

DERA Rohstoffinformationen



In der grobkeramischen Industrie nutzbares Rohstoffpotenzial der bei Gewinnung und Aufbereitung in der deutschen Steine- und Erden-Industrie anfallenden Feinanteile



DERA Rohstoffinformationen



In der grobkeramischen Industrie nutzbares Rohstoffpotenzial der bei Gewinnung und Aufbereitung in der deutschen Steine- und Erden-Industrie anfallenden Feinanteile



Anschrift: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Stilleweg 2
30655 Hannover
Telefon: (0511) 643 – 3200
Telefax: (0511) 643 – 533200
E-Mail: kontaktbuero-rohstoffe@bgr.de

Autoren: Martin Schmitz, Simone Röhling und Reiner Dohrmann
Gutachten (Anhang C): Dr. Lutz Krakow (Dr. Krakow Rohstoffconsult)
Layout und Redaktion: Jennifer Bremer und Manfred Richter
Titelfotos: Martin Schmitz und Harald Elsner (BGR/DERA)

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	7
2	PROBENAHME UND ANALYTIK	8
3	ERGEBNISSE	9
	3.1 Waschschlämme	9
	3.2 Quarzfüller	15
	3.3 Feinkörniger Abraum	16
4	ZUSAMMENFASSUNG	18
5	LITERATUR	18
	ANHANG	
	A Analyseverfahren	19
	B Chemische Zusammensetzung der Proben	21
	C Auszüge aus einem Gutachten der Dr. Krakow Rohstoffconsult über die technischen Eigenschaften der 16 Waschschlämme und des Auelehms für Anwendungen in der grobkeramischen Industrie	24

1 EINLEITUNG

Steine und Erden sind in Hinblick auf die abgebauten Mengen die bedeutendsten mineralischen Rohstoffe Deutschlands. Im Jahr 2009 wurden alleine ca. 245 Mio. t Sand und Kies (BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, 2010) in den ca. 3.600 heimischen Sand- und Kieswerken produziert. Sand und Kies werden in der Regel im Tagebau gewonnen und in Aufbereitungsanlagen aufbereitet. Dort werden die Sande und Kiese gewaschen, nach Korngrößen klassiert und der Feinstkornanteil in Suspension abgetrennt. Dieses Wasser-Feststoff-Gemisch, der Waschschlamm, wird meist in nahegelegenen Becken verspült.

In Mitteleuropa werden jedes Jahr schätzungsweise 50 Mio. t Waschschlamm produziert (PFLUG 2001). In Deutschland sind es ca. 15 Mio. t, (KRAKOW 2010, siehe Gutachten Anhang C) von denen weniger als 100.000 t pro Jahr als Zuschläge überwiegend in der keramischen Industrie (KRAKOW 2003) verwendet werden. Der Waschschlamm bleibt meist jedoch ungenutzt. Die Verwertung von Waschschlämmen wird durch die hohe Feuchte des Materials erschwert. Vor dem Transport muss eine umfassende und damit sehr energie- und kostenintensive Trocknung des Schlammes erfolgen. Aus diesem Grunde gelten die meisten Waschschlämme als nicht wirtschaftlich verwertbar, weshalb sie bisher auch kaum untersucht wurden. Ziel der Studie der BGR ist es, durch die Beprobung von Waschschlämmen in ganz Deutschland zu ermitteln, ob und in welchem Maße Waschschlämme qualitativ für den Einsatz in der grobkeramischen Industrie geeignet sind.

Zur Abschätzung des Gesamtpotenzials einiger Lagerstätten wurde in vier ausgewählten Werken zusätzlich feinkörniger Abraum (Ton, Lehm und Mergel) beprobt, der die Sande und Kiese überdeckt. Die Anwendung dieser Rohstoffe ist in der grobkeramischen Industrie weit verbreitet. Zusätzlich wurden drei feinkörnige Quarzfüller der Quarzsandaufbereitung beprobt und analysiert. Das Potenzial dieser Proben für die grobkeramische Industrie wurde ebenfalls abgeschätzt.

2 PROBENAHME UND ANALYTIK

Um das Nutzungspotenzial der Waschschlämme für die grobkeramische Industrie in Deutschland abschätzen zu können, wurden zunächst 70 Kieswerke von den Geologischen Landesämtern der einzelnen Bundesländer, dem Industrieverband Steine und Erden e.V. Neustadt/Weinstraße (VSE), dem Industrieverband Steine und Erden Baden-Württemberg e.V. (ISTE) und dem Bayerischen Industrieverband Steine und Erden e.V. zur Beprobung vorgeschlagen. Die Anzahl der Meldungen waren von Bundesland zu Bundesland sehr unterschiedlich, weshalb die regionale Verteilung der Werke sehr inhomogen ist. Der Westen Deutschlands ist in der Studie daher unterrepräsentiert.

Nach Auswertung vorhandener Daten und Rücksprache mit den Betreibern wurden 28 Werke für eine Beprobung der Waschschlämme ausgewählt. Berücksichtigt wurden solche Betriebe, in denen mehr als 5.000 t Waschschlamm pro Jahr anfällt, der potenziell mit Baggern abgegraben werden kann. Diese Menge könnte die kontinuierliche Versorgung eines Ziegelwerks mit Waschschlamm als Zuschlagstoff gewährleisten. Sehr hohe Anteile an Quarz, Feldspat und quellfähigen Tonmineralen können die verarbeitungstechnischen und produktspezifischen Eigenschaften grobkeramischer Produkte deutlich verschlechtern. Dies gilt ebenso für hohe Anteile an organischem Material (LORENZ & GWOSDZ 1997). Daher wurden Schlämme mit einer solchen Charakteristik bei der Probenahme, bzw. nach Analyse ihrer mineralogisch-chemischen Eigenschaften, nicht weiter berücksichtigt. Insgesamt ist davon auszugehen, dass die 42 Werke, die nicht beprobt wurden, Schlämme produzieren, die qualitativ ungeeignet für den Einsatz in der grobkeramischen Industrie sind oder für dieses Anwendungsgebiet zu geringe Mengen aufweisen.

Den einzelnen Werken wurden mehrere Kilogramm Waschschlamm entnommen. Durchlief der Schlamm mehrere nacheinander geschaltete Sedimentationsbecken, so wurde dem letzten Becken die Probe entnommen, und somit der feinstkörnige Bereich beprobt. In drei Werken wurden trockene

Quarzfüller (Quarzstäube) beprobt, in vier Betrieben erfolgte die Beprobung feinkörnigen Abraums (Ton, Lehm und Mergel).

Die chemische, mineralogische und granulometrische Untersuchung der Proben erfolgte am Geozentrum Hannover. 18 der insgesamt 35 analysierten Proben (28 Waschschlämme, 3 Quarzfüller, 4 Proben feinkörniger Abraum) weisen eine vergleichsweise grobe Körnung, sehr geringe Tonmineralanteile, sehr hohe Quarzgehalte bzw. hohe Karbonatanteile auf. Sie wurden als für die grobkeramische Industrie wenig geeignet eingestuft und in den weiteren Analysen nicht mehr berücksichtigt. Die keramisch-technischen Eigenschaften der restlichen 17 Proben (16 Waschschlämme und 1 feinkörniger Abraum) wurden im Auftrag der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)/Deutsche Rohstoffagentur (DERA) durch ein geotechnisches Labor analysiert. Auf Grundlage der Formgebungs-, Trocknungs- und Brenneigenschaften wurde dort ermittelt, für welche Einsatzgebiete in der grobkeramischen Industrie die Proben geeignet sind. Es wurde die Eignung für Hinter- und Vormauerziegel, Klinkerriemchen, Pflasterklinker, Dachziegel, Boden- und Fassadenplatten sowie Steinzeugröhren betrachtet. Die genaue Durchführung der Analysen ist in Anhang A beschrieben.

3 ERGEBNISSE

3.1 Waschschlämme

Die granulometrische Zusammensetzung der insgesamt 28 Waschschlammproben ist in Abbildung 1 dargestellt. Granulometrisch handelt es sich bei den untersuchten Waschschlämmen um Sande, Schluffe und Tone. In den meisten Proben dominiert die Schlufffraktion, in zahlreichen jedoch auch die Sandfraktion die Zusammensetzung. Lediglich zwei Proben weisen ein Maximum im Bereich der Tonfraktion auf. In einzelnen Fällen ist davon auszugehen, dass der Anteil der Tonfraktion

größer ist, als dies die Daten wiedergeben, da nicht immer alle Agglomerate im Zuge der Probenaufbereitung gelöst werden können.

Mineralogisch bestehen die 28 Waschschlammproben aus einem Gemenge von Quarz, Feldspat, verschiedenen Tonmineralen, Karbonaten und Oxiden (Abb. 2). Während in Süddeutschland teilweise Karbonate die Zusammensetzung der Waschschlämme deutlich dominieren, sind die Schlämme in Norddeutschland mineralogisch einheitlicher zusammengesetzt. In der Mitte

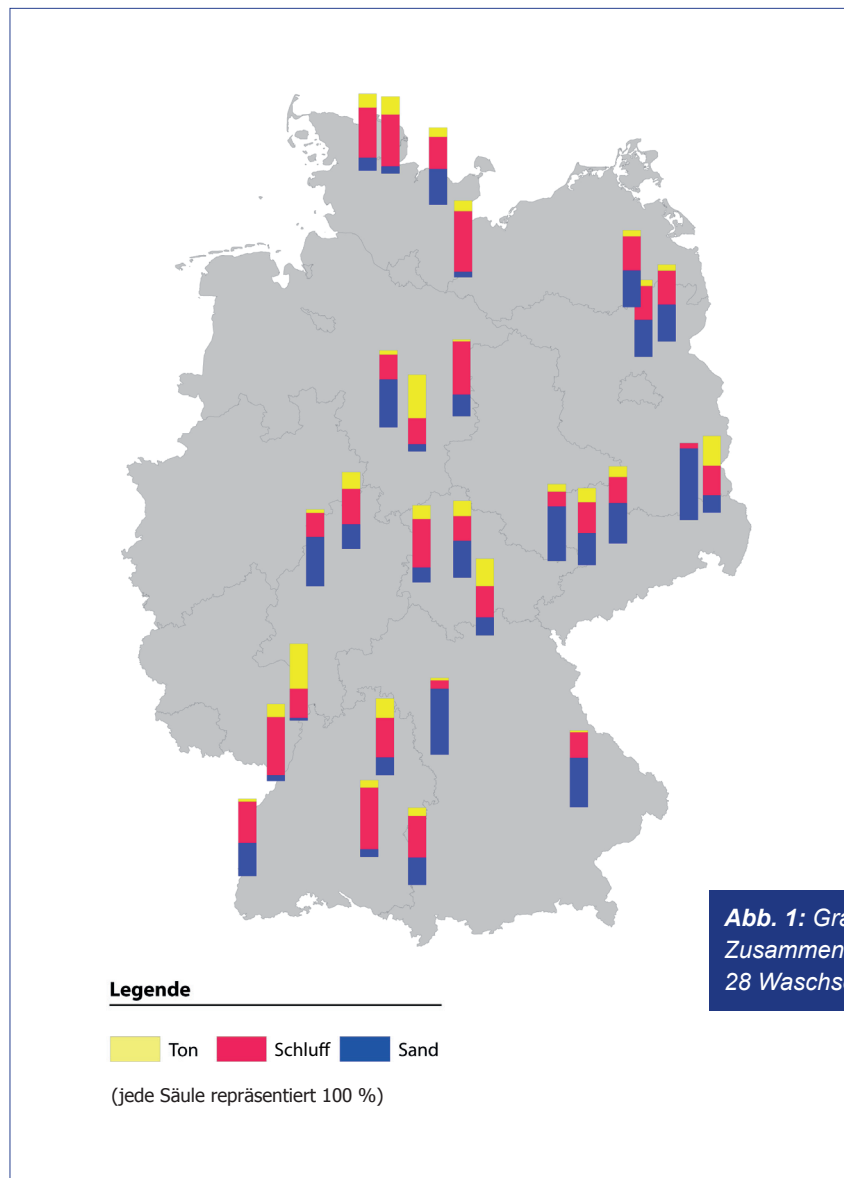


Abb. 1: Granulometrische Zusammensetzung der 28 Waschschlammproben

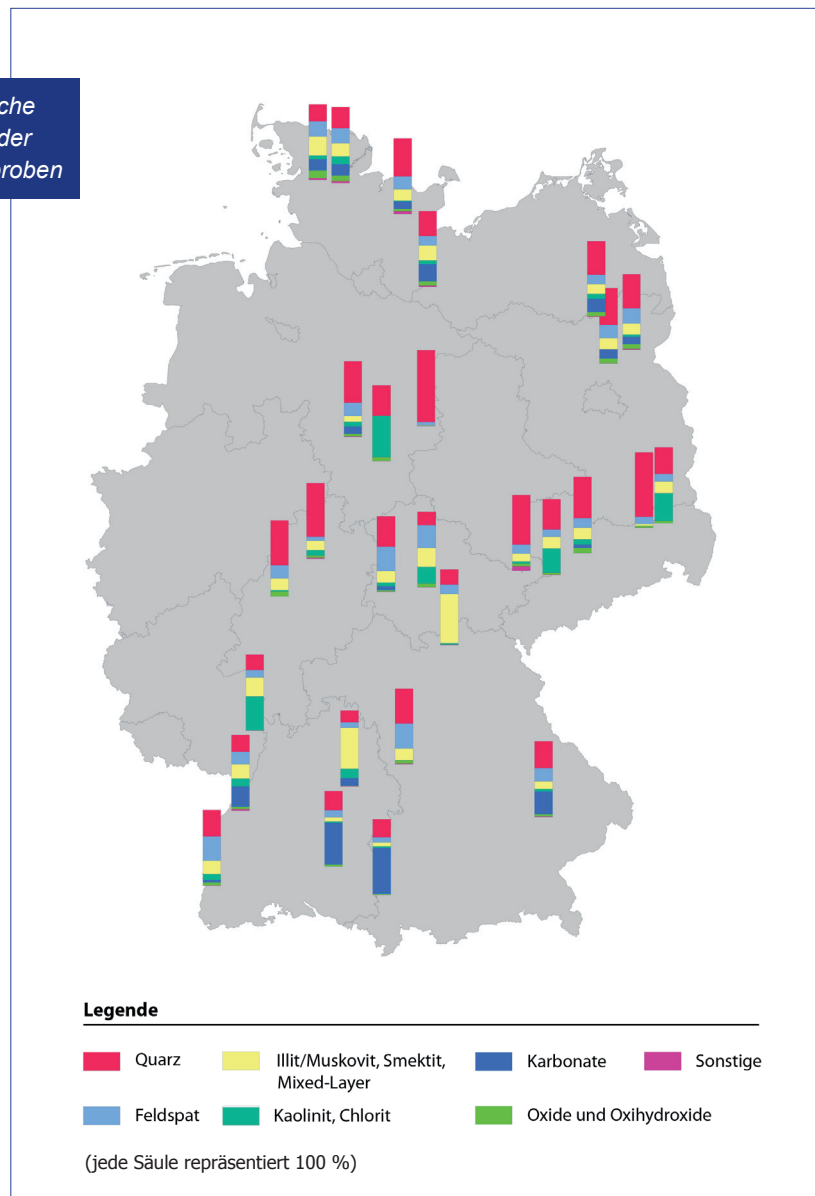
Deutschlands, in Sachsen, Thüringen, Süd-Niedersachsen und Hessen überwiegt zumeist Quarz, jedoch weisen auch vier Proben erhöhte Kaolinitgehalte auf. Der Kaolinit entstammt der mesozoisch-tertiären Verwitterungskruste der Region, die sich hier bis in die Feinfraktion der Sande und Kiese durchpaust.

Eine weitere kaolinitdominierte Probe stammt aus Rheinland-Pfalz. Die dortigen Kaolinite entstammen kaolinitischen Quarzsanden der Vorderpfalz. Zudem sind bei zwei Proben im süddeutschen Raum Illit/Muskovit und quellfähige Mixed-Layer Minerale

vorherrschend, deren Herkunft nicht eindeutig zugeordnet werden kann. Die Mineralogie der Proben im Süden und in der Mitte Deutschlands repräsentiert in der Regel die Zusammensetzung nahegelegener Grundgebirge bzw. deren Verwitterungsprodukte. In Norddeutschland ist erwartungsgemäß eine deutliche Vermischung der unterschiedlichen Komponenten zu erkennen.

Die süddeutschen Waschschlämme sind durchschnittlich etwas schlechter für die grobkeramische Industrie geeignet als die Schlämme der Betriebe weiter nördlich, da sich die teilweise sehr hohen

Abb. 2: Mineralogische Zusammensetzung der 28 Waschschlammproben



Anteile an Karbonat negativ auf zahlreiche Anwendungen auswirken. Ein sehr ausgewogenes Verhältnis von Quarz, Feldspat und Tonmineralen ist im Bereich Mitteldeutschlands, untergeordnet auch in Norddeutschland zu finden. Die Schlämme aus dem Norden enthalten wie die Schlämme aus dem süddeutschen Raum Karbonate, jedoch in weit geringerem Maße. Entscheidend ist, in welcher Korngröße die Karbonate vorliegen. Sind sie eher feinkörnig, sind die Schlämme zur Produktion von Hintermauerziegeln gut geeignet. Bei erhöhten Anteilen grobkörniger Karbonate ist diese Verwendung kaum möglich.

Die mineralogische Zusammensetzung der 16 Waschschlammproben, bei denen die anwendungstechnischen Parameter bestimmt wurden, ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Der Anteil quellfähiger Tonminerale in diesen Proben ist meist gering. Drei Proben sind neben Illit/Muskovit durch quellfähige Mixed-Layer Minerale geprägt, fünf Proben weisen deutlich erhöhte Karbonatgehalte auf und in vier Proben dominiert Kaolinit neben Quarz die Zusammensetzung. Die restlichen Proben bestehen überwiegend aus Quarz und Feldspat (Tab. 1).

Tab. 1: Kationenaustauschkapazität (Angabe KAK in meq/100g) und mineralogische Zusammensetzung der 16 Waschschlammproben (Angaben in M.-%)

Probe	KAK	quellfähige Mixed-Layer	Smektitte	Illit/Muskovit (inkl. Smektitte und Mixed-Layer)	Chlorit	Kaolinit	Quarz	Feldspat	Karbonate	Oxide	Sonstige
3	8,4	-	(+)	15	-	35–40	35	10	-	< 5	< 1
4	5,9	-	-	15	< 5	<< 5	45	15–20	10	6	< 5
9	21,7	+	-	55	5	5–10	15	5–10	10	< 1	< 1
10	16,4	+	-	65	< 5	-	20	10–15	-	< 1	< 1
11	6,4	-	+	15	-	-	50	15–20	10–15	5	< 1
12	3,4	-	-	15	5	-	40	30–35	5	< 5	< 1
13	8,0	-	(+)	15	-	30–35	40	10	-	< 5	< 1
15	14,8	+	-	25	< 5	20	15–20	25–35	< 1	5	< 1
17	10,5	-	+	15–20	5	5	25–30	20	15	5–10	< 5
19	4,0	-	(+)	10–15	-	5–10	70–75	5	-	< 5	< 1
20	4,7	-	-	-	-	55	40	-	< 1	< 5	< 1
24	5,5	-	-	15	-	-	45	35	-	< 5	< 1
32	5,7	-	-	15	< 5	5	55	10–15	< 10	5	< 1
33	8,3	-	(+)	20	5	5	20–25	10–15	25–30	< 5	< 5
34	7,0	-	(+)	15–20	5	< 5	30–35	25–35	< 5	< 5	< 5
35	11,4	-	(+)	25	-	45	20	10	-	< 5	< 1

Karbonat = Calcit, Dolomit; Oxide = Fe-Oxidhydroxide + Ti-Oxide; + = nachgewiesen; (+) = vermutet; - = nicht nachweisbar

Die Hauptelementchemie der 16 auf ihre technischen Eigenschaften untersuchten Waschschlammproben kann Tabelle 2 entnommen werden. In Abhängigkeit von den Gehalten an Quarz, Feldspat, Karbonat, Glimmer und Tonmineralen variieren die Werte für SiO_2 , Alkalien und Erdalkalien deutlich. Eisen ist in einzelnen Proben angereichert (Proben 15 und 17). Bis auf wenige Ausnahmen ist der Gehalt an organischem Kohlenstoff in den Proben sehr gering.

Zwei Proben weisen Werte $> 0,2 \%$ auf (Proben 17 und 33). Die Spurenelementgehalte liegen im typischen Bereich für Schluffe und Feinsande, nur in seltenen Fällen ist eine deutliche Anreicherung eines Elements zu verzeichnen, so für Chrom und Blei in der Probe 20. Die chemische Zusammensetzung aller 28 Waschschlammproben ist Anhang B zu entnehmen.

