen
1%	-	6% Illit-Ton	1200	0,317	±	rauh	>8	mittelfeinporig
1%	-	1% Tuff 2	1160	0,444	+	risig	>8	kleinporig, einzelne Großporen
1%	-	1% Tuff 2	1180	0,380	±	risig	>10	kleinporig, viele Großporen
1%	-	1% Tuff 2	1200	0,327	±	risig	>6	mittelfeinporig, Großporen
1%	-	5% Tuff 2	1160	0,313	±	risig	6	feinporig, einzelne Großporen
1%	-	0% Tuff 2	1180	0,342	+	risig	4	feinmittelporig
1%	-	5% Tuff 2	1200	0,335	±	risig, glasig	8	mittelfeinporig
1%	-	1% Na-Bentonit	1180	0,447	+	risig	>8	feinporig, einzelne Großporen
1%	-	1% Na-Bentonit	1180	0,387	±	rauh	>10	mittelfeinporig, einzelne Großporen
1%	-	1% Na-Bentonit	1200	0,317	±	rauh	>8	mittelfeinporig, einzelne Großporen
1%	-	5% Na-Bentonit	1180	0,600	+	leicht risig	2	feinmittelporig
1%	-	5% Na-Bentonit	1180	0,328	±	leicht risig	>8	feinporig, Großporen, überisoliert
1%	-	5% Na-Bentonit	1200	0,328	±	leicht risig	>6	feinmittelporig
1%	-	1% Ca-Bentonit	1180	0,463	+	rauh	2	feinporig, regelmäßig
1%	-	1% Ca-Bentonit	1180	0,380	+	rauh	2	feinporig, regelmäßig
1%	-	1% Ca-Bentonit	1200	0,314	+	rauh	6	mittelfeinporig
1%	-	0% Ca-Bentonit	1160	0,424	+	rauh	8	feinporig + einzelne Großporen
1%	-	0% Ca-Bentonit	1180	0,371	±	rauh	2	mittelfeinporig
1%	-	1% Ca-Bentonit	1200	0,383	±	rauh, glasig	10	mittelfeinporig

Tabelle 8: Zuschlagstoffe und ihr Einfluß auf die Raumdichte und Festigkeit von Blähgranulaten, 2. Teil

2.8 Ausblick

Die bisherigen Versuche konnten zeigen, daß durch die Zugabe basischer Stoffe die Raumdichte nicht beeinflußt wird. Eine subjektive Verbesserung der Festigkeit war bei Zuzugung von 5% Chlorit und Ca-Bentonit eingetreten.

Weitere Untersuchungen sollten den Einfluß der Aufheizgeschwindigkeit auf das Blähmittel im Bereich zwischen 400 und 750°C klären. In diesem Temperaturintervall wird offensichtlich bei organischen Blähhilfsmitteln die Voraussetzung für den später benötigten Gasdruck geschaffen.

Derzeit läuft noch ein Versuch mit Zugabe von Opalit. Das ist ein Zersetzungsprodukt jungvulkanischer Gesteine. Seine Struktur besteht aus einer ungeordneten Cristobalit-Tridymit-Stapelfolge. Ziel des Versuchs ist die Abklärung des Einflusses der Glasphase auf die Festigkeit des Korns.