Tab. 2: Chemische Zusammensetzung der 16 Waschschlammproben (Angaben in M.-%)

Probe	TOC	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	LOI
3	0,19	63,43	0,79	20,60	3,05	0,02	0,51	0,17	0,19	1,99	8,88
4	0,09	67,09	0,63	8,27	4,83	0,12	1,20	6,66	0,92	2,11	7,56
9	< 0,01	53,42	0,34	17,84	2,69	0,07	4,22	4,63	1,08	3,22	12,07
10	0,02	61,50	0,30	20,07	1,58	0,03	2,26	0,67	0,25	6,51	6,47
11	0,16	69,67	0,47	7,12	3,93	0,09	0,89	6,86	0,76	1,90	7,81
12	0,10	70,41	0,47	11,73	3,55	0,06	1,37	2,37	1,30	4,30	3,80
13	0,04	67,63	0,83	18,36	2,80	0,03	0,52	0,28	0,21	1,62	7,33
15	0,13	58,83	0,43	18,43	6,52	0,05	1,28	0,52	0,35	5,40	7,75
17	0,85	54,00	0,66	11,16	7,42	0,45	1,55	8,19	0,74	2,07	12,75
19	< 0,01	84,55	0,52	7,92	1,58	0,03	0,28	0,20	0,12	1,61	2,90
20	< 0,01	64,23	0,28	21,70	3,31	0,04	0,19	0,27	0,02	0,36	9,02
24	< 0,01	77,21	0,28	11,59	0,97	0,02	0,60	0,20	0,47	5,79	2,47
32	< 0,01	73,50	0,61	9,16	4,14	0,19	1,38	2,42	0,82	2,38	4,93
33	1,39	45,75	0,48	11,09	4,00	0,08	2,47	14,65	0,84	1,88	17,92
34	< 0,01	68,00	0,77	13,87	4,96	0,07	1,73	1,62	2,34	2,33	3,69
35	< 0,01	60,10	0,75	23,63	1,93	0,02	0,90	0,40	0,10	2,67	9,13

LOI = Glühverlust, TOC = organischer Kohlenstoffgehalt

Die technischen Eigenschaften der 16 Waschschlammproben wurden an kleinen (Proben-) Ziegeln untersucht. Die Ziegel wurden bei drei verschiedenen Temperaturen gebrannt und die technischen Kennwerte ermittelt. Gemäß ihrer natürlichen Zusammensetzung weisen die Waschschlämme teilweise deutliche Unterschiede in ihren keramisch-technischen Eigenschaften auf (Tab. 3). Dies sei an den Proben 11 und 15 erläutert.

Die Probe 15 besteht zu etwa 25 % aus Illit/Muskovit und einem quellfähigen Wechsellagerungsmineral sowie zu 25 % aus Kaolinit und wenig Chlorit. Neben diesen Tonmineralen enthält die Probe

ca. 20 % Quarz und ca. 30 % Feldspat. Die Probe 11 enthält hingegen weit weniger und nur geringe Anteile quellfähiger Tonminerale. Der Gehalt an Quarz und Karbonaten ist gegenüber der Zusammensetzung der Probe 15 deutlich erhöht. Die sich aus diesen unterschiedlichen Zusammensetzungen ergebenden unterschiedlichen keramisch-technischen Eigenschaften der Proben sind in Tabelle 3 dargestellt.

Der optimale Wassergehalt (Anmachwassergehalt) zur Verarbeitung und Formgebung grobkeramischer Produkte liegt bei Probe 15 höher als bei Probe 11. Aus diesem Grunde weist die Probe 15 eine deutlich höhere lineare Trockenschwindung

Tab. 3: Keramisch-technische Kennwerte der 16 Waschschlammproben

Probe	Anmachwasser- gehalt	Lineare Trockenschwindung	Lineare Brenn- schwindung			Wasseraufnahme			Scherbenrohdichte		
			%			%			g/cm ³		
			950 °C	1.050 °C	1.150 °C	950 °C	1.050 °C	1.150 °C	950 °C	1.050 °C	1.150 °C
3	29,9	7,0	1,3	5,3	6,6	15,8	8,0	4,2	1,8	2,1	2,2
4	18,3	3,6	-0,7	0,9	6,7	16,4	12,3	0,8	1,7	1,8	2,2
9	34,4	8,2	2,2	4,7	5,8	15,2	7,7	0,2	1,7	1,9	2,0
10	36,2	7,8	4,1	8,1	3,1	7,1	1,8	0,5	1,9	2,2	1,7
11	21,8	4,1	-0,7	1,1	n. b.	20,7	16,2	0,6	1,6	1,7	2,2
12	23,2	2,2	-0,7	2,2	8,7	19,1	12,7	1,2	1,6	1,8	2,2
13	30,4	6,4	0,7	3,8	5,8	17,0	10,6	5,9	1,7	1,9	2,1
15	37,6	9,7	5,2	10,5	7,1	9,8	< 0,1	< 0,1	2,0	2,4	1,7
17	36,5	5,5	0,7	7,7	n. b.	28,0	11,1	0,1	1,5	1,9	1,6
19	21,2	3,5	-0,5	0,1	1,2	15,1	13,2	10,3	1,7	1,8	1,8
20	29,0	3,8	1,3	2,8	4,7	22,4	19,2	15,4	1,6	1,7	1,9
24	21,5	1,4	-0,7	0,4	3,8	16,0	15,0	8,6	1,6	1,7	1,9
32	17,9	2,4	-0,7	0,2	6,3	14,4	12,3	1,2	1,8	1,8	2,2
33	29,8	3,4	-1,0	-0,6	n. b.	30,3	27,6	0,2	1,4	1,4	2,3
34	27,2	0,2	-0,8	0,8	10,5	27,0	23,0	5,2	1,3	1,4	2,0
35	31,9	6,8	2,1	6,2	7,4	12,8	4,3	< 0,1	1,9	2,2	2,3

n. b. = nicht bestimmt

auf als Probe 11. Daher lässt sich Probe 15 besser verarbeiten, ist gegenüber der Probe 11 jedoch trocknungsanfälliger. Die Brennschwindung, die Wasseraufnahme und die Scherbenrohdichte wurden bei drei verschiedenen Brenntemperaturen ermittelt. Es wird deutlich, dass aufgrund der hohen Brennschwindung im niedrigen Temperaturbereich die Probe 15 bereits bei 1.050 °C eine Wasseraufnahme von < 0,1 % besitzt und damit bereits bei ca. 1.000 °C Klinkerqualität erreicht. Die Brennschwindung der Probe 11 ist hingegen weit geringer, die Wasseraufnahme entsprechend höher. Das Material schmilzt sehr spät auf und dann in einem sehr kleinen Temperaturintervall (zwischen 1.050 °C und 1.150 °C). Bei 1.150 °C ist das Material bereits vollständig aufgeschmolzen. Der Einsatz großer Anteile dieses Schlammes in einer Ziegelmasse würde damit eine optimale

Brennführung in der Ziegelproduktion deutlich erschweren. Die gebrannten Probenziegel der Probe 11 zeigen zudem vereinzelt Kalkabplatzungen und Salzausblühungen, die die Ziegelqualität zusätzlich deutlich herabsetzen.

Insgesamt kann die Probe 15 als trocknungs-sensibler, halbfetter Zusatzton bezeichnet werden, der in zahlreichen grobkeramischen Anwendungen eingesetzt werden könnte. Die Probe 11 ist hingegen lediglich als magernder Zuschlag in der Hinter- oder Vormauerziegelproduktion bedingt einsetzbar. Für alle anderen Anwendungen ist das Material ungeeignet. In dieser Weise wurden alle 16 Waschschlämme bewertet. Die Bewertung und die Daten der einzelnen Proben sind in Anhang C aufgeführt.

In Tabelle 4 ist die Eignung der 16 Waschschlämme für unterschiedliche Anwendungen in der grobkeramischen Industrie zusammengefasst. Es ist erkennbar, dass mit zunehmenden Anforderungen an die Qualität der Schlämme (von Hintermauerziegeln zu Steinzeugröhren), die Anzahl der als potenziell geeignet klassifizierten Proben deutlich abnimmt. So sind 15 der 16 Proben als Zuschlagstoff für Hintermauerziegel gut bis hervorragend geeignet, jedoch nur zwei für die Produktion von Steinzeugröhren (Tab. 4).

Insgesamt sind drei Proben zur Produktion der meisten in Betracht gezogenen keramischen Produkte hervorragend geeignet, vier weitere für spezifische Produkte. Zusätzlich sind sieben Waschschlämme für alle Anwendungen durchschnittlich gut geeignet, lediglich zwei sind nur bedingt geeignet bis ungeeignet. Somit enthalten 14 der insgesamt 70 Kieswerke Waschschlämme,

die als Zuschlag in der grobkeramischen Industrie gut verwertet werden könnten. Ein Teil der Betriebe produziert zudem Waschschlämme, die für die grobkeramische Industrie bedingt geeignet, aufgrund der Kosten für Trocknung und Transport in der Regel jedoch nicht wirtschaftlich nutzbar sind.

Aus der wirtschaftlichen Praxis ist abzuleiten, dass es sich lohnen kann, hervorragend geeignete Qualitäten bis ca. 200 km zum verarbeitenden Betrieb zu transportieren, gut geeignete bis ca. 30 km. Diese Schätzungen sind sehr konservativ. Neben den hervorragend und gut geeigneten Waschschlammern können auch Schlämme von geringerer Qualität an Standorten, die sich nahe eines Ziegelwerks befinden wirtschaftlich von Interesse sein. Insgesamt ist die Wirtschaftlichkeit der Nutzung eines Schlammes jedoch im Einzelfall zu prüfen, insbesondere in Hinblick auf Kosten für Trocknung und Transport des Materials.

Tab. 4: Eignung der 16 Waschschlammproben für unterschiedliche Anwendungen in der grobkeramischen Industrie

Anwendung	Qualitäten (Eignung)			
	hervorragend	gut	bedingt	ungeeignet
Hintermauerziegel	6	9	1	0
Vormauerziegel	5	10	1	0
Verblendklinker	4	6	3	3
Klinkerriemchen	4	6	3	3
Pflasterklinker	2	7	2	5
Dachziegel	2	4	4	6
Boden- und Fassadenplatten	3	3	4	6
Steinzeugröhren	0	2	1	13
Sonstige	0	1	0	15

3.2 Quarzfüller

Die im Projekt untersuchten Quarzfüller entstammen der Quarzsandaufbereitung. Die Feinfraktion wird im Zuge der Aufbereitung dieser Sande abgetrennt und liegt in trockenem Zustand vor. Die maximale Korngröße der Füller beträgt ca. 200 µm. Sie sind gut sortiert und die Korngrößenverteilung besitzt ein Maximum im Bereich der Feinsandfraktion. Die Schluff- und vor allem die Tonfraktion sind in weit geringerem Maße vertreten (Tab. 5).

Tab.5: Korngrößenverteilung der Quarzfüller (Angaben in M.-%)

Probe	< 2 µm (Ton)	2–63 µm (Schluff)	63 µm–2 mm (Sand)
1	-	11	89
22	4	23	73
29	1	14	85

Die chemische Zusammensetzung der Quarzfüller ist monoton. Wie zu erwarten dominiert SiO₂ die Zusammensetzung deutlich. Die Gehalte an Alkalien und Erdalkalien sind gering (Tab. 6), die Konzentrationen von organischem und anorganischem Kohlenstoff sind sehr gering und liegen unter 0,01 %. Lediglich die Probe 22 besitzt geringe Mengen anorganischen Kohlenstoff (0,05 %), da sie wenige Karbonate enthält. Die

Gehalte an Neben- und Spurenelementen sind in allen drei Proben ebenfalls sehr gering, mit Ausnahme des Wertes für Zirkonium, der in den Füllern im Vergleich zu den Waschschlämmen leicht erhöht ist, jedoch im für Sande typischen Bereich liegt. Die gesamte chemische Analyse der Proben ist Anhang B zu entnehmen.

Die mineralogische Zusammensetzung der Quarzfüller ist durch Quarz geprägt, untergeordnet enthalten die Proben Feldspat, zwei der Proben zudem Fe-Oxidhydroxide und Ti-Oxide sowie eine Probe geringe Mengen an Calcit (Tab. 7).

Die Probe 29 ist ein sehr feinsandiger und reiner Quarzsand, der als Industriesand für unterschiedliche Anwendungen, beispielsweise in der Glasindustrie, eingesetzt werden könnte. In der grobkeramischen Industrie sind alle drei Füller als magernde Zuschläge verwendbar. Der Vorteil der Füller im Vergleich zu Waschschlämmen mit ähnlichen Eigenschaften besteht darin, dass sie teilweise bereits in trockener Form vorliegen und daher keine kostenintensive Trocknung vor dem Transport erfolgen muss. Der Transport dieser, bezogen auf die grobkeramische Produktion, wenig hochwertigen Rohstoffe, ist in der Regel jedoch nicht wirtschaftlich. Daher erfolgte an den Füllern keine Untersuchung der keramisch-technischen Eigenschaften.

Tab.6: Hauptelementzusammensetzung der Quarzfüller (Angaben in M.-%)

Probe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
1	93,66	0,31	3,12	0,36	0,01	0,07	0,07	0,19	1,49	0,48
22	88,76	0,63	4,91	1,19	0,03	0,23	0,62	0,60	1,63	1,08
29	98,89	0,28	0,32	0,11	0,01	0,02	0,03	< 0,01	0,02	0,12

LOI = Glühverlust

Tab.7: Kationenaustauschkapazität (Angaben KAK in meq/100g) und mineralogische Zusammensetzung der Quarzfüller (Angaben in M.-%)

Probe	KAK	Illit/ Muskovit	Quarz	K-Feldspat	Plagioklas	Calcit	Oxide
1	0,3	< 5	85	5–10	< 5	-	< 1
22	1,1	< 5	75–80	5–10	5–10	< 1	< 5
29	0,1	-	98	< 5	-	-	-

- = nicht nachweisbar

3.3 Feinkörniger Abraum

Vier Proben Abraum wurden unterschiedlichen Lagerstätten entnommen. Es wurden ein miozäner Ton (Probe 7), ein weichselzeitlicher Geschiebemergel (Probe 23), ein quartärer Auelehm (Probe 28) und ein weichselzeitlicher Geschiebelehm (Probe 31) beprobt. Die Probenahme erfolgte jeweils am frischen Stoß. Der beprobte Abraum besitzt ein Korngrößenmaximum in der Schluff- bzw. der Sandfraktion (Tab. 8). Die Tonfraktion weist Werte zwischen 10 % und 17 % auf.

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Entstehung und Herkunft sind die Proben chemisch sehr unterschiedlich zusammengesetzt (Tab. 9). Alle Proben sind sehr reich an SiO_2 , die Al_2O_3 -Gehalte liegen zwischen ca. 5 % und 9 %. Wie zu erwarten, enthält der Geschiebemergel aufgrund seines erhöhten Karbonatgehalts einen erhöhten Anteil CaO . Insgesamt sind die Proben arm an Alkalien und Erdalkalien. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff ist in allen Proben sehr gering (< 0,01 %). Die gesamte chemische Analyse der Proben ist dem Anhang B zu entnehmen.

In den Proben ist Quarz vorherrschend, untergeordnet enthalten sie Feldspat, Fe-Oxidhydroxide und Ti-Oxide. Der Karbonatanteil des Geschiebemergels liegt bei 10–15 % (Tab. 10). Insgesamt liegt

der Anteil der Tonminerale bei ca. 10–20 %, überwiegend Illit und Kaolinit. Aufgrund der geringen Kationenaustauschkapazitäten (KAK) von weniger als 10 meq/100g ist davon auszugehen, dass in den Proben nur wenige quellfähige Tonminerale enthalten sind.

Aufgrund ihres hohen Quarzgehalts wurden die technischen Eigenschaften der Proben 7, 28 und 31 nicht untersucht. Möglicherweise sind sie als bedingt geeignete magernde Zuschläge in der grobkeramischen Industrie verwendbar, jedoch ist diese Nutzung in der Regel nicht wirtschaftlich.

Die Probe 28 weist leicht erhöhte Tonmineralanteile und etwas geringere Quarzgehalte als die restlichen Proben auf, daher wurde sie in die technische Untersuchung einbezogen. Dieses Material ist als magernder Zuschlag in der grobkeramischen Industrie verwendbar und für zahlreiche Anwendungen gut geeignet. Die Daten befinden sich in Anhang C.

Insgesamt ist das Potenzial des hier untersuchten feinkörnigen Abraums für Anwendungen in der grobkeramischen Industrie gering. Die häufige Verwendung solcher Rohstoffe in der Industrie weist jedoch darauf hin, dass es sich lohnen kann, dieses Material auf seine Einsatzmöglichkeiten hin zu überprüfen.

Tab.8: Korngrößenverteilung des feinkörnigen Abraums (Angaben in M.-%)

Probe		< 2 μm (Ton)	2 – 63 μm (Schluff)	63 μm –2 mm (Sand)
7	Miozäner Ton	17	50	33
23	Geschiebemergel	10	19	71
28	Auelehm	15	52	33
31	Geschiebelehm	10	33	57

Tab.9: Hauptelementchemie des feinkörnigen Abraums (Angaben in M.-%)

Probe	TOC	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
7	< 0,01	88,06	0,71	6,84	0,48	0,22	0,11	0,06	0,96	2,28
23	< 0,01	77,76	0,29	5,06	1,64	0,67	6,06	0,63	1,52	6,00
28	< 0,01	79,36	0,69	9,04	2,84	0,82	0,65	0,93	2,08	3,18
31	< 0,01	87,10	0,52	5,63	1,98	0,25	0,24	0,24	1,25	2,51

LOI = Glühverlust; TOC = organischer Kohlenstoffgehalt

Tab.10: Kationenaustauschkapazität (Angaben KAK in meq/100g) und mineralogische Zusammensetzung des feinkörnigen Abraums (Angaben in M.-%)

Probe	KAK	Smektite	Illit/ Muskovit*	Chlorit	Kaolinit	Quarz	Feldspat	Karbonate	Oxide
7	2,7	-	10–15	-	5–10	80	-	-	< 1
23	3,5	(+)	5–10	< 5	-	65	5–10	10–15	< 5
28	8,8	(+)	15–20	< 5	<< 5	60–65	15	-	< 5
31	5,6	(+)	10–15	-	-	75	5–10	-	< 5

* (inkl. Smektite und Mixed-Layer)

Karbonat = Calcit + Dolomit; Oxide = Fe-Oxihydroxide + Ti-Oxide; (+) = vermutet; - = nicht nachweisbar

4 ZUSAMMENFASSUNG

Die hier untersuchten Waschschlämme weisen ein beachtliches Potenzial für den Einsatz in der grobkeramischen Industrie auf, jedoch ist die Qualität der Schlämme sehr unterschiedlich. Da die Waschschlämme im Zuge der Produktion von Sand und Kies bereits aufbereitet wurden, ist davon auszugehen, dass sie granulometrisch und chemisch-mineralogisch sehr homogen zusammengesetzt sind. Durch die Aufbereitung wurden des Weiteren für die grobkeramische Industrie problematische Komponenten entfernt, beispielsweise Teile des organischen Materials, vor allem die groborganischen Bestandteile oder Schwerminerale, weshalb der Gehalt an Spurenelementen in den Proben vergleichsweise gering ist. Zu beachten ist, dass jeweils nur eine Waschschlammprobe den Werken entnommen wurde. Daher ist es notwendig, auch bei hervorragenden Qualitäten die Homogenität der Schlammzusammensetzung vor einer möglichen Verwendung detailliert zu prüfen. Insgesamt weist das Ergebnis der Untersuchung darauf hin, dass die Menge qualitativ hochwertiger Waschschlämme in Deutschland, die für den Einsatz in der grobkeramischen Industrie geeignet sind, bisher unterschätzt wurde.

Die untersuchten Quarzfüller sind in der grobkeramischen Industrie lediglich als magernder Zuschlag einsetzbar. Diese Verwendung ist in der Regel jedoch nicht wirtschaftlich. Andere Einsatzgebiete sind hier zu bevorzugen.

Der in dieser Studie untersuchte feinkörnige Abraum besitzt, mit einer Ausnahme, nur ein geringes Potenzial für eine Nutzung in der grobkeramischen Industrie. Abraum wird in diesem Industriezweig jedoch bereits seit Jahrzehnten genutzt. Daher lohnt es sich für Sand- und Kieswerke, die Einsatzmöglichkeiten feinkörnigen Abraums zu überprüfen.

5 LITERATUR

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2010): Bundesrepublik Deutschland, Rohstoffsituation 2009.– Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien XXXIX.

KRAKOW, L. (2003): Herstellung und Einsatz von ton-mineralischen Filterkuchen in der Ziegelindustrie.– ZI 7/2003, pp. 34-40.

LORENZ, W. und GWOSDZ W. (1997): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 1: Tone.– Geol. Jb. H 2.

PFLUG, R. (2001): Wohin mit dem Schlamm?.– Steinbruch und Sandgrube, 6/2001, pp.6-7.

ANHANG A

Analyseverfahren

Im Anschluss an die Probenahme erfolgte die **Trocknung** der Proben. Nach dieser besaßen sie eine Masse von 1,0 kg bis ca. 4,0 kg. Sie wurden homogenisiert und repräsentativ geteilt. Eine Teilprobe wurde für die chemisch-mineralogische Analytik in einer Scheibenschwingmühle gemahlen, eine weitere zur Bestimmung der Korngrößenverteilung verwendet. Die größte Teilprobe wurde rückgestellt und später zur Ermittlung der keramisch-technischen Eigenschaften eingesetzt.

Zur Bestimmung der **Korngrößenverteilung** wurden die Proben in einer 0,01 normalen $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ Lösung dispergiert und die Fraktion $> 63 \mu\text{m}$ im Anschluss nass abgesiebt, getrocknet und gewogen. Die Suspension mit den Partikeln $< 63 \mu\text{m}$ wurde gefriergetrocknet, gewogen und durch Zugabe von deionisiertem Wasser und mittels Ultraschall (2 x 2 min. bei 20 kHz) wieder in Suspension gebracht. Die Korngrößenanalyse des Wasser/Feststoff-Gemischs $< 63 \mu\text{m}$ erfolgte an einem SediGraph 5100™ mit einem MasterTech 052 Autosampler™ der Firma Micrometrics, Norcross, Georgia (USA). Die Fraktion $> 63 \mu\text{m}$ wurde mittels Sieben in unterschiedliche Fraktionen unterteilt.

Die **chemische Zusammensetzung** der Proben wurde über Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) bestimmt. Verwendet wurde ein Axios PW2400 Spektrometer der Firma PANalytical. Die Proben wurden mit einem Flussmittel gemischt und aufgeschmolzen. Das resultierende Glas wurde durch wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (WD-XRF) auf seine chemische Zusammensetzung untersucht. Um den **Glühverlust** (loss on ignition, LOI) zu bestimmen, wurden 1.000 mg der Proben 10 Minuten bei 1.030 °C geblüht.

Die **Kationen-Austausch-Kapazität** (KAK) wurde mit der Cu-Triethylenetetramin-Methode nach MEIER & KAHR (1999) bestimmt.

Der **Gesamtkohlenstoffgehalt** (TC) und der Gehalt an organischem Kohlenstoff (TOC) wurden mit

einem LECO CS-444-Analysator ermittelt. Hierzu wurden jeweils ca. 180 g der Proben auf 1.800 °C bis 2.000 °C in oxidierender Atmosphäre aufgeheizt und der CO_2 -Gehalt über einen Infrarot-Detektor analysiert. Zur Untersuchung des organischen Kohlenstoffanteils (TOC) war es notwendig, vor der Messung die in den Proben enthaltenen Karbonate zu lösen. Hierzu wurden die Proben bei 80 °C mehrfach mit Salzsäure behandelt, wobei das in den Karbonaten gebundene CO_2 freigesetzt wurde. Dieses Verfahren wurde so lange fortgesetzt, bis keine Gasbildung infolge der Karbonatlösung mehr zu beobachten war. Der Gehalt des anorganisch, in Karbonaten gebundenen Kohlenstoffs (TIC) wurde aus der Differenz zwischen TC und TOC berechnet. Der **Schwefelgehalt** der Proben wurde ebenfalls mit einem LECO CS-444-Analysator bestimmt.

Die **mineralogische Zusammensetzung** der Proben wurde über eine röntgendiffraktometrische Analyse (RDA) an Pulverpräparaten ermittelt. Die RDA wurde mit einem Philips X'Pert PW3710 Θ - Θ Diffraktometer (Cu-K α Strahlung bei 40 kV und 30 mA) durchgeführt. Das Diffraktometer besitzt eine variable Divergenzblende mit einer bestrahlten Probenlänge von 20 mm, beidseitig Soller, einen Scientific X'Cellerator-Detektor und einen Probenwechsler (Probendurchmesser 28 mm). Die Proben wurden in einem Bereich von 2° bis 85° 2 Θ mit einer Schrittweite von 0.0167° 2 Θ und einer Meßzeit von 10 Sekunden pro Schritt analysiert. Zur Probenpräparation wurde die „top loading“-Technik verwendet. Die quantitative Zusammensetzung der Proben wurde aus den Röntgendiffraktogrammen mittels Rietveld-Verfeinerung bestimmt. Durch Plausibilitäts-Abgleich der Ergebnisse mit der chemischen Zusammensetzung (RFA) erfolgte eine umfassende Quantifizierung der Proben.

Die Überprüfung der **Plastizität** der Proben erfolgte nach DIN 18 122 Teil 1 (nach Atterberg), die Analyse des **Anmachwassergehalts** mittels der Methode nach Pfefferkorn.

Die Proben wurden gemäß dem Anmachwassergehalt mit Wasser versetzt, hiernach in kleine Ziegelformen eingeschlagen, getrocknet und anschließend

die **Trockenschwindung** bestimmt. Es wurden jeweils drei Ziegel der reinen Proben hergestellt. Zusätzlich wurden jeweils drei Ziegel pro Probe hergestellt, die mit einem Standardton im Verhältnis 20/80 gemischt wurden. Diese Ziegel dienten zur weiteren Überprüfung der Eignung des Materials als Zuschlag.

Nach der Trocknung wurden sowohl die reinen Proben als auch die gemischten Proben bei drei unterschiedlichen Temperaturen gebrannt (950 °C, 1.050 °C und 1.150 °C). Der Ofen wurde in Schritten von 100 °C/h aufgeheizt, die Haltezeit bei Erreichen der Maximaltemperatur lag bei 1 Stunde, die Abkühlung erfolgte wiederum in Schritten von 100 °C/h. Hiernach wurden die Ziegel begutachtet und die **Brennshwindigkeit**, **Scherbenrohddichte** und **Wasseraufnahmefähigkeit** des Scherbens bestimmt.

Die **Differential-Thermoanalyse** (DTA) wurde nach DIN 51 007 durchgeführt, die **Thermo-Gravimetrie** (TG) nach DIN 51 006.

ANHANG B

Chemische Zusammensetzung der Proben

Probe	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Sum
%												
Waschschlamm												
2	91,86	0,61	2,81	2,04	0,03	0,11	0,15	0,28	1,12	0,05	0,61	99,70
3	63,43	0,79	20,60	3,05	0,02	0,51	0,17	0,19	1,99	0,08	8,88	99,77
4	67,09	0,63	8,27	4,83	0,12	1,20	6,66	0,92	2,11	0,20	7,56	99,69
5	62,89	0,49	6,45	4,75	0,13	1,13	10,54	0,67	1,52	0,21	10,84	99,69
6	52,76	0,57	8,34	5,22	0,15	1,48	13,11	0,89	1,80	0,28	14,76	99,67
8	53,73	0,64	7,23	2,58	0,07	5,30	12,15	1,13	1,18	0,14	15,42	99,74
9	53,42	0,34	17,84	2,69	0,07	4,22	4,63	1,08	3,22	0,08	12,07	99,71
10	61,50	0,30	20,07	1,58	0,03	2,26	0,67	0,25	6,51	0,16	6,47	99,80
11	69,67	0,47	7,12	3,93	0,09	0,89	6,86	0,76	1,90	0,15	7,81	99,68
12	70,41	0,47	11,73	3,55	0,06	1,37	2,37	1,30	4,30	0,18	3,80	99,72
13	67,63	0,83	18,36	2,80	0,03	0,52	0,28	0,21	1,62	0,09	7,33	99,76
14	83,56	0,45	7,32	2,36	0,05	0,52	0,71	0,86	1,64	0,08	2,20	99,83
15	58,83	0,43	18,43	6,52	0,05	1,28	0,52	0,35	5,40	0,15	7,75	99,74
16	45,62	0,58	10,52	9,53	0,42	1,40	10,69	0,52	1,65	0,61	17,92	99,59
17	54,00	0,66	11,16	7,42	0,45	1,55	8,19	0,74	2,07	0,55	12,75	99,65
18	70,57	0,47	6,80	3,14	0,09	0,89	7,20	0,98	1,85	0,14	7,53	99,74
19	84,55	0,52	7,92	1,58	0,03	0,28	0,20	0,12	1,61	0,06	2,90	99,81
20	64,23	0,28	21,7	3,31	0,04	0,19	0,27	0,02	0,36	0,17	9,02	99,65
21	73,54	0,40	6,43	2,22	0,04	0,74	6,39	0,93	1,86	0,11	6,89	99,73
24	77,21	0,28	11,59	0,97	0,02	0,60	0,20	0,47	5,79	0,08	2,47	99,69
25	30,64	0,19	3,34	1,38	0,06	9,34	24,19	0,30	0,68	0,07	29,51	99,81
26	35,05	0,28	4,97	2,25	0,09	7,52	22,17	0,73	0,80	0,10	25,73	99,73
27	79,82	0,57	8,13	4,64	0,04	0,72	0,37	1,20	1,72	0,12	2,46	99,81
30	98,08	0,14	0,94	0,21	< 0,01	0,03	0,03	< 0,01	0,06	0,02	0,38	99,94
32	73,50	0,61	9,16	4,14	0,19	1,38	2,42	0,82	2,38	0,17	4,93	99,72
33	45,75	0,48	11,09	4,00	0,08	2,47	14,65	0,84	1,88	0,13	17,92	99,67
34	68,00	0,77	13,87	4,96	0,07	1,73	1,62	2,34	2,33	0,26	3,69	99,66
35	60,10	0,75	23,63	1,93	0,02	0,90	0,40	0,10	2,67	0,10	9,13	99,73
Quarzfüller												
1	93,66	0,31	3,12	0,36	0,01	0,07	0,07	0,19	1,49	0,02	0,48	99,86
22	88,76	0,63	4,91	1,19	0,03	0,23	0,62	0,60	1,63	0,05	1,08	99,76
29	98,89	0,28	0,32	0,11	0,01	0,02	0,03	< 0,01	0,02	0,01	0,12	99,82
Feinkörniger Abraum												
7	88,06	0,71	6,84	0,48	< 0,01	0,22	0,11	0,06	0,96	0,03	2,28	99,81
23	77,76	0,29	5,06	1,64	0,03	0,67	6,06	0,63	1,52	0,07	6,00	99,82
28	79,36	0,69	9,04	2,84	0,05	0,82	0,65	0,93	2,08	0,10	3,18	99,74
31	87,10	0,52	5,63	1,98	0,03	0,25	0,24	0,24	1,25	0,06	2,51	99,83

Probe	As	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	Sb	Sc
ppm																			
Waschschlamm																			
2	7	242	< 2	77	< 3	44	3	13	3	28	30	< 3	14	29	6	11	42	< 6	3
3	13	447	< 2	87	10	70	8	26	23	8	39	< 3	19	27	46	32	106	< 6	15
4	20	415	< 2	77	14	51	< 3	36	11	8	32	< 3	15	23	28	38	79	< 7	10
5	19	341	< 2	63	16	40	< 3	31	7	11	27	< 3	13	< 13	30	204	59	< 8	8
6	23	378	< 2	75	14	64	5	33	11	8	32	< 3	15	< 14	31	23	72	< 8	12
8	15	219	< 2	43	6	42	5	16	9	7	26	< 3	13	< 13	15	10	51	< 8	7
9	3	651	< 2	72	8	59	5	14	19	8	41	< 3	10	37	21	25	117	< 7	7
10	12	495	< 2	53	9	18	10	16	20	< 6	25	< 2	8	14	16	54	168	< 6	4
11	17	375	< 2	63	13	38	< 3	30	9	10	26	< 3	13	< 13	24	33	68	< 7	7
12	18	782	< 2	63	9	42	6	22	16	11	38	< 3	17	16	23	19	159	7	7
13	14	357	< 2	70	13	98	9	29	18	8	43	< 3	21	17	43	32	79	< 6	10
14	7	406	< 2	42	7	42	< 3	21	10	8	< 14	< 2	10	15	19	18	64	< 6	7
15	42	408	< 2	117	19	52	21	51	28	< 6	47	< 3	22	36	36	84	322	< 6	11
16	32	386	< 3	195	29	63	< 3	52	13	8	66	< 3	15	50	59	59	66	< 8	14
17	24	459	< 2	169	25	62	4	46	15	12	69	< 3	17	53	52	51	91	< 8	15
18	9	421	< 2	59	11	33	4	20	9	8	20	< 3	12	< 13	20	20	65	< 7	7
19	11	369	< 2	64	14	65	4	25	9	< 6	19	< 2	13	< 13	22	22	71	< 6	7
20	23	76	< 2	104	11	280	4	19	20	< 6	39	3	17	15	42	1373	24	< 6	17
21	9	386	< 2	36	7	35	4	16	6	11	< 15	< 3	13	< 13	14	16	65	< 7	5
24	5	985	< 2	112	6	21	9	14	10	15	66	< 3	10	45	8	28	181	< 6	4
25	5	97	< 2	36	3	53	< 3	20	4	7	21	< 3	6	< 13	10	7	33	< 9	5
26	11	147	< 2	41	5	31	< 3	23	5	< 6	< 15	< 3	6	< 13	17	19	39	< 9	7
27	12	341	< 2	39	9	88	3	23	9	9	< 14	< 3	11	< 13	31	17	61	< 6	6
30	3	30	< 2	< 17	< 2	9	< 3	9	< 2	< 5	< 14	< 2	5	< 12	4	6	6	< 6	1
32	28	485	< 2	50	18	61	7	37	12	14	14	< 3	15	15	37	77	101	< 6	8
33	16	320	< 2	55	11	85	8	30	14	8	34	< 3	13	< 13	47	25	90	< 9	10
34	9	503	< 2	129	12	70	7	26	18	18	49	< 3	15	33	24	21	99	< 6	14
35	20	406	< 2	116	8	92	16	25	29	7	55	< 2	18	44	42	49	117	< 6	12
Quarzfüller																			
1	5	394	< 2	40	6	18	< 3	10	3	11	< 14	< 2	8	< 13	2	14	52	< 6	1
22	5	374	< 2	32	4	41	4	13	6	21	< 14	< 2	13	< 13	5	11	54	< 6	4
29	3	22	< 2	< 17	< 2	17	< 3	7	< 2	24	< 14	< 2	8	< 13	< 2	4	6	< 6	1
Feinkörniger Abraum																			
7	20	219	< 2	103	3	73	13	14	9	14	44	< 2	16	33	9	18	59	7	6
23	4	283	< 2	28	3	21	< 3	15	7	8	< 15	< 3	8	< 13	10	12	51	< 7	5
28	8	365	< 2	61	10	80	4	25	12	11	28	< 3	17	17	30	18	83	< 6	8
31	8	288	< 2	56	7	40	4	12	7	< 6	21	< 2	12	< 13	12	17	58	< 6	5

Probe	Sm	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr	Cges	Corg	Canorg	S	SO ₃	Cl	F
	ppm											%						
Waschschlamm																		
2	< 14	37	30	< 4	16	4	17	< 4	34	24	1299	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,017	< 0,05
3	< 14	< 3	58	< 4	14	< 3	80	< 4	35	67	306	0,21	0,19	0,02	0,02	0,01	0,014	< 0,05
4	< 15	< 4	157	< 4	11	4	54	< 4	35	110	559	1,44	0,09	1,35	< 0,01	0,03	0,015	0,05
5	17	< 4	200	< 4	< 4	< 4	52	< 4	28	89	336	2,37	0,16	2,21	0,02	0,04	0,015	< 0,05
6	19	< 4	224	< 5	12	< 4	77	< 4	38	86	226	3,91	1,37	2,54	0,10	0,24	0,016	0,06
8	15	< 4	139	< 4	8	5	35	< 4	24	37	259	3,81	< 0,01	3,81	0,05	0,12	0,011	< 0,05
9	< 14	< 4	120	< 4	9	< 3	92	< 4	26	145	207	1,17	< 0,01	1,17	0,02	0,05	0,013	< 0,05
10	< 14	< 4	148	< 4	4	< 3	22	6	19	58	158	0,13	0,02	0,11	< 0,01	0,01	0,012	< 0,05
11	< 15	< 4	142	< 4	9	< 3	46	< 4	27	85	342	1,58	0,16	1,42	< 0,01	0,03	0,011	< 0,05
12	< 14	< 4	174	< 4	18	4	49	< 4	28	51	253	0,55	0,10	0,45	0,05	0,14	0,021	< 0,05
13	< 14	9	52	< 4	16	4	81	< 4	35	74	364	0,07	0,04	0,03	< 0,01	0,01	0,014	< 0,05
14	< 14	< 3	87	< 4	4	< 3	38	< 4	24	47	301	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,015	< 0,05
15	< 15	< 4	50	< 4	35	5	81	7	57	86	227	0,17	0,13	0,04	< 0,01	< 0,01	0,017	< 0,05
16	< 16	< 4	239	< 5	17	4	101	6	66	170	189	3,97	2,03	1,94	0,03	0,12	0,014	< 0,05
17	29	< 4	186	< 5	18	6	94	6	58	149	223	2,34	0,85	1,49	0,02	0,07	0,021	< 0,05
18	< 14	< 4	169	< 4	7	< 3	38	< 4	24	56	318	1,61	0,15	1,46	< 0,01	0,03	0,016	< 0,05
19	< 13	< 3	48	< 4	6	< 3	46	< 4	25	31	282	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,016	< 0,05
20	16	4	103	< 4	8	< 3	171	< 4	24	100	157	0,05	< 0,01	0,05	< 0,01	0,02	0,014	< 0,05
21	< 14	< 4	140	< 4	10	< 3	31	< 4	23	33	413	1,60	0,19	1,41	0,07	0,16	0,014	< 0,05
24	19	< 4	103	< 4	25	< 3	34	< 4	35	53	546	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,016	< 0,05
25	< 14	< 4	262	< 4	4	< 3	23	< 4	16	23	131	7,58	< 0,01	7,58	< 0,01	0,03	0,009	0,08
26	< 14	< 4	312	< 4	< 4	< 3	32	< 4	15	33	113	6,47	< 0,01	6,47	< 0,01	0,03	0,007	< 0,05
27	< 14	< 3	79	< 4	6	< 3	49	< 4	23	47	241	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,013	< 0,05
30	< 13	< 3	7	< 4	< 3	< 3	6	< 4	15	3	235	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,012	< 0,05
32	< 14	< 4	107	< 4	11	< 3	53	< 4	29	101	343	0,65	< 0,01	0,65	< 0,01	0,02	0,010	< 0,05
33	< 15	< 4	281	< 4	10	< 3	77	< 4	26	80	141	4,68	1,39	3,29	0,14	0,32	0,015	< 0,05
34	< 14	< 4	123	< 4	23	7	77	< 4	57	86	649	0,10	< 0,01	0,10	< 0,01	0,01	0,015	< 0,05
35	28	4	146	< 4	19	< 3	69	< 4	43	36	192	0,06	< 0,01	0,06	< 0,01	0,02	0,013	< 0,05
Quarzfüller																		
1	< 13	5	39	< 4	8	< 3	12	< 4	21	8	395	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,017	0,06
22	< 13	< 3	68	< 4	7	< 3	18	< 4	24	20	740	0,05	< 0,01	0,05	< 0,01	0,02	0,011	< 0,05
29	< 13	< 3	4	< 4	< 3	< 3	< 5	< 4	12	5	930	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,012	< 0,05
Feinkörniger Abraum																		
7	14	< 3	20	< 4	9	5	49	< 4	33	10	509	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,011	< 0,05
23	< 14	< 4	110	< 4	4	< 3	26	< 4	17	26	215	1,36	< 0,01	1,36	< 0,01	0,01	0,015	0,07
28	< 14	< 4	86	< 4	7	3	56	< 4	29	44	492	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,013	< 0,05
31	< 13	< 3	36	< 4	5	< 3	31	< 4	24	20	315	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,015	< 0,05

Unterschiede in den Nachweisgrenzen beruhen auf Matrixeffekten

ANHANG C

Auszüge aus einem Gutachten der Dr. Krakow Rohstoffconsult über die technischen Eigenschaften der 16 Waschschlämme und des Auelehms für Anwendungen in der grobkeramischen Industrie

Das Gutachten wurde im Auftrag der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe/Deutsche Rohstoffagentur erstellt. Die Daten der Korngrößenverteilung sowie der mineralogisch-chemischen Zusammensetzung basieren auf den Analysen der BGR/DERA.

III. Ergebnisse und Bewertung

III.1 Technische Bewertungsgrundlagen

Nach der chemisch-mineralogischen Charakteristik der Proben kommt für die hier untersuchten Waschschlämme grundsätzlich eine Verwendung im Bereich der Grobkeramik, speziell der Ziegelindustrie in Betracht. Für eine Verwendung von Waschschlämmen bei der modernen Ziegelherstellung ist zunächst zu beachten, dass die Verarbeitung der Rohstoffe üblicherweise im Zuge der sogenannten halbnassen Aufbereitung erfolgt. Dabei werden die angelieferten Rohstoffe im ersten Schritt über Kastenbeschicker dosiert und anschließend im Kollergang zerkleinert. In nachgeschalteten Walzwerken erfolgt dann die Feinerzkleinerung bis auf Korngrößen von 0,5 – 0,8 mm. Danach wird die Rohstoffmischung im Doppelwellenmischer zu einer homogenplastischen Masse verknetet und anschließend den weiteren Verfahrensschritten (Formgebung, Trocknung, Brennprozess) zugeführt.

Daraus resultiert bei Aufrechterhaltung der derzeitigen Herstellungstechnologie zwingend, dass Waschschlämme soweit herunter getrocknet bzw. konditioniert werden müssen, dass sie in gängigen Aufbereitungsanlagen dosierbar und plastisch verformbar sind. Dieser Zustand setzt in der Regel eine steife bis halbfeste Konsistenz nach DIN 18 122 mit entsprechend geringen Wassergehalten und Konsistenzzahlen von rund $IC = 0,75 - 1,0$ voraus. Bei der nachfolgenden Bewertung der einzelnen Waschschlammproben wird eine entsprechende Vorbehandlung des Materials vorausgesetzt. Eine Bewertung als geeignet ist daher im Sinne von geeignet nach Konditionierung und nicht im Sinne von direkt verwendungsfähig zu verstehen.

III.2 Untersuchungsergebnisse und Bewertung

Nachfolgend werden die untersuchten Proben einer homologen Bewertung unterzogen. Dabei wird jeweils auf die wichtigsten Aspekte bei den einzelnen Verfahrensschritten (Formgebung, Trocknen, Brennen) sowie auf die maßgebenden Produkteigenschaften eingegangen. Die Beurteilung bezieht sich auf eine etwaige Verwendung als Zusatzstoff zur Herstellung grobkeramischer Produkte, wobei Zusatzstoffe meistens mit Versatzanteilen von 5 – 30 MA % am Aufbau grobkeramischer Massen beteiligt sind. Aussagen zur möglichen Erzeugnispalette basieren auf Erfahrungswerten, wobei von einem modernen Standard gemäß dem Stand der Technik ausgegangen wird.

Als Basiston für die Mischungen (Mischungsverhältnis konstant 80/20 MA %) ist ein ausgeprägt plastischer Bindeton mit universellen Einsatzmöglichkeiten ausgewählt worden. Es handelt sich um einen kaolinitischen Tertiärton aus dem Raum Leipzig/Sachsen. Die keramtechnologischen Referenzwerte dieses Tons sind in den folgenden Tabellen jeweils unter der Spalte „100 % Ton“ mit dokumentiert worden.

Probe 3

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
38,8	38,3	22,9

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
0,19	63,43	0,788	20,6	3,05	0,017	0,51	0,172	0,19	1,99	0,084	0,01

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektit	Chlorit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn- blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
15		35-40	35	5	5				1		< 5	< 1

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _p MA %	Plastizitätszahl I _p MA %	Konsistenzzahl I _c	Klassifizierung DIN 18 196
49,1	24,6	24,5	entfällt	TM

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 3 S-BW	20 % Probe 3 S-BW 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	29,9	28,2	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	7,0	5,6	6,1
Brennschwindung Lineare BS (%)	950 °C	1,3	2,2	2,5
	1.050 °C	5,3	6,8	9,0
	1.150 °C	6,6	7,2	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	15,8	12,3	10,8
	1.050 °C	8,0	2,5	< 0,1
	1.150 °C	4,2	0,8	< 0,1
Scherbenrohdichte D (g/cm ³)	950 °C	1,79	1,92	1,98
	1.050 °C	2,05	2,27	2,37
	1.150 °C	2,18	2,32	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:

Hintermauerziegel	+	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	++	
Verblendklinker	++	
Klinkerriemchen	++	
Pflasterklinker	+	
Dachziegel	++	
Bodenplatten/Fassadenplatten	++	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	

Zusammenfassende Bewertung:

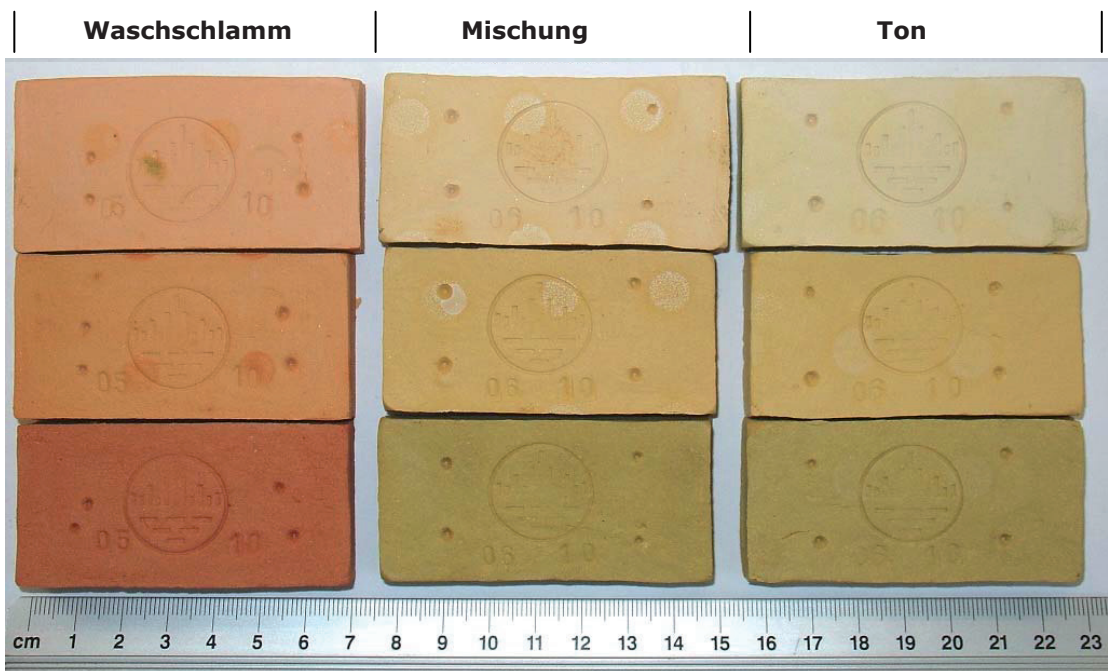
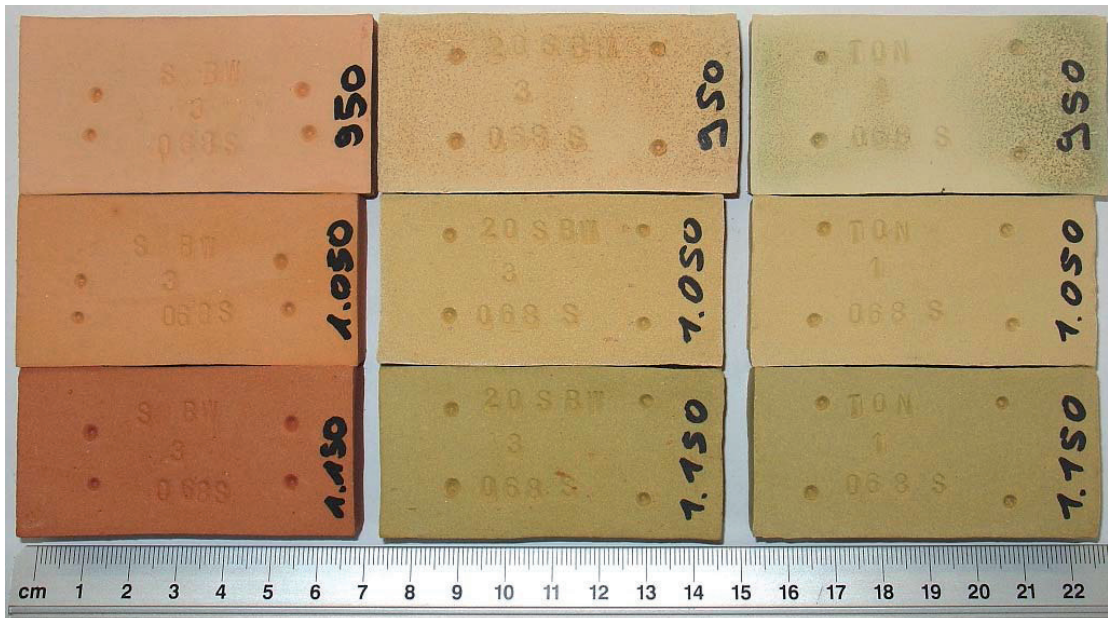
Die **Probe 3** ist durch eine günstige Korngrößenverteilung gekennzeichnet, die von der Charakteristik bereits der Korngrößenverteilung von Ziegelmassen entspricht. Der hohe Tonmineralanteil verleiht der Probe bei mittlerer bis ausgeprägter Plastizität sehr gute Formgebungseigenschaften.

Aufgrund der hohen linearen Trockenschwindung ist die Probe als *trocknungssensibel* zu bezeichnen. Der Brennprozess ist durch ein vergleichsweise enges aber beherrschbares Sinterintervall gekennzeichnet, dass sich mit zunehmender Temperatur in einem deutlichen und sprunghaften Abfall der Wasseraufnahme widerspiegelt. Klinkerqualität wird bei rund 1.150 Grad C erreicht.

Die Brennproben weisen je nach Temperatur *schöne* und im Trend stehende gelbe bis orangegelbe Brennfärbungen auf, was das Material auch von der Optik für den Einsatz im Bereich von Sichtmauerwerk und Dachziegeln aber auch für Boden- und Fassadenplatten prädestiniert. Die Brennproben sind frei von störenden Bestandteilen und Brennfehlern. Minimale Ausblühungen (Vanadium) sind an den Proben bei 950 Grad C Spitztemperatur zu erkennen. Alle Brennproben zeigen visuell eine gute Festigkeit sowie eine ausreichende Feuerstandsfestigkeit bis 1.150 Grad C.

Insgesamt handelt es sich um ein überdurchschnittliches Material, das bei der Herstellung von zahlreichen grobkeramischen Produkten als **halbfetter Zusatzton** eingesetzt werden kann. Der hohe Tonmineralanteil verursacht durch Entgasungsreaktionen naturgemäß Begrenzungen, die im Trocknungs- und Brennprozess zu berücksichtigen sind (vgl. STA-Diagramm).

Probe 3
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Probe 4

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
7,8	44,4	47,8

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
0,09	67,09	0,634	8,27	4,83	0,118	1,20	6,659	0,92	2,11	0,204	0,03

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektit	Chlo- rit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
15	< 5	<< 5	45	5-10	10	< 5	10		1		5	< 1

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

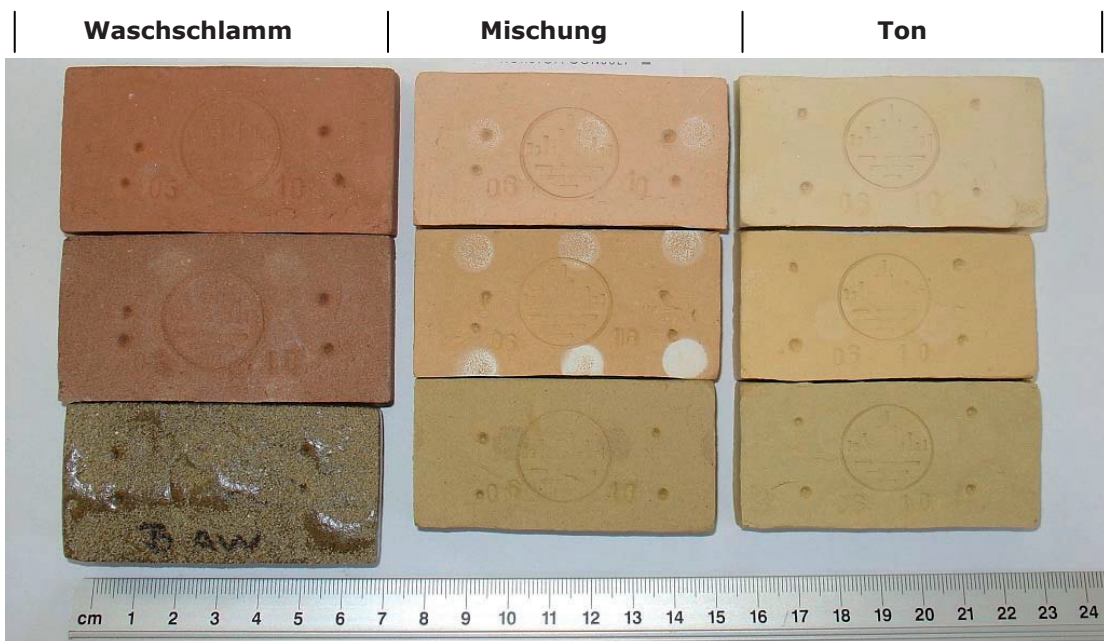
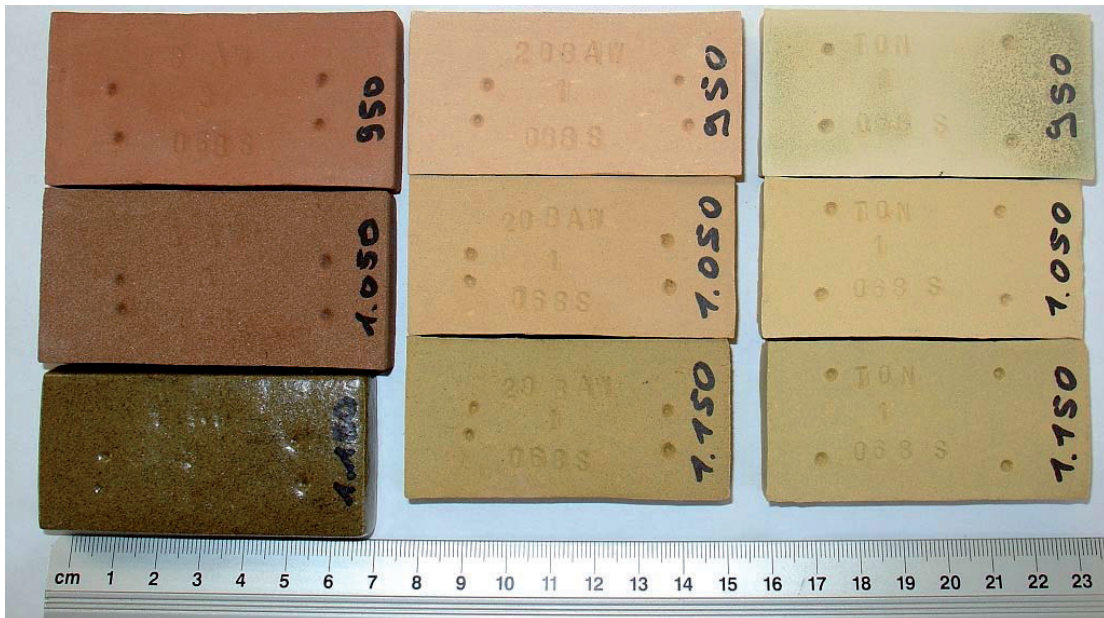
Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _P MA %	Plastizitätszahl I _P MA %	Konsistenzzahl I _C	Klassifizierung DIN 18 196
26,5	19,1	7,4	entfällt	TL

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 4 B-AW	20 % Probe 4 B-AW 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	18,3	27,3	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	3,6	5,9	6,1
Brenschwindung Lineare BS (%)	950 °C	-0,7	3,0	2,5
	1.050 °C	0,9	5,7	9,0
	1.150 °C	6,7	6,1	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	16,4	10,5	10,8
	1.050 °C	12,3	3,4	< 0,1
	1.150 °C	0,8	1,8	< 0,1
Scherbenrohddichte D (g/cm ³)	950 °C	1,74	1,97	1,98
	1.050 °C	1,83	2,19	2,37
	1.150 °C	2,19	2,21	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:		
Hintermauerziegel	+	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	+	
Verblendklinker	-	
Klinkerriemchen	-	
Pflasterklinker	-	
Dachziegel	-	
Bodenplatten/Fassadenplatten	-	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	
Zusammenfassende Bewertung: <p>Die Probe 4 ist durch eine eher ungünstige Korngrößenverteilung mit geringem Anteil < 2 µm und hohen Gehalten an Schluff- und Sandkorn charakterisiert. Entsprechend weist das Material bei nur leichter Plastizität deutliche Begrenzungen bei der Formgebung und stark magernde Eigenschaften auf.</p> <p>Aufgrund des geringen Tonmineralanteils ist die Probe als <i>trocknungsunempfindlich</i> zu bezeichnen. Der Brennprozess ist durch ein sehr spätes und abruptes Einsetzen der Brennschwindung gekennzeichnet, dass bei 1.150 Grad C Brenntemperatur bereits mit starken Schmelzreaktionen verbunden ist und den Brennprozess nicht mehr beherrschbar macht. Aufgrund des hohen Schmelzanteils nimmt die Wasseraufnahme im Intervall von 1.050 bis 1.150 Grad C schlagartig auf ein Minimum ab.</p> <p>Die Brennproben weisen im unteren Temperaturbereich rötliche bis braune Brennfärbungen auf. Bei 1.150 Grad C Brenntemperatur sorgt die starke Flussmittelwirkung der vorhandenen Erdalkalien für einen typischen Farbumschlag nach grüngelb. Die reinen Brennproben sind nahezu frei von störenden Bestandteilen wie Ausblühungen und Abplatzungen. Im Versatz werden jedoch deutliche Trockenausblühungen beobachtet.</p> <p>Insgesamt handelt es sich um ein tonmineralarmes Material, das bei der Herstellung von nicht dichtgebrannten Produkten wie zum Beispiel Hinter- und Vormauerziegeln als magernder Zusatzstoff eingesetzt werden kann. In sensiblen Massen trägt das Material zur Verbesserung der Trocknungseigenschaften auf. Aufgrund des hohen Gehaltes an Erdalkalien ergeben sich im Brennprozess bei Temperaturen oberhalb von 1.050 Grad C hohe Risiken durch unkontrollierte Schmelzphasenbildung.</p>		

Probe 4
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Probe 9

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
25,7	51,2	23,1

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
<0,01	53,42	0,343	17,84	2,69	0,066	4,22	4,626	1,08	3,22	0,076	0,05

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektit	Chlorit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn- blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
55	5	5-10	15		5-10		5	5	<1			

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _p MA %	Plastizitätszahl I _p MA %	Konsistenzzahl I _c	Klassifizierung DIN 18 196
65,3	28,3	37,0	entfällt	TA

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 9 B-GS1	20 % Probe 9 B-GS1 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	34,4	29,1	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	8,2	6,7	6,1
Brennschwindung Lineare BS (%)	950 °C	2,2	2,4	2,5
	1.050 °C	4,7	6,3	9,0
	1.150 °C	5,8	5,6	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	15,2	11,2	10,8
	1.050 °C	7,7	3,1	< 0,1
	1.150 °C	0,2	2,2	< 0,1
Scherbenrohdichte D (g/cm ³)	950 °C	1,69	1,93	1,98
	1.050 °C	1,85	2,19	2,37
	1.150 °C	2,00	2,04	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:

Hintermauerziegel	+	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	+	
Verblendklinker	o	
Klinkerriemchen	o	
Pflasterklinker	o	
Dachziegel	-	
Bodenplatten/Fassadenplatten	-	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	

Zusammenfassende Bewertung:

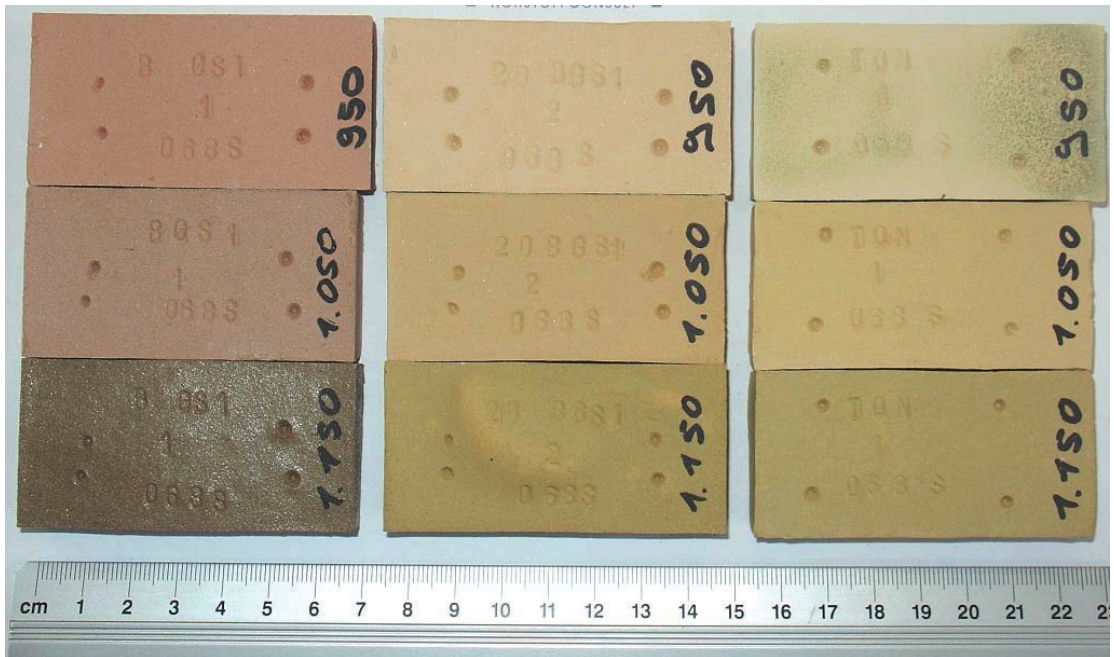
Die **Probe 9** ist durch eine Korngrößenverteilung mit deutlichem Anteil $< 2 \mu\text{m}$ und Dominanz im Schluffkornbereich charakterisiert. Das Material weist aufgrund des hohen Anteils an innerkristallin quellfähigen Dreischichtsilikaten eine ausgeprägte Plastizität und gute Formgebungseigenschaften auf.

Aufgrund der sehr hohen linearen Trockenschwindung ist die Probe als ausgesprochen *trocknungssensibel* zu bezeichnen. Der Brennprozess ist durch ein gut beherrschbares Sinterintervall gekennzeichnet, dass erst im Bereich oberhalb von 1.100 Grad C durch beginnende Schmelzphasenbildung begrenzt wird. Klinkerqualität wird oberhalb von rund 1.100 Grad C und damit im sensiblen Temperaturbereich erreicht.

Die Brennproben weisen im unteren Temperaturbereich beige Brennfärbungen auf. Bei 1.150 Grad C Brenntemperatur sorgt die starke Flussmittelwirkung der vorhandenen Erdalkalien für einen Farbumschlag in *interessante* (weil eher seltene) grünliche Brennfärbungen. Die Brennproben sind frei von Abplatzungen und ähnlichen Beeinträchtigungen, weisen jedoch leichte Ausblühungen auf.

Insgesamt handelt es sich um ein trocknungs- und brenntechnisch sensibles Material, das bei der Herstellung von nicht dichtgebrannten Produkten wie Hinter- und Vormauerziegeln als **halbfetter Zusatzton** eingesetzt werden kann. Aufgrund des hohen Gehaltes an Erdalkalien ergeben sich im Brennprozess bei Temperaturen oberhalb von 1.050 Grad C deutliche Produktionsrisiken durch beginnende Schmelzphasenbildung. Für die Herstellung dichtgebrannter Produkte wie Klinker kann daher nur eine bedingte Eignung attestiert werden. Zur eindeutigen Klärung werden ergänzende Untersuchungen empfohlen.

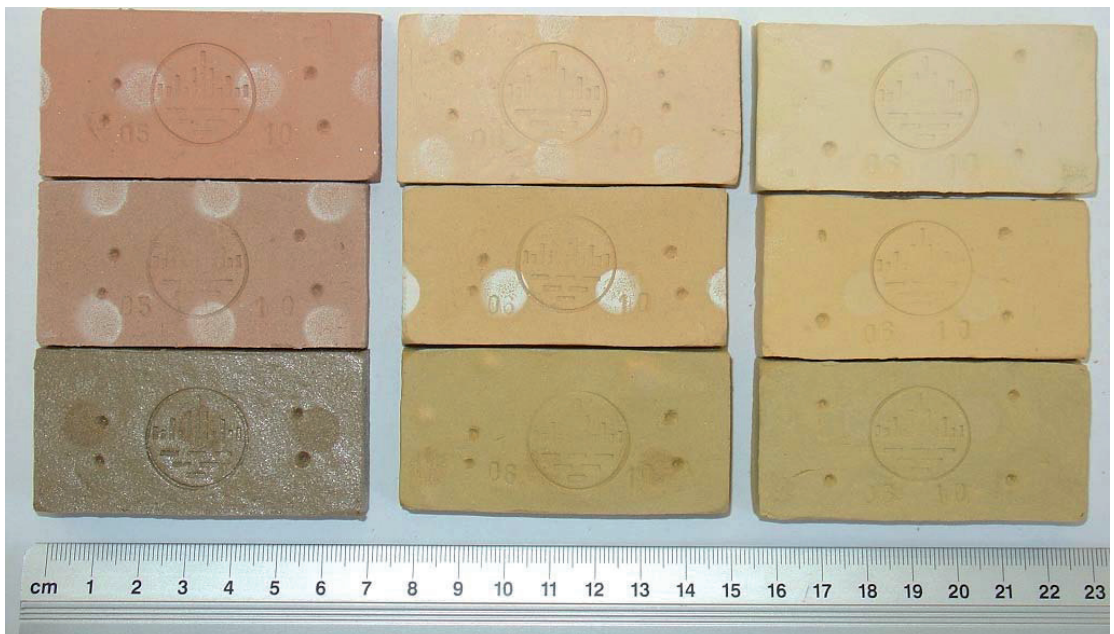
Probe 9
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Waschschlamm

Mischung

Ton



Probe 10

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
36,2	40,4	23,4

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
0,02	61,50	0,298	20,07	1,58	0,026	2,26	0,666	0,25	6,51	0,156	0,01

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektit	Chlo- rit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
65	<5		20	10-15					<1			

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

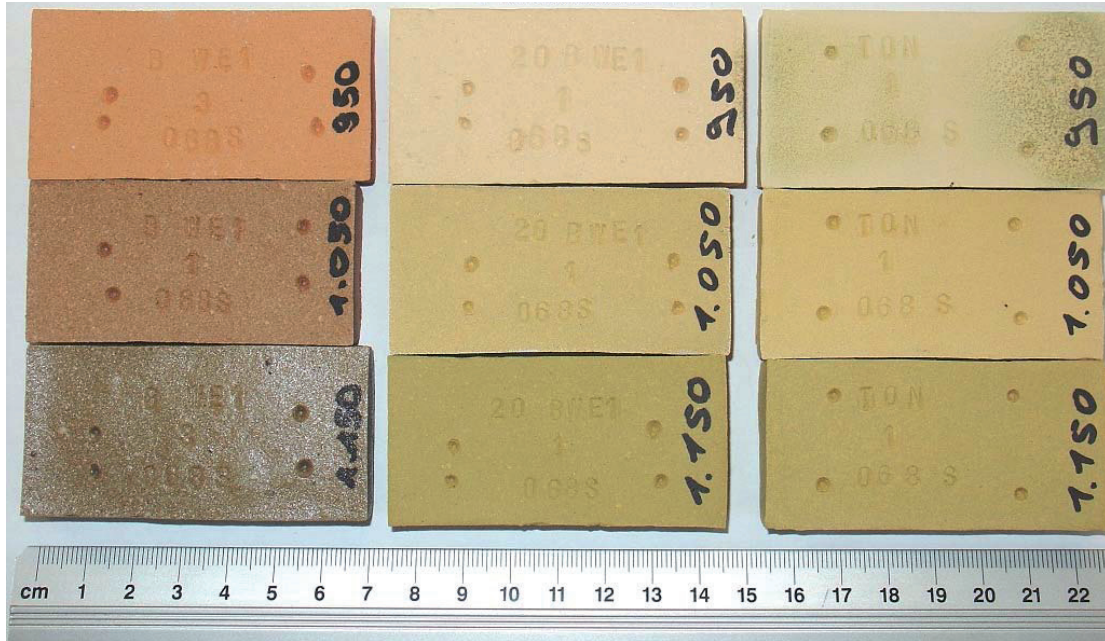
Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _P MA %	Plastizitätszahl I _P MA %	Konsistenzzahl I _C	Klassifizierung DIN 18 196
94,2	31,0	63,2	0,70	TA

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 10 B-WE1	20 % Probe 10 B-WE1 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	36,2	30,4	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	7,8	6,3	6,1
Brenschwindung Lineare BS (%)	950 °C	4,1	2,8	2,5
	1.050 °C	8,1	6,7	9,0
	1.150 °C	3,1	7,2	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	7,1	10,6	10,8
	1.050 °C	1,8	0,8	< 0,1
	1.150 °C	0,5	0,3	< 0,1
Scherbenrohddichte D (g/cm ³)	950 °C	1,92	1,96	1,98
	1.050 °C	2,21	2,27	2,37
	1.150 °C	1,66	2,27	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:		
Hintermauerziegel	++	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	++	
Verblendklinker	++	
Klinkerriemchen	++	
Pflasterklinker	+	
Dachziegel	+	
Bodenplatten/Fassadenplatten	+	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	
Zusammenfassende Bewertung: <p>Die Probe 10 ist durch eine günstige Korngrößenverteilung gekennzeichnet, die von der Charakteristik bereits der Korngrößenverteilung von Ziegelmassen entspricht. Der hohe Tonmineralanteil verleiht dem Prüfgut bei ausgeprägter Plastizität gute bis sehr gute Formgebungseigenschaften.</p> <p>Aufgrund der hohen linearen Trockenschwindung ist die Probe als <i>trocknungssensibel</i> zu bezeichnen. Der Brennprozess ist durch ein vergleichsweise enges aber beherrschbares Sinterintervall gekennzeichnet, dass sich mit zunehmender Temperatur in einem deutlichen und sprunghaften Abfall der Wasseraufnahme widerspiegelt. Klinkerqualität wird bereits unterhalb von 1.050 Grad C erreicht. Bei 1.150 Grad C ist das Material <i>überbrannt</i>, was an einer Abnahme der linearen Brennschwindung und Scherbenrohichte zu erkennen ist.</p> <p>Die Brennproben weisen je nach Temperatur <i>interessante</i> orangegelbe bis bräunliche und grünliche Brennfarben auf, was das Material auch von der Optik für den Einsatz im Bereich von speziellen Vormauersteinen und Verblendklinkern sowie Klinkerriemchen prädestiniert. Die Brennproben sind frei von störenden Bestandteilen und Brennfehlern. Alle Brennproben zeigen visuell eine gute Festigkeit und ausreichende Feuerstandsfestigkeit bis 1.150 Grad C.</p> <p>Insgesamt handelt es sich um ein überdurchschnittliches Material, das bei der Herstellung von zahlreichen grobkeramischen Produkten als halbfetter Zusatzton eingesetzt werden kann. Das frühe Einsetzen der Sinter- und Scherbenbildungsprozesse prädestiniert das Material auch für den Einsatz bei der Hintermauerziegelproduktion.</p>		

Probe 10
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Waschschlamm

Mischung

Ton



Probe 11

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
6,8	49,7	43,5

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
0,16	69,67	0,469	7,12	3,93	0,093	0,89	6,855	0,76	1,90	0,149	0,03

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektit	Chlorit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn- blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
15			50	10	5-10		10-15		1		5	< 1

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _p MA %	Plastizitätszahl I _p MA %	Konsistenzzahl I _c	Klassifizierung DIN 18 196
29,2	19,8	9,4	entfällt	TL

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 11 B-KR1	20 % Probe 11 B-KR1 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	21,8	24,6	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	4,1	5,7	6,1
Brennschwindung Lineare BS (%)	950 °C	-0,7	2,1	2,5
	1.050 °C	1,1	4,4	9,0
	1.150 °C	n.b.	5,0	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	20,7	10,4	10,8
	1.050 °C	16,2	4,5	< 0,1
	1.150 °C	0,6	2,9	< 0,1
Scherbenrohdichte D (g/cm ³)	950 °C	1,59	1,97	1,98
	1.050 °C	1,70	2,12	2,37
	1.150 °C	2,20	2,17	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:

Hintermauerziegel	o	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	o	
Verblendklinker	-	
Klinkerriemchen	-	
Pflasterklinker	-	
Dachziegel	-	
Bodenplatten/Fassadenplatten	-	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	

Zusammenfassende Bewertung:

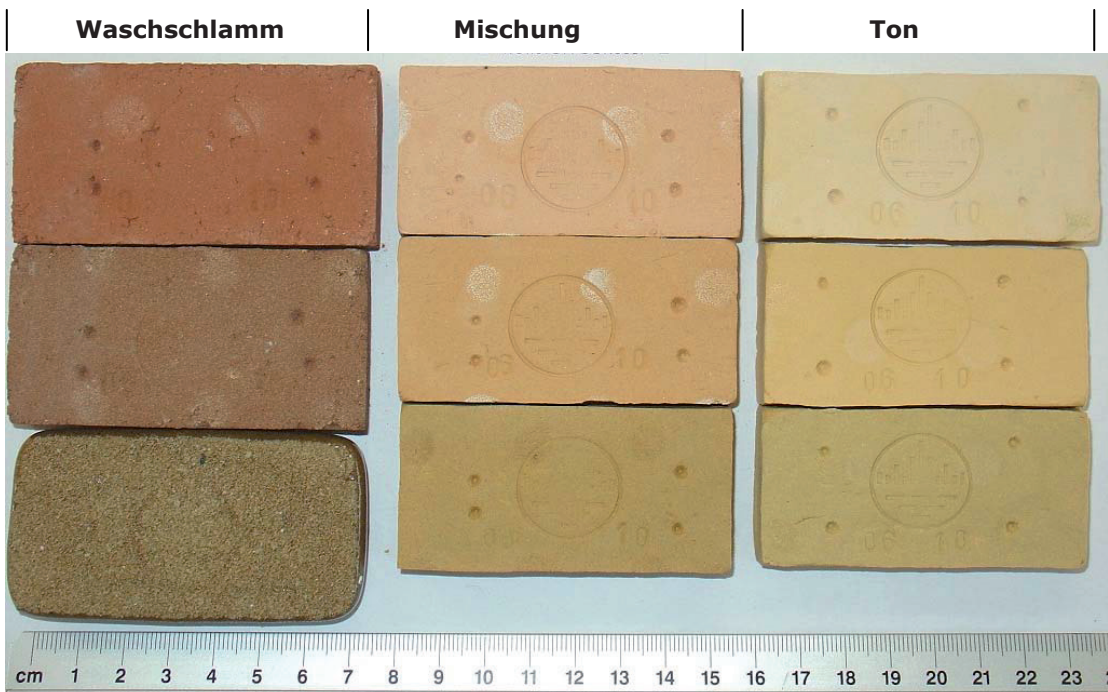
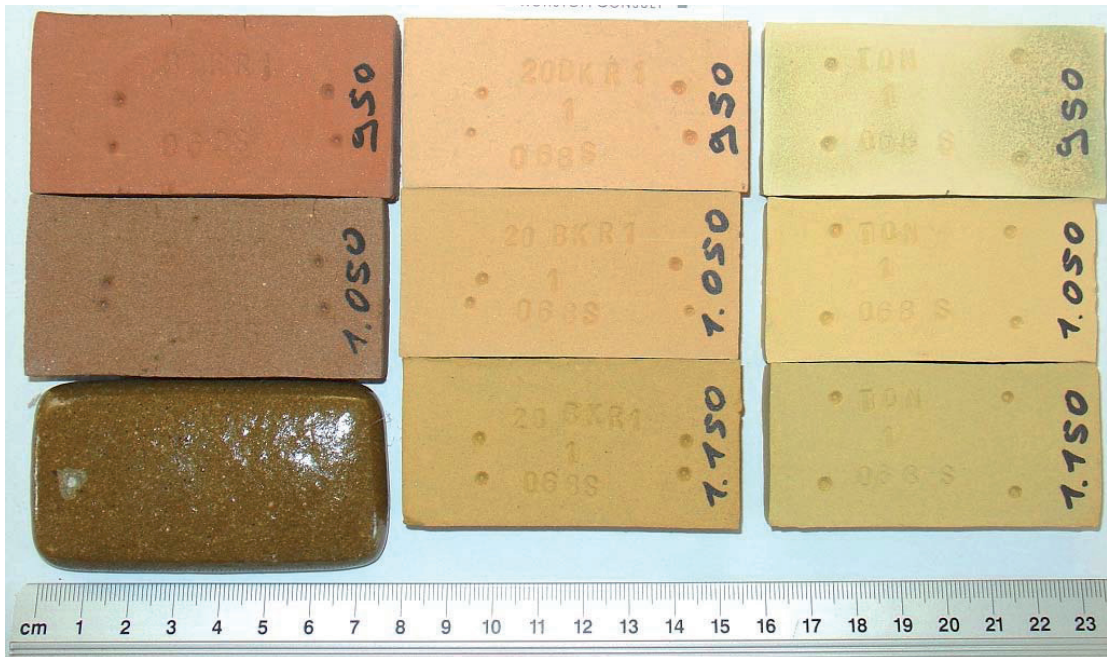
Die **Probe 11** ist durch eine ungünstige Korngrößenverteilung mit geringem Anteil $< 2 \mu\text{m}$ und hohem Gehalten an Schluff- und Sandkorn charakterisiert. Aufgrund der geringen Bildsamkeit neigt das Material bereits bei der Formgebung zur Bildung von Rissen und sogenannten *Drachenzähnen*.

Vorhandene Formgebungsrisse können bei der Trocknung noch verstärkt werden. Der Brennprozess ist durch ein sehr spätes und abruptes Einsetzen der Brennschwindung gekennzeichnet, dass bei 1.150 Grad C Brenntemperatur bereits mit starken Schmelzreaktionen verbunden ist und den Brennprozess nicht mehr beherrschbar macht. Aufgrund des hohen Schmelzanteils nimmt die Wasseraufnahme im Intervall von 1.050 bis 1.150 Grad C schlagartig auf ein Minimum ab.

Die Brennproben weisen im unteren Temperaturbereich rötliche bis braune Brennfärbungen auf. Bei 1.150 Grad C Brenntemperatur sorgt die starke Flussmittelwirkung der vorhandenen Erdalkalien für einen typischen Farbumschlag nach grüngelb. Die reinen Brennproben zeigen vereinzelt Kalkabplatzungen, die jedoch im Versatz nicht mehr festgestellt werden.

Insgesamt handelt es sich um ein problematisches Material, das allenfalls bei der Herstellung von nicht dichtgebrannten Produkten wie zum Beispiel Hinter- und Vormauerziegeln als **magernder Zusatzstoff** eingesetzt werden kann. Die beobachteten Kalkabplatzungen schränken die Eignung stark ein, so dass auch bei der Herstellung von Hinter- und Vormauerziegeln nur von einer *bedingten Eignung* ausgegangen werden kann.

Probe 11
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Probe 12

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
18,1	62,6	19,3

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
0,10	70,41	0,472	11,73	3,55	0,061	1,37	2,371	1,30	4,30	0,178	0,14

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektit	Chlo- rit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
15	5		40	20	10-15		5		1	< 5		< 1

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

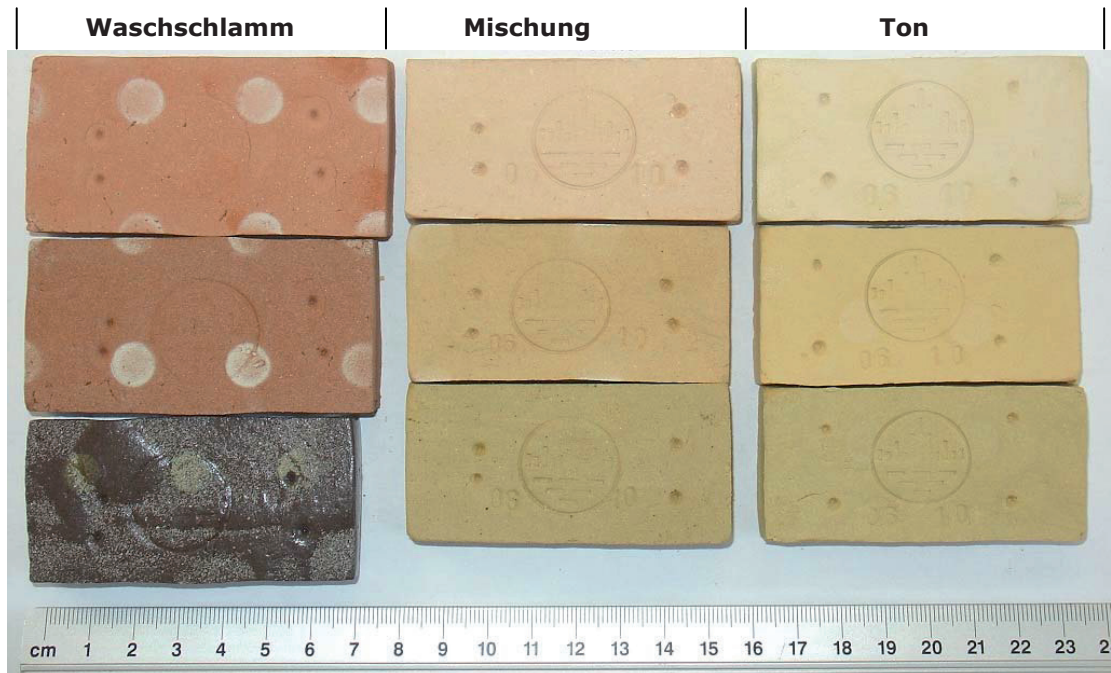
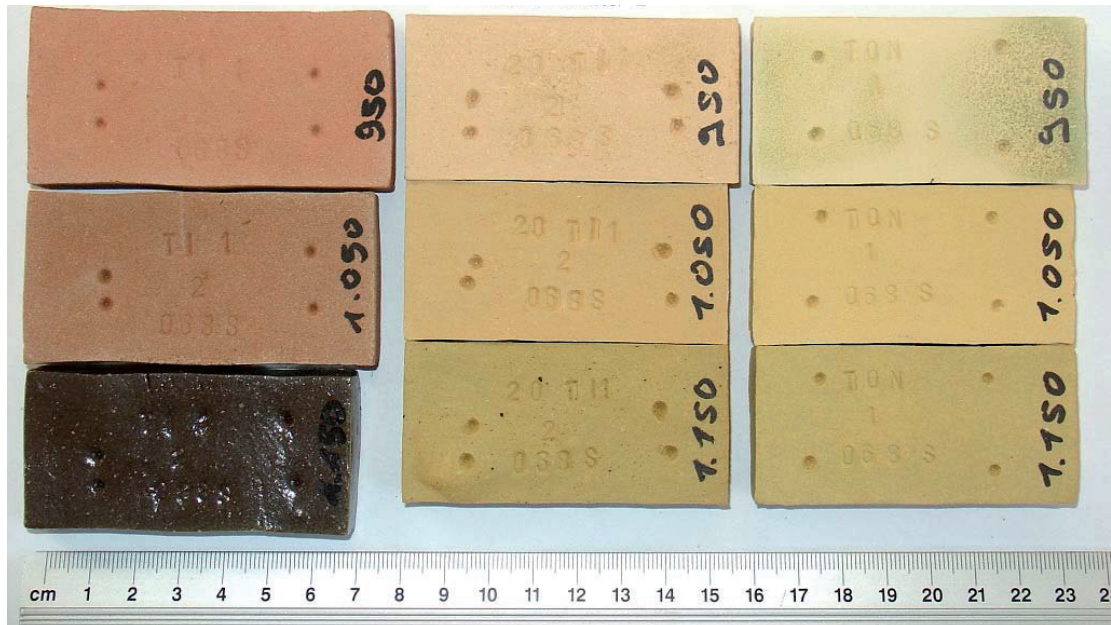
Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _P MA %	Plastizitätszahl I _P MA %	Konsistenzzahl I _C	Klassifizierung DIN 18 196
29,4	22,7	6,7	entfällt	UL

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 12 T-I1	20 % Probe 12 T-I1 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	23,2	27,2	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	2,2	5,7	6,1
Bremschwindung Lineare BS (%)	950 °C	-0,7	2,4	2,5
	1.050 °C	2,2	6,3	9,0
	1.150 °C	8,7	6,2	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	19,1	10,9	10,8
	1.050 °C	12,7	2,5	< 0,1
	1.150 °C	1,2	1,2	< 0,1
Scherbenrohddichte D (g/cm ³)	950 °C	1,63	1,95	1,98
	1.050 °C	1,80	2,23	2,37
	1.150 °C	2,17	2,16	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:		
Hintermauerziegel	+	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	+	
Verblendklinker	o	
Klinkerriemchen	o	
Pflasterklinker	o	
Dachziegel	-	
Bodenplatten/Fassadenplatten	-	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	
Zusammenfassende Bewertung: <p>Die Probe 12 ist durch eine noch akzeptable Korngrößenverteilung mit eher geringem Anteil < 2 µm und Dominanz im Schluffkornbereich charakterisiert. Wegen der geringen Bildsamkeit weist das Material deutliche Begrenzungen bei der Formgebung auf.</p> <p>Infolge der geringen Trockenschwindung ist das Material <i>trocknungsunempfindlich</i>. Der Brennprozess ist zunächst durch ein gut beherrschbares Sinterintervall gekennzeichnet, dass erst im Bereich oberhalb von 1.100 Grad C durch deutliche Schmelzphasenbildung begrenzt wird. Klinkerqualität wird bei rund 1.150 Grad C und damit im sensiblen Temperaturbereich erreicht.</p> <p>Die Brennproben weisen im unteren Temperaturbereich rötliche bis beige Brennfärbungen auf. Bei 1.150 Grad C Brenntemperatur sorgt vor allem die starke Flussmittelwirkung des vorhandenen Natriums für einen Farbumschlag in <i>interessante</i> (weil eher seltene) dunkle braungrünliche Brennfärbungen. Die reinen Brennproben sind frei von Abplatzungen und ähnlichen Beeinträchtigungen, weisen jedoch Ausblühungen auf, die im Versatz allerdings nicht mehr beobachtet werden.</p> <p>Insgesamt handelt es sich um ein Material, das bei nicht dichtgebrannten Produkten wie Hinter- und Vormauerziegeln als magerer Zusatzton eingesetzt werden kann. Aufgrund des hohen Gehaltes an Flussmitteln ergeben sich im Brennprozess bei Temperaturen oberhalb von 1.050 Grad C Produktionsrisiken durch Schmelzphasenbildung. Für die Herstellung dichtgebrannter Produkte wie Klinker kann daher nur eine bedingte Eignung attestiert werden. Zur eindeutigen Klärung werden ergänzende Untersuchungen empfohlen.</p>		

Probe 12
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Probe 13

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
18,2	40,2	41,6

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
0,04	67,63	0,829	18,36	2,80	0,033	0,52	0,277	0,21	1,62	0,086	0,01

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektit	Chlorit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn- blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
15		30-35	40	5	5				1		< 5	

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _p MA %	Plastizitätszahl I _p MA %	Konsistenzzahl I _c	Klassifizierung DIN 18 196
46,1	25,3	20,8	entfällt	TM

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 13 S-B1	20 % Probe 13 S-B1 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	30,4	30,1	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	6,4	5,8	6,1
Brennschwindung Lineare BS (%)	950 °C	0,7	2,0	2,5
	1.050 °C	3,8	6,8	9,0
	1.150 °C	5,8	7,1	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	17,0	13,2	10,8
	1.050 °C	10,6	3,4	< 0,1
	1.150 °C	5,9	1,0	< 0,1
Scherbenrohdichte D (g/cm ³)	950 °C	1,72	1,89	1,98
	1.050 °C	1,91	2,23	2,37
	1.150 °C	2,06	2,29	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:

Hintermauerziegel	+	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	+	
Verblendklinker	+	
Klinkerriemchen	+	
Pflasterklinker	++	
Dachziegel	+	
Bodenplatten/Fassadenplatten	+	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	

Zusammenfassende Bewertung:

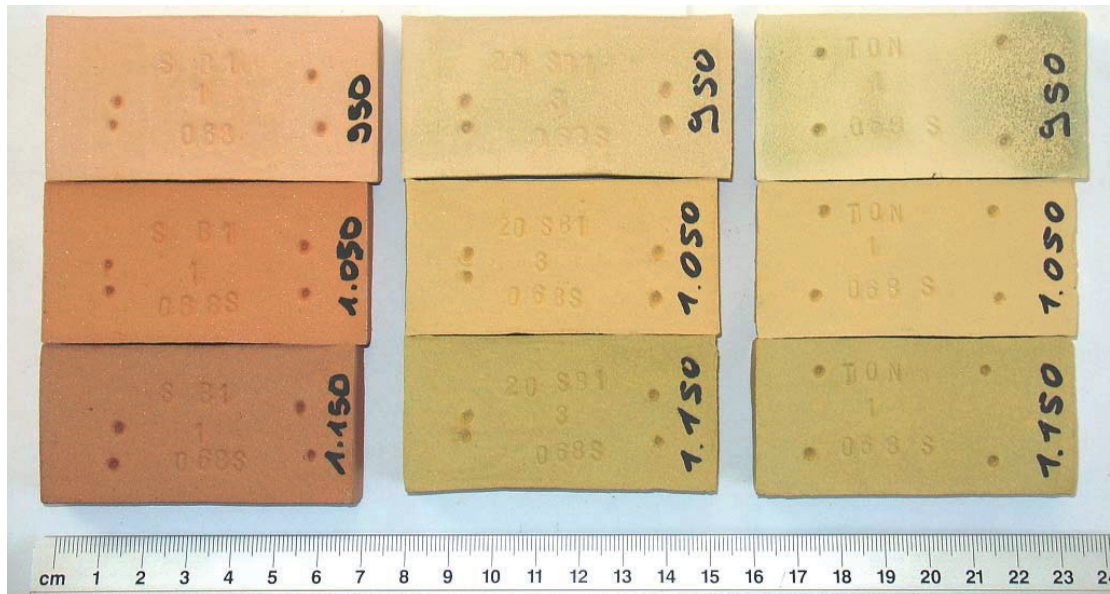
Die **Probe 13** ist durch eine Korngrößenverteilung mit eher geringem Anteil $< 2 \mu\text{m}$ und Dominanz im Schluff- und Sandkornbereich charakterisiert. Das Material weist bei mittlerer Plastizität und Bildsamkeit befriedigende Formgebungseigenschaften auf.

Bei der Trocknung ist von einer mittelhohen Sensibilität auszugehen. Der Brennprozess ist durch ein gut beherrschbares Sinterintervall gekennzeichnet, dass sich mit zunehmender Temperatur in einem deutlichen und kontinuierlichen Abfall der Wasseraufnahme widerspiegelt. Klinkerqualität wird erst relativ spät bei rund 1.150 Grad C, dafür aber bei hoher Feuerstandsfestigkeit erreicht.

Die Brennproben weisen je nach Temperatur gelbe, orangegelbe bis beige Brennfärbungen auf, was das Material auch von der Optik für den Einsatz im Bereich von Sichtmauerwerk und Dachziegeln aber auch für Boden- und Fassadenplatten qualifiziert. Die Brennproben sind frei von störenden Bestandteilen und Brennfehlern. Minimale Ausblühungen sind an einem Teil der Probe zu erkennen. Alle Brennproben zeigen visuell eine ausreichende Festigkeit und gute Feuerstandsfestigkeit bis 1.150 Grad C.

Insgesamt handelt es sich um ein Material, das bei der Herstellung von zahlreichen grobkeramischen Produkten als **halbfetter Zusatzton** eingesetzt werden kann. Im Versatz sorgt das Material für eine moderate Aufweitung des Sinterintervalls sowie für eine Verbesserung der Ausgasung und Feuerstandsfestigkeit. Von daher ist das Material für eine Optimierung von Pflasterklinkermassen prädestiniert.

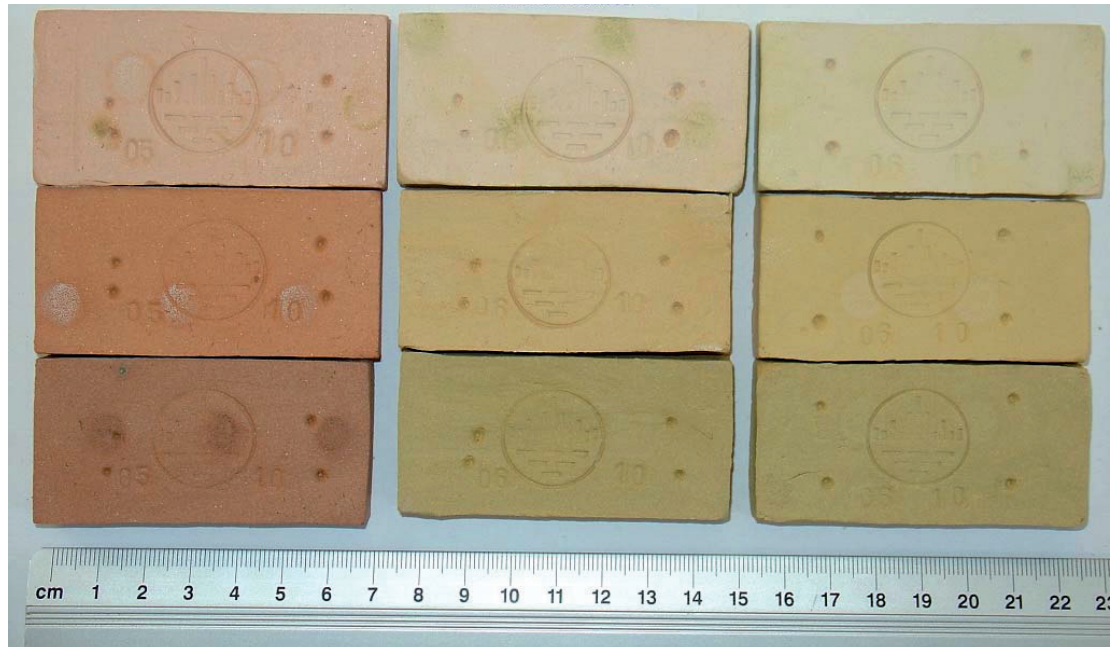
Probe 13
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Waschschlamm

Mischung

Ton



Probe 15

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
19,8	32,4	47,8

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
0,13	58,83	0,426	18,43	6,52	0,048	1,28	0,522	0,35	5,40	0,147	<0,01

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektit	Chlo- rit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
25	<5	20	15-20	20-25	5-10				1	2	<5	

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _P MA %	Plastizitätszahl I _P MA %	Konsistenzzahl I _C	Klassifizierung DIN 18 196
68,5	25,5	43,0	entfällt	TA

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 15 T-B1	20 % Probe 15 T-B1 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	37,6	30,0	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	9,7	5,8	6,1
Brenschwindung Lineare BS (%)	950 °C	5,2	3,0	2,5
	1.050 °C	10,5	7,5	9,0
	1.150 °C	7,1	7,5	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	9,8	11,0	10,8
	1.050 °C	< 0,1	0,2	< 0,1
	1.150 °C	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Scherbenrohddichte D (g/cm ³)	950 °C	1,99	1,97	1,98
	1.050 °C	2,38	2,35	2,37
	1.150 °C	1,72	2,36	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:		
Hintermauerziegel	++	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	++	
Verblendklinker	++	
Klinkerriemchen	++	
Pflasterklinker	+	
Dachziegel	++	
Bodenplatten/Fassadenplatten	++	
Steinzeugröhren	+	
Sonstige	entfällt	
Zusammenfassende Bewertung:		
<p>Für die Probe 15 ist eine Korngrößenverteilung ausgewiesen, die weder mit den Befunden der mineralogischen Analyse noch mit den Ergebnissen der keramischen Prüfungen korrespondiert. Danach wären deutlich höhere Anteile < 2 µm und entsprechend geringere Sandgehalte zu erwarten. Aufgrund der ausgeprägt plastischen Eigenschaften weist das Material gute Formgebungseigenschaften auf.</p> <p>Infolge der hohen linearen Trockenschwindung ist die Probe als <i>trocknungssensibel</i> zu bezeichnen. Der Brennprozess ist vor allem aufgrund des hohen Kaliumgehaltes durch ein frühes Einsetzen der Brennschwindung und durch eine entsprechend frühe und intensive Scherbenbildung charakterisiert. So wird Klinkerqualität schon deutlich unterhalb von 1.050 Grad C erreicht.</p> <p>Die Brennproben weisen je nach Temperatur <i>sehr schön intensive und klare</i> Brennfärbungen im Spektrum zwischen orangerot und dunkelrot auf, was das Material auch von den visuellen Eigenschaften für den Einsatz im Bereich von Sichtmauerwerk und Dachziegeln aber auch für Boden- und Fassadenplatten prädestiniert. Die Brennproben sind durchweg frei von störenden Bestandteilen und Brennfehlern. Alle Brennproben zeigen visuell eine gute Festigkeit. Bei 1.150 Grad C Brenntemperatur ist das Material bereits <i>überbrannt</i>, was sich in der Verringerung der Brennschwindung und Scherbenrohddichte widerspiegelt.</p> <p>Insgesamt handelt es sich um ein überdurchschnittliches Material, das bei der Herstellung von zahlreichen grobkeramischen Produkten als halbfetter bis fetter Zusatzstoff eingesetzt werden kann. Der hohe Tonmineralanteil verursacht durch Entgasungsreaktionen naturgemäß Begrenzungen, die im Trocknungs- und Brennprozess zu berücksichtigen sind.</p>		

Probe 15
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Waschschlamm

Mischung

Ton



Probe 17

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
23,6	67,1	9,3

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
0,85	54,00	0,655	11,16	7,42	0,450	1,55	8,193	0,74	2,07	0,548	0,07

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektit	Chlorit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn- blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
15-20	5	5	25-30	10	10		15		<1		5-10	1

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _p MA %	Plastizitätszahl I _p MA %	Konsistenzzahl I _c	Klassifizierung DIN 18 196
50,3	33,1	17,2	entfällt	OT

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 17 S-BR1	20 % Probe 17 S-BR1 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	36,5	29,9	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	5,5	6,5	6,1
Brennschwindung Lineare BS (%)	950 °C	0,7	3,3	2,5
	1.050 °C	7,7	6,3	9,0
	1.150 °C	n.b.	6,6	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	28,0	10,6	10,8
	1.050 °C	11,1	2,7	< 0,1
	1.150 °C	0,1	0,6	< 0,1
Scherbenrohdichte D (g/cm ³)	950 °C	1,48	1,94	1,98
	1.050 °C	1,91	2,16	2,37
	1.150 °C	1,62	2,18	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:

Hintermauerziegel	++	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	+	
Verblendklinker	o	
Klinkerriemchen	o	
Pflasterklinker	-	
Dachziegel	-	
Bodenplatten/Fassadenplatten	-	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	

Zusammenfassende Bewertung:

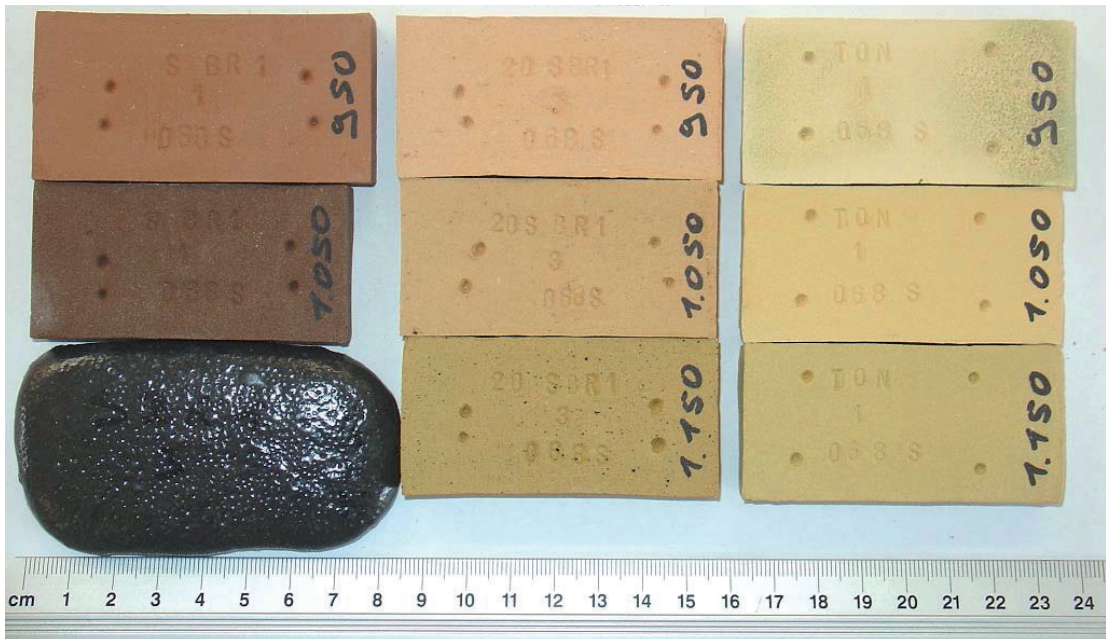
Die **Probe 17** ist durch eine Korngrößenverteilung mit deutlichem Anteil $< 2 \mu\text{m}$ und Dominanz im Schluffkornbereich charakterisiert. Das Material weist bei mittlerer bis ausgeprägter Bildsamkeit gute Formgebungseigenschaften auf.

Aus der mittelhohen Trockenschwindung ergeben sich keine Hinweise auf eine erhöhte Trocknungssensibilität bzw. Rissanfälligkeit. Der Brennprozess ist dagegen durch ein extrem enges und schwer beherrschbares Sinterintervall gekennzeichnet, das spätestens im Bereich von 1.150 Grad C durch extreme Schmelzphasenbildung kollabiert. Klinkerqualität wird im Intervall zwischen 1.050 und 1.150 Grad C und damit im hochsensiblen Temperaturbereich erreicht.

Die Brennproben weisen im unteren Temperaturbereich rotbraune und dunkelbraune Brennfärbungen mit signifikantem Farbumschlag auf. Bei 1.150 Grad C Brenntemperatur sorgt die starke Flussmittelwirkung der vorhandenen Alkalien und Erdalkalien in Kombination mit dem hohen Mangananteil für einen weiteren Farbumschlag in *interessante* (weil eher seltene) schwarzbraune Brennfärbungen. Die Brennproben sind frei von Abplatzungen und Ausblühungen.

Insgesamt handelt es sich um ein interessantes aber technisch schwer beherrschbares Material, das bei der Herstellung von nicht dichtgebrannten Produkten wie zum Beispiel Hinter- und Vormauerziegeln als **halbfetter Zusatzton** eingesetzt werden kann. Aufgrund des hohen Gehaltes an diversen Flussmitteln ergeben sich bei Temperaturen oberhalb von 1.050 Grad C deutliche Produktionsrisiken durch starke Schmelzphasenbildung. Für die Herstellung dichtgebrannter Produkte wie Klinker kann daher nur eine bedingte Eignung attestiert werden. Zur eindeutigen Klärung werden ergänzende Untersuchungen empfohlen.

Probe 17
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Waschschlamm

Mischung

Ton



Probe 19

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
21,8	46,1	32,1

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
<0,01	84,55	0,516	7,92	1,58	0,034	0,28	0,200	0,12	1,61	0,064	<0,01

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektit	Chlo- rit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
10-15		5-10	70-75	5					1		< 5	

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

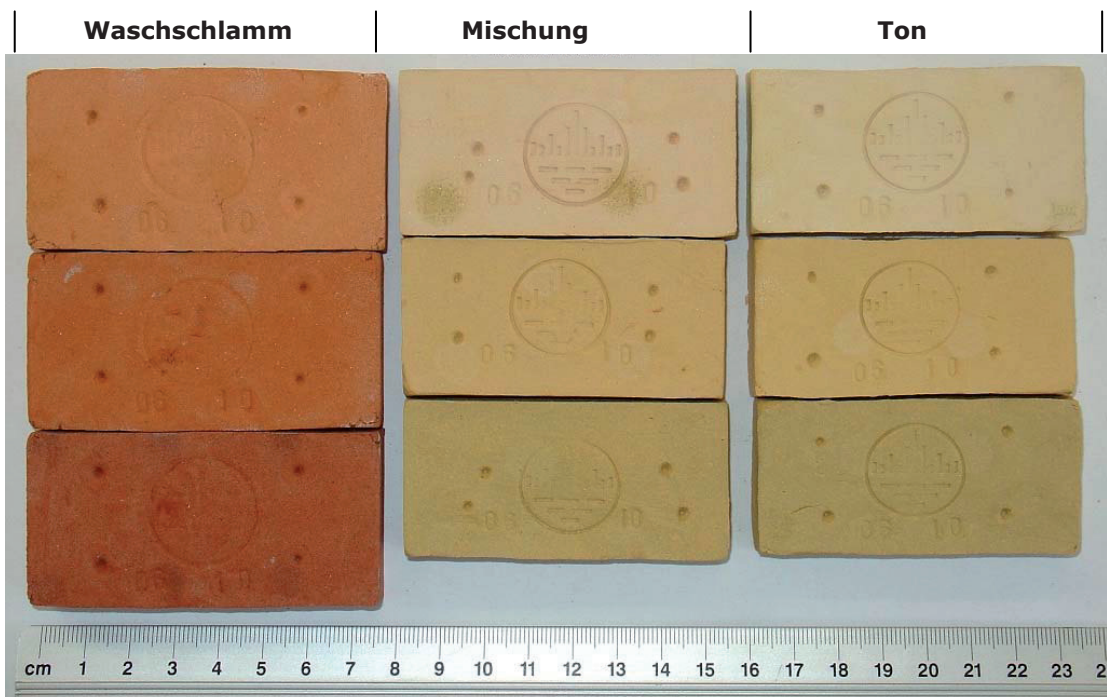
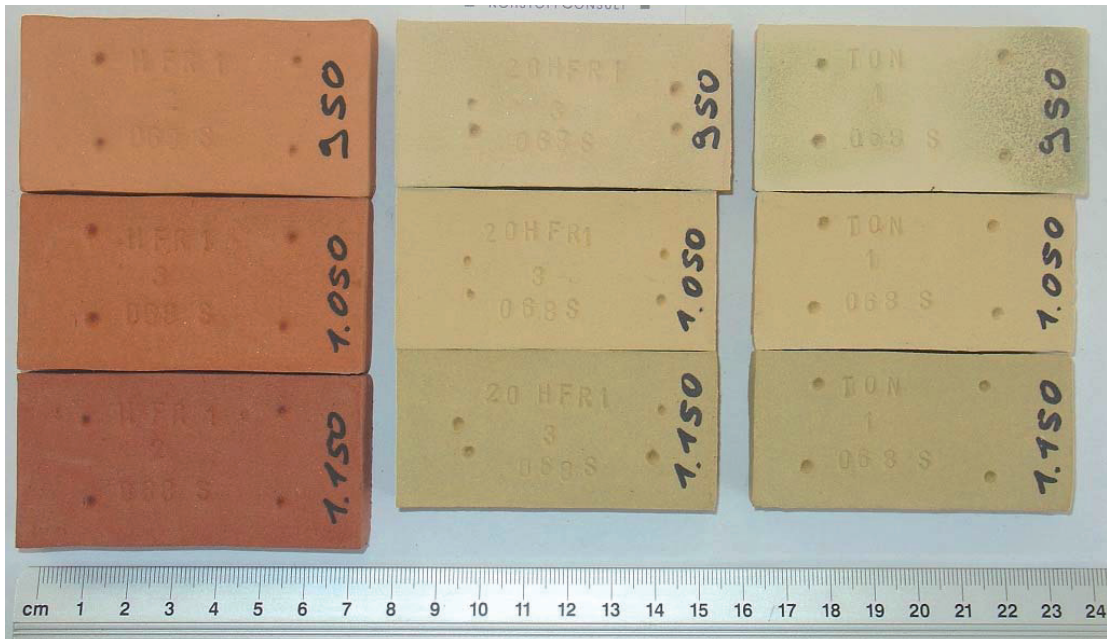
Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _P MA %	Plastizitätszahl I _P MA %	Konsistenzzahl I _C	Klassifizierung DIN 18 196
27,6	21,9	5,7	entfällt	UL

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 19 H-FR1	20 % Probe 19 H-FR1 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	21,2	26,2	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	3,5	5,8	6,1
Brenschwindung Lineare BS (%)	950 °C	-0,5	2,0	2,5
	1.050 °C	0,1	6,2	9,0
	1.150 °C	1,2	6,5	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	15,1	12,0	10,8
	1.050 °C	13,2	3,5	< 0,1
	1.150 °C	10,3	1,9	< 0,1
Scherbenrohddichte D (g/cm ³)	950 °C	1,73	1,94	1,98
	1.050 °C	1,76	2,22	2,37
	1.150 °C	1,84	2,28	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:		
Hintermauerziegel	+	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	+	
Verblendklinker	+	
Klinkerriemchen	+	
Pflasterklinker	+	
Dachziegel	o	
Bodenplatten/Fassadenplatten	o	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	
Zusammenfassende Bewertung:		
<p>Die Probe 19 ist durch eine Korngrößenverteilung mit eher geringem Anteil $< 2 \mu\text{m}$ und Dominanz im Schluff- und Sandkornbereich charakterisiert. Das Material weist aufgrund der geringen Bildsamkeit Begrenzungen bei der Formgebung auf.</p> <p>Bei der Trocknung ist von einer mittelhohen Sensibilität auszugehen. Der Brennprozess ist durch ein breites und sehr gut beherrschbares Sinterintervall gekennzeichnet. Das späte Einsetzen von Brennschwindung und Scherbenbildung sorgen dafür, dass Klinkerqualität an den reinen Proben bis zu der hier geprüften Maximaltemperatur von 1.150 Grad C nicht erreicht wird. Infolge des hohen Anteils an freiem Quarz ist von einer erhöhten Aufheizsensibilität und Kühlrissempfindlichkeit auszugehen.</p> <p>Die Brennproben weisen je nach Temperatur orangerote bis dunkelrote Brennfärbungen auf, was das Material für den Einsatz im Bereich von Vormauerziegeln, Klinkern und Pflasterklinkern qualifiziert. Dagegen dürfte der hohe Quarzgehalt den Einsatz bei Produkten mit möglichst glatten Oberflächen wie Dachziegel deutlich begrenzen. Alle Brennproben sind frei von störenden Bestandteilen und Brennfehlern. Alle Brennproben zeigen visuell eine sehr gute Feuerstandsfestigkeit bis 1.150 Grad C.</p> <p>Insgesamt handelt es sich um ein Material, das bei der Herstellung von grobkeramischen Produkten als magerer Zusatzton eingesetzt werden kann. Im Versatz sorgt das Material für eine Aufweitung des Sinterintervalls sowie für eine Verbesserung der Ausgasung und Feuerstandsfestigkeit. Von daher ist das Material auch für eine Optimierung von Pflasterklinkermassen geeignet.</p>		

Probe 19
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Probe 20

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
56,8	33,8	9,4

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
<0,01	64,23	0,279	21,70	3,31	0,039	0,19	0,274	0,02	0,36	0,173	0,02

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektit	Chlorit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn- blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
		55	40								5	

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _p MA %	Plastizitätszahl I _p MA %	Konsistenzzahl I _c	Klassifizierung DIN 18 196
40,1	24,4	15,7	entfällt	TM

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 20 N-BO1	20 % Probe 20 N-BO1 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	29,0	29,9	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	3,8	5,7	6,1
Brennschwindung Lineare BS (%)	950 °C	1,3	2,0	2,5
	1.050 °C	2,8	6,8	9,0
	1.150 °C	4,7	7,9	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	22,4	13,9	10,8
	1.050 °C	19,2	3,3	< 0,1
	1.150 °C	15,4	0,5	< 0,1
Scherbenrohdichte D (g/cm³)	950 °C	1,64	1,89	1,98
	1.050 °C	1,74	2,27	2,37
	1.150 °C	1,86	2,34	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:

Hintermauerziegel	++	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	++	
Verblendklinker	+	
Klinkerriemchen	+	
Pflasterklinker	+	
Dachziegel	+	
Bodenplatten/Fassadenplatten	+	
Steinzeugröhren	o	
Sonstige	entfällt	

Zusammenfassende Bewertung:

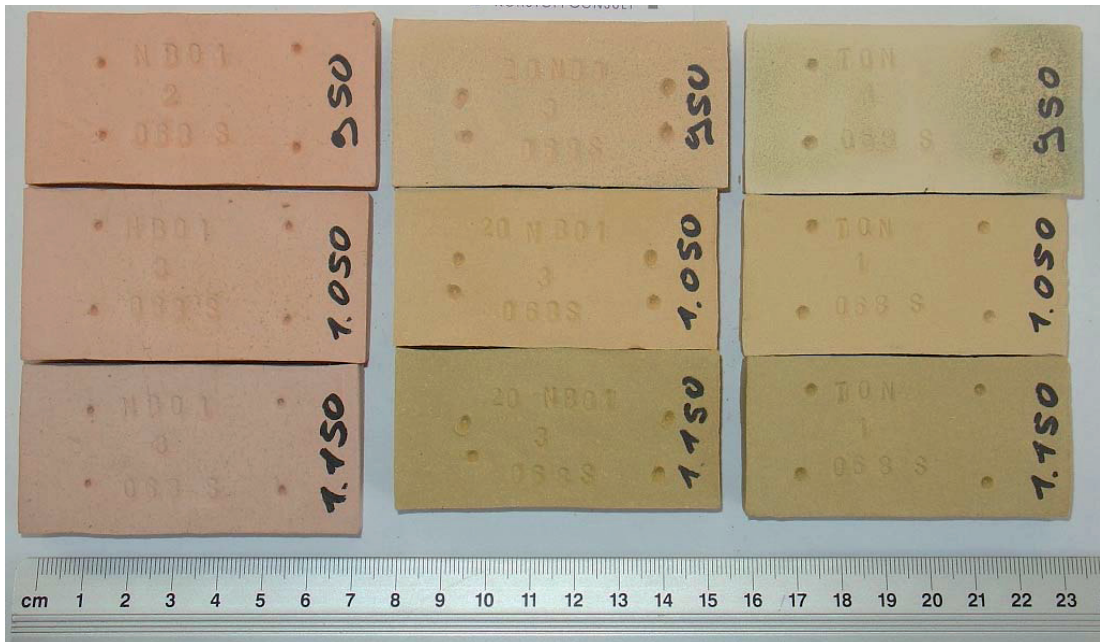
Die **Probe 20** ist durch ein breites Kornspektrum mit signifikantem Anteil $< 2 \mu\text{m}$ bis hin in den Sandkornbereich charakterisiert. Das Material weist bei guter Bildsamkeit erwartungsgemäß gute Formgebungseigenschaften auf.

Bei der Trocknung ist von einer mittelhohen Sensibilität auszugehen. Der Brennprozess ist durch ein breites und sehr gut beherrschbares Sinterintervall gekennzeichnet. Das späte Einsetzen von Brennschwindung und Scherbenbildung sorgen dafür, dass Klinkerqualität an den reinen Proben bis zu der hier geprüften Maximaltemperatur von 1.150 Grad C nicht erreicht wird. Infolge des deutlichen Anteils an freiem Quarz kann eine erhöhte Aufheizsensibilität und Kühlrissempfindlichkeit nicht ausgeschlossen werden.

Die Brennproben weisen cremeorange bis helle Brennfärbungen auf, wobei die temperaturbedingte Brennfärbung im gewählten Intervall von 950 – 1.150 Grad C nur gering ist. Alle Brennproben sind visuell durch gute Scherbenfestigkeit und hohe Feuerstandsfestigkeit gekennzeichnet. Drei von insgesamt 18 Brennproben weisen Kalkabsprengungen auf, die nach den durchgeführten chemisch-mineralogischen Analysen jedoch nicht rohstoffbedingt sein können (Nachprüfung zwingend erforderlich).

Insgesamt handelt es sich um ein Material, das für die Herstellung von grobkeramischen Produkten als **halbfetter Zusatzstoff** geeignet ist. Im Versatz sorgt das Material für eine Aufweitung des Sinterintervalls sowie für eine Verbesserung der Ausgasung und Feuerstandsfestigkeit. Von daher ist das Material auch für eine Optimierung von Pflasterklinkermassen geeignet. Bei der Herstellung von Steinzeugröhren könnte sich dagegen der deutliche Anteil an freiem Quarz als Begrenzung erweisen. Die spezielle Eignung wäre bei Bedarf durch gesonderte Untersuchungen abzu prüfen.

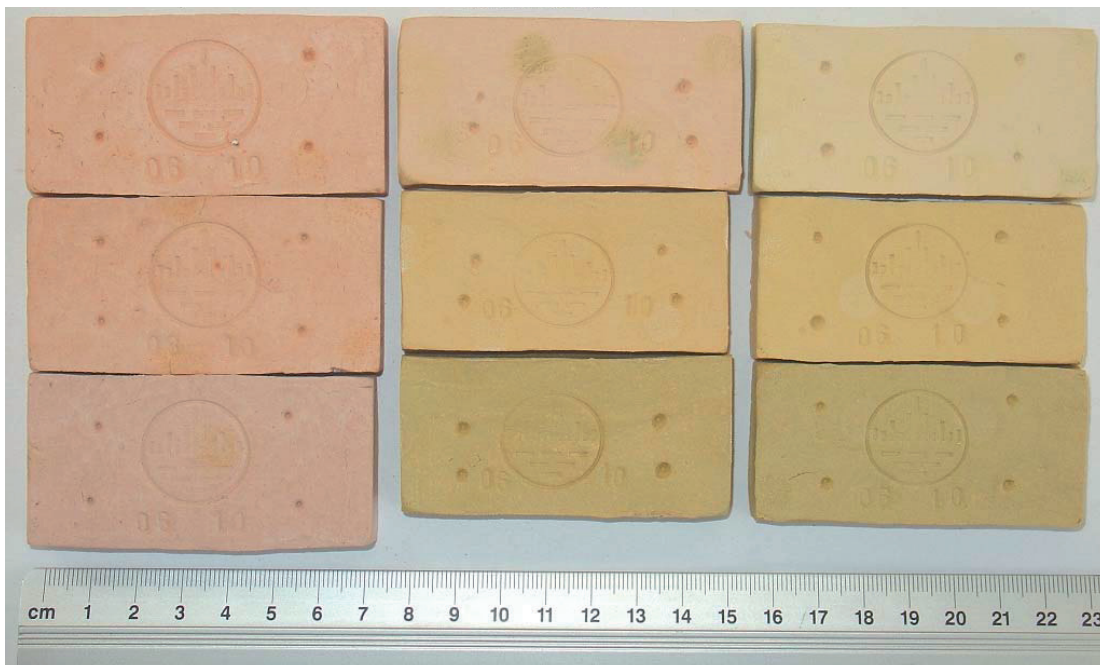
Probe 20
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Waschschlamm

Mischung

Ton



Probe 24

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
3,3	10,8	85,9

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
<0,01	77,21	0,283	11,59	0,97	0,021	0,60	0,195	0,47	5,79	0,081	<0,01

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektite	Chlo- rit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
15			45	30	5				1		< 5	

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

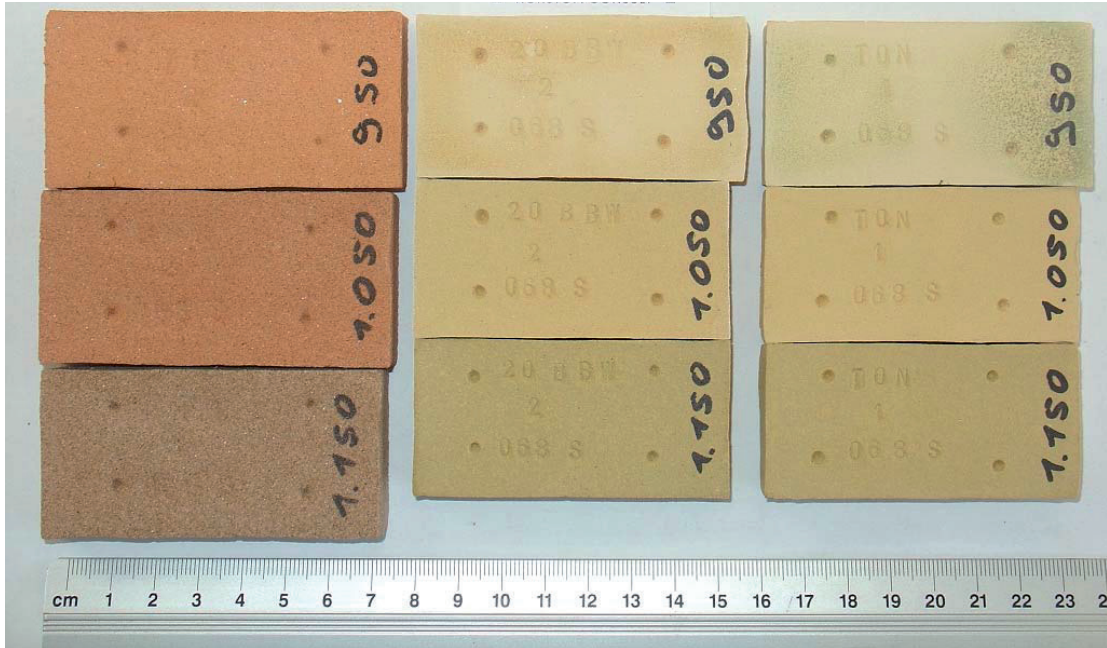
Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _P MA %	Plastizitätszahl I _P MA %	Konsistenzzahl I _C	Klassifizierung DIN 18 196
27,2	25,8	1,4	entfällt	SU

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 24 B-BW	20 % Probe 24 B-BW 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	21,5	26,4	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	1,4	5,8	6,1
Brennschwindung Lineare BS (%)	950 °C	-0,7	2,0	2,5
	1.050 °C	0,4	6,3	9,0
	1.150 °C	3,8	6,6	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	16,0	10,9	10,8
	1.050 °C	15,0	2,7	< 0,1
	1.150 °C	8,6	1,0	< 0,1
Scherbenrohddichte D (g/cm ³)	950 °C	1,61	1,93	1,98
	1.050 °C	1,68	2,23	2,37
	1.150 °C	1,88	2,26	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:		
Hintermauerziegel	+	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	+	
Verblendklinker	+	
Klinkerriemchen	+	
Pflasterklinker	+	
Dachziegel	o	
Bodenplatten/Fassadenplatten	o	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	
Zusammenfassende Bewertung:		
<p>Die Probe 24 ist nach dem Befund der Korngrößenanalyse als <i>schwach schluffiger Sand</i> zu klassifizieren. Das Material weist erwartungsgemäß nur eine sehr geringe Bildsamkeit und ungenügende Eigenschaften bei der plastischen Formgebung auf.</p> <p>Aufgrund des hohen Sandanteils mit entsprechend geringer Trockenschwindung ist die Probe als <i>trocknungsunempfindlich</i> zu klassifizieren. Der Brennprozess ist durch eine nur sehr geringe Sinteraktivität gekennzeichnet, was sich schon visuell in der ungenügenden Festigkeit der gebrannten Scherben widerspiegelt. Durch Spezialuntersuchungen wäre zu klären, warum sich der signifikante Gehalt an Kalifeldspat nicht, wie eigentlich zu erwarten, im Sinterverhalten bemerkbar macht. Infolge des deutlichen Anteils an freiem Quarz kann eine erhöhte Aufheizsensibilität und Kühlrissempfindlichkeit nicht ausgeschlossen werden.</p> <p>Die Brennproben weisen je nach Temperatur orangerote bis beigebraune Brennfärbungen auf. Sie sind frei von störenden Bestandteilen und Brennfehlern. Alle Brennproben zeigen visuell eine sehr gute Feuerstandsfestigkeit bis 1.150 Grad C.</p> <p>Insgesamt handelt es sich um ein Material, das bei der Herstellung von grobkeramischen Produkten als Abmagerungskomponente eingesetzt werden kann. Im Versatz sorgt das Material für eine Verbesserung der Trocknungseigenschaften sowie für eine Verbesserung der Ausgasung und Feuerstandsfestigkeit. Als variable Korrekturkomponente können hohe Schwindungsmaße der Masse gesteuert bzw. gezielt herabgesetzt werden.</p>		

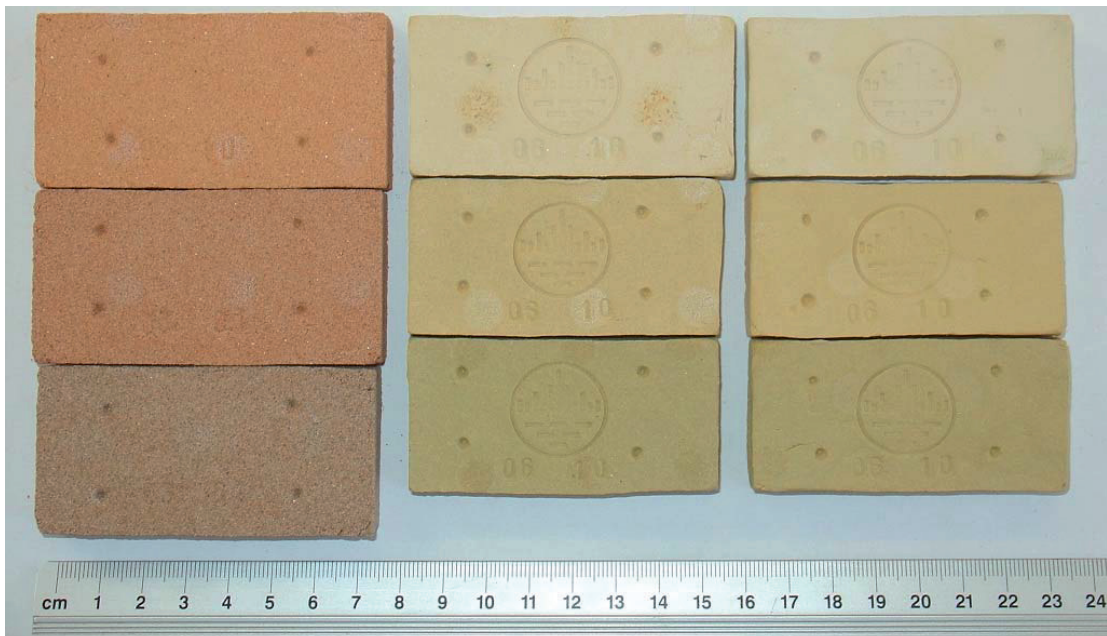
Probe 24
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Waschschlamm

Mischung

Ton



Probe 28

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
14,9	51,9	33,2

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
<0,01	79,36	0,694	9,04	2,84	0,047	0,82	0,647	0,93	2,08	0,102	<0,01

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektite	Chlorit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn- blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
15-20	< 5	<< 5	60-65	5	10				1		< 5	

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _P MA %	Plastizitätszahl I _P MA %	Konsistenzzahl I _c	Klassifizierung DIN 18 196
23,6	17,1	6,5	entfällt	TL

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 28 H-NL	20 % Probe 28 H-NL 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	16,8	25,9	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	2,7	5,7	6,1
Brennschwindung Lineare BS (%)	950 °C	-0,6	2,3	2,5
	1.050 °C	1,0	6,1	9,0
	1.150 °C	4,4	6,5	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	12,0	10,7	10,8
	1.050 °C	9,0	2,8	< 0,1
	1.150 °C	2,4	1,4	< 0,1
Scherbenrohddichte D (g/cm ³)	950 °C	1,83	1,99	1,98
	1.050 °C	1,93	2,28	2,37
	1.150 °C	2,15	2,31	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:

Hintermauerziegel	+	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	+	
Verblendklinker	+	
Klinkerriemchen	+	
Pflasterklinker	+	
Dachziegel	o	
Bodenplatten/Fassadenplatten	o	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	

Zusammenfassende Bewertung:

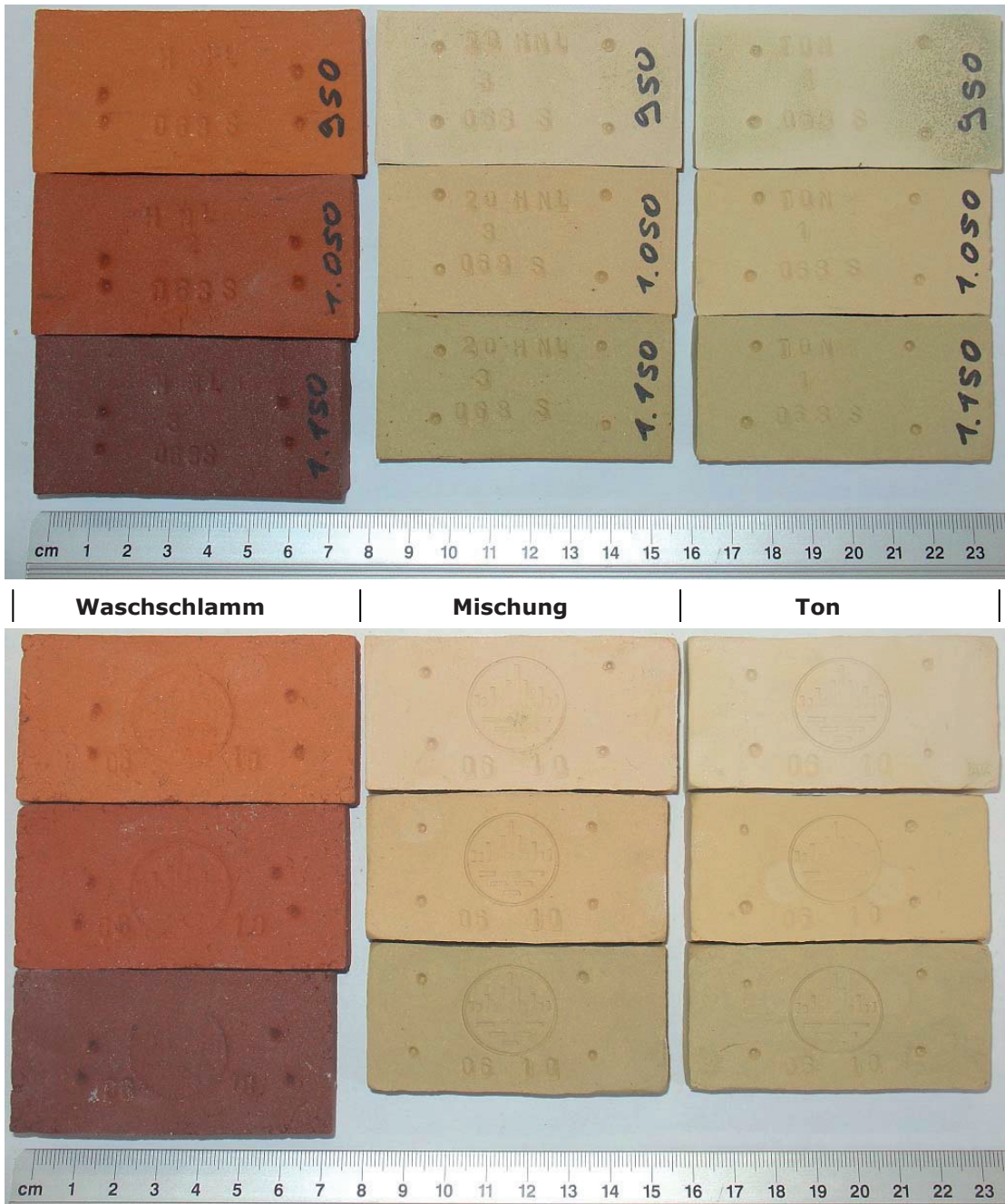
Die **Probe 28** ist durch eine Korngrößenverteilung mit eher geringem Anteil $< 2 \mu\text{m}$ und Dominanz im Schluff- und Sandkornbereich charakterisiert. Das Material weist aufgrund der geringen Bildsamkeit Begrenzungen bei der Formgebung auf.

Bei der Trocknung ist von einer mittelhohen Sensibilität auszugehen. Der Brennprozess ist durch ein breites und sehr gut beherrschbares Sinterintervall gekennzeichnet. Das späte Einsetzen von Brennschwindung und Scherbenbildung sorgen dafür, dass Klinkerqualität bei den *reinen Proben* und der hier geprüften Maximaltemperatur von 1.150 Grad C nicht erreicht wird. Infolge des hohen Anteils an freiem Quarz kann eine erhöhte Aufheizsensibilität und Kühlrissempfindlichkeit nicht ausgeschlossen werden.

Die Brennproben weisen je nach Temperatur klare orangerote bis dunkelrote Brennfärbungen auf, was das Material auch von der Optik für den Einsatz im Bereich von Vormauerziegeln, Klinkern und Pflasterklinkern qualifiziert. Dagegen dürfte der hohe Quarzgehalt den Einsatz bei Produkten mit möglichst glatten Oberflächen wie Dachziegel deutlich begrenzen. Alle Brennproben sind frei von störenden Bestandteilen und Brennfehlern. Alle Brennproben zeigen visuell eine sehr gute Feuerstandsfestigkeit bis 1.150 Grad C.

Insgesamt handelt es sich um ein Material, das bei der Herstellung von grobkeramischen Produkten als **magerer Zusatzton** eingesetzt werden kann. Im Versatz sorgt das Material für eine Aufweitung des Sinterintervalls sowie für eine Verbesserung der Ausgasung und Feuerstandsfestigkeit. Von daher ist das Material auch für eine Optimierung von Pflasterklinkermassen zu empfehlen.

Probe 28
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Probe 32

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
14,0	33,8	52,2

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
<0,01	73,50	0,612	9,16	4,14	0,189	1,38	2,416	0,82	2,38	0,168	0,02

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektit	Chlorit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn- blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
15	< 5	5	55	5-10	5		< 5	< 5	1		5	

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

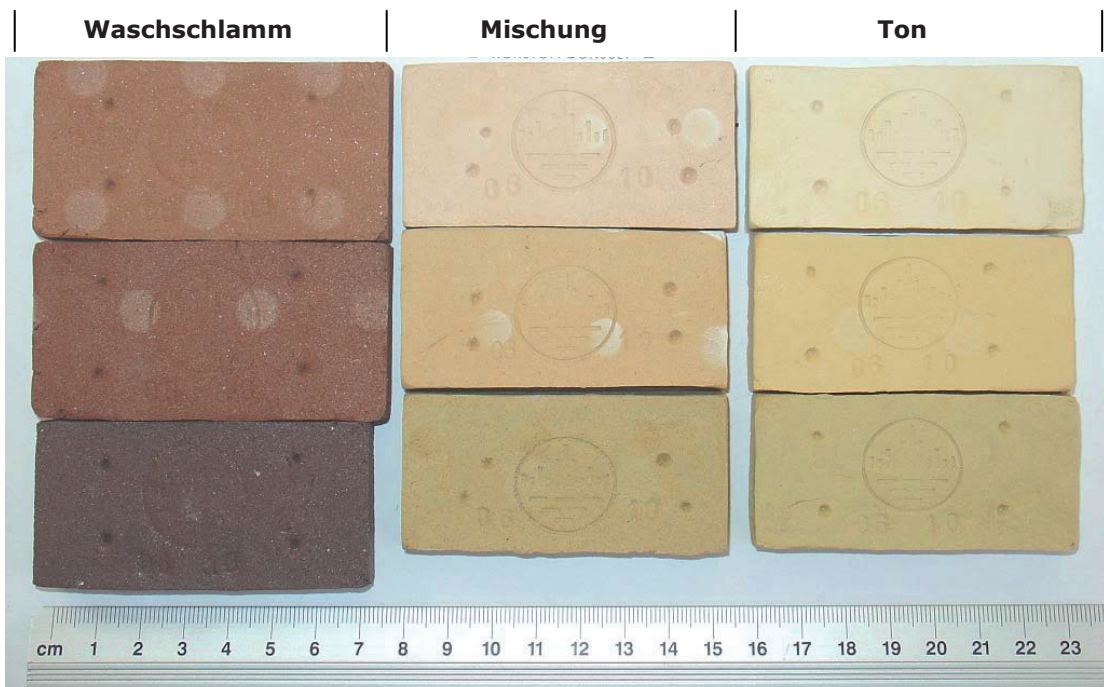
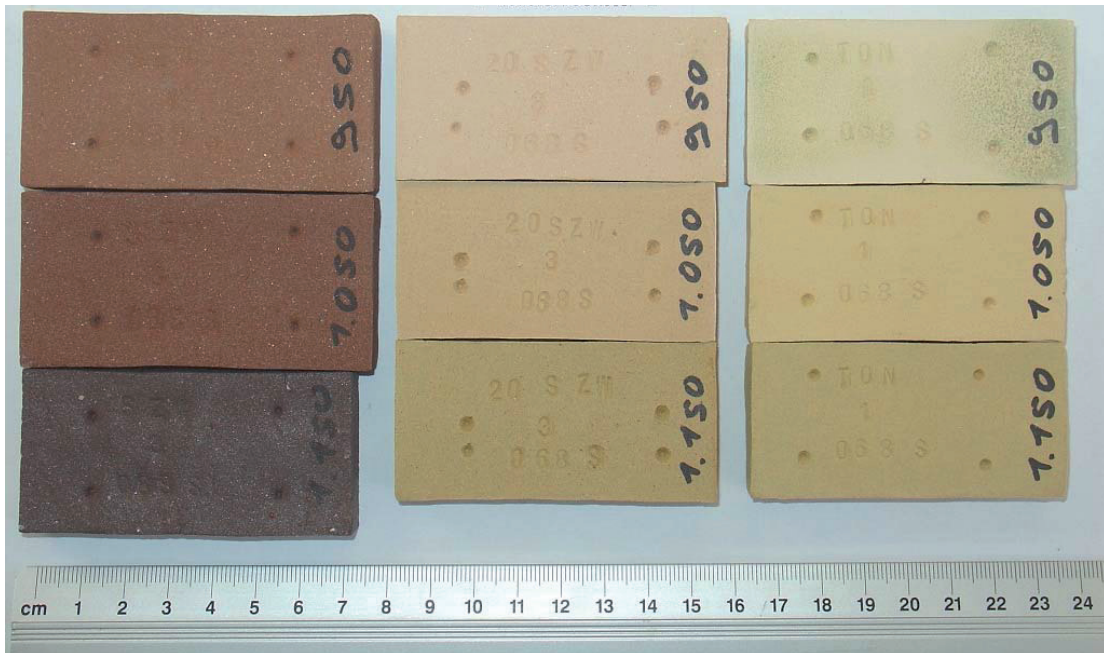
Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _p MA %	Plastizitätszahl I _p MA %	Konsistenzzahl I _c	Klassifizierung DIN 18 196
24,3	19,5	4,8	entfällt	UL

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 32 S-ZW	20 % Probe 32 S-ZW 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	17,9	26,0	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	2,4	5,8	6,1
Brenschwindung Lineare BS (%)	950 °C	-0,7	2,0	2,5
	1.050 °C	0,2	5,1	9,0
	1.150 °C	6,3	5,8	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	14,4	11,2	10,8
	1.050 °C	12,3	3,6	< 0,1
	1.150 °C	1,2	2,2	< 0,1
Scherbenrohddichte D (g/cm ³)	950 °C	1,77	1,96	1,98
	1.050 °C	1,82	2,19	2,37
	1.150 °C	2,22	2,23	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:		
Hintermauerziegel	+	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	+	
Verblendklinker	+	
Klinkerriemchen	+	
Pflasterklinker	+	
Dachziegel	o	
Bodenplatten/Fassadenplatten	o	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	
<p>Zusammenfassende Bewertung:</p> <p>Die Probe 32 ist durch eine Korngrößenverteilung mit eher geringem Anteil $< 2 \mu\text{m}$ und Dominanz im Schluff- und Sandkornbereich charakterisiert. Das Material weist aufgrund der geringen Bildsamkeit Begrenzungen bei der Formgebung auf.</p> <p>Bei der Trocknung ist von einer mittelhohen Sensibilität auszugehen. Der Brennprozess ist durch ein spätes Einsetzen von Brennschwindung und Scherbenbildung gekennzeichnet. Erst im Intervall zwischen 1.050 und 1.150 Grad C wird durch einen Mix aus alkalischen und erdalkalischen Flussmitteln ein schlagartiger Anstieg der Brennschwindung, verbunden mit einer abrupten Reduzierung der Wasseraufnahme registriert. Infolge des hohen Anteils an freiem Quarz kann eine erhöhte Aufheizsensibilität und Kühlrissempfindlichkeit nicht ausgeschlossen werden.</p> <p>Die Brennproben weisen je nach Temperatur orangerote bis dunkelbraune Brennfärbungen auf, was das Material auch von der Optik für den Einsatz im Bereich von Vormauerziegeln, Klinkern und Pflasterklinkern qualifiziert. Dagegen dürfte der hohe Quarzgehalt den Einsatz bei Produkten mit glatten Oberflächen wie Dachziegel deutlich begrenzen. Die Brennproben sind abgesehen von geringen Trockenausblühungen frei von störenden Bestandteilen und Brennfehlern. Alle Brennproben zeigen visuell eine sehr gute Feuerstandsfestigkeit bis 1.150 Grad C.</p> <p>Insgesamt handelt es sich um ein Material, das bei der Herstellung von grobkeramischen Produkten als magerer Zusatzton eingesetzt werden kann. Im Versatz sorgt das Material für eine Aufweitung des Sinterintervalls sowie für eine Verbesserung der Ausgasung und Feuerstandsfestigkeit. Von daher ist das Material auch für eine Optimierung von Pflasterklinkermassen geeignet.</p>		

Probe 32
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Probe 33

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
17,0	75,4	7,6

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
1,39	45,75	0,484	11,09	4,00	0,080	2,47	14,649	0,84	1,88	0,129	0,32

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smekite	Chlo- rit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
20	5	5	20-25	5	5-10		20-25	5	1		< 5	2

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _P MA %	Plastizitätszahl I _P MA %	Konsistenzzahl I _C	Klassifizierung DIN 18 196
29,3	27,8	11,5	entfällt	OU

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 33 B-SW	20 % Probe 33 B-SW 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	29,8	25,5	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	3,4	6,0	6,1
Brennschwindung Lineare BS (%)	950 °C	-1,0	2,0	2,5
	1.050 °C	-0,6	3,7	9,0
	1.150 °C	n.b.	4,1	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	30,3	9,9	10,8
	1.050 °C	27,6	5,9	< 0,1
	1.150 °C	0,2	3,4	< 0,1
Scherbenrohddichte D (g/cm ³)	950 °C	1,39	1,92	1,98
	1.050 °C	1,41	2,03	2,37
	1.150 °C	2,25	2,07	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:

Hintermauerziegel	++	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	+	
Verblendklinker	-	
Klinkerriemchen	-	
Pflasterklinker	-	
Dachziegel	-	
Bodenplatten/Fassadenplatten	-	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	

Zusammenfassende Bewertung:

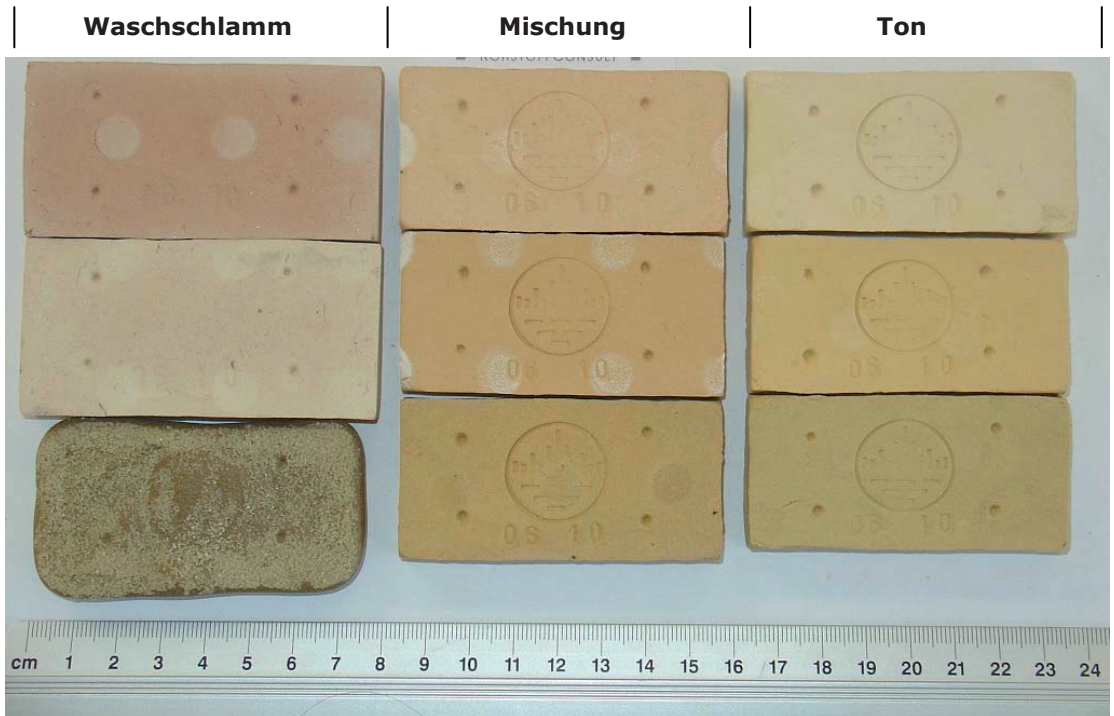
Die **Probe 33** ist durch eine Korngrößenverteilung mit eher geringem Anteil $< 2 \mu\text{m}$ und deutlicher Dominanz im Schluffkornbereich charakterisiert. Aufgrund der geringen Bildsamkeit weist das Material deutliche Begrenzungen bei der Formgebung auf.

Der Brennprozess ist bis 1.050 Grad C durch ein Fehlen positiver Brennschwindung charakterisiert. Im Intervall bis 1.150 Grad C Brenntemperatur setzen dann so starke Schmelzreaktionen ein, dass der Brennprozess nicht mehr beherrschbar ist. Aufgrund des hohen Schmelzanteils nimmt die Wasseraufnahme im Intervall von 1.050 bis 1.150 Grad C schlagartig auf ein Minimum ab.

Die Brennproben weisen im unteren Temperaturbereich helle Brennfärbungen auf. Bei 1.150 Grad C Brenntemperatur sorgt die starke Flussmittelwirkung der vorhandenen Erdalkalien für einen typischen Farbumschlag nach grüngelb. Die Brennproben zeigen geringe Trockenausblühungen, die auch im Versatz beobachtet werden. Sonst sind die Brennproben einwandfrei.

Insgesamt handelt es sich um ein Material, das aufgrund der geringen Scherbenrohichte sehr gut als **magernder Zusatzstoff und Porosierungsmittel** bei der Herstellung von hochwärmedämmenden Hintermauerziegeln eingesetzt werden kann. Ferner kann das Material bei der Produktion von Vormauerziegeln zur Brennfärbungbeeinflussung eingesetzt werden. Hier sind jedoch die spontanen Schmelzreaktionen bis hin zur schlagartigen Verflüssigung als hohes Produktionsrisiko zu bewerten.

Probe 33
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Probe 34

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
3,3	53,8	42,9

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
<0,01	68,00	0,768	13,87	4,96	0,074	1,73	1,616	2,34	2,33	0,260	0,01

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smekтите	Chlorit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- ballit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn- blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
15-20	5	< 5	30-35	5-10	20-25	< 5	< 5		1		< 5	

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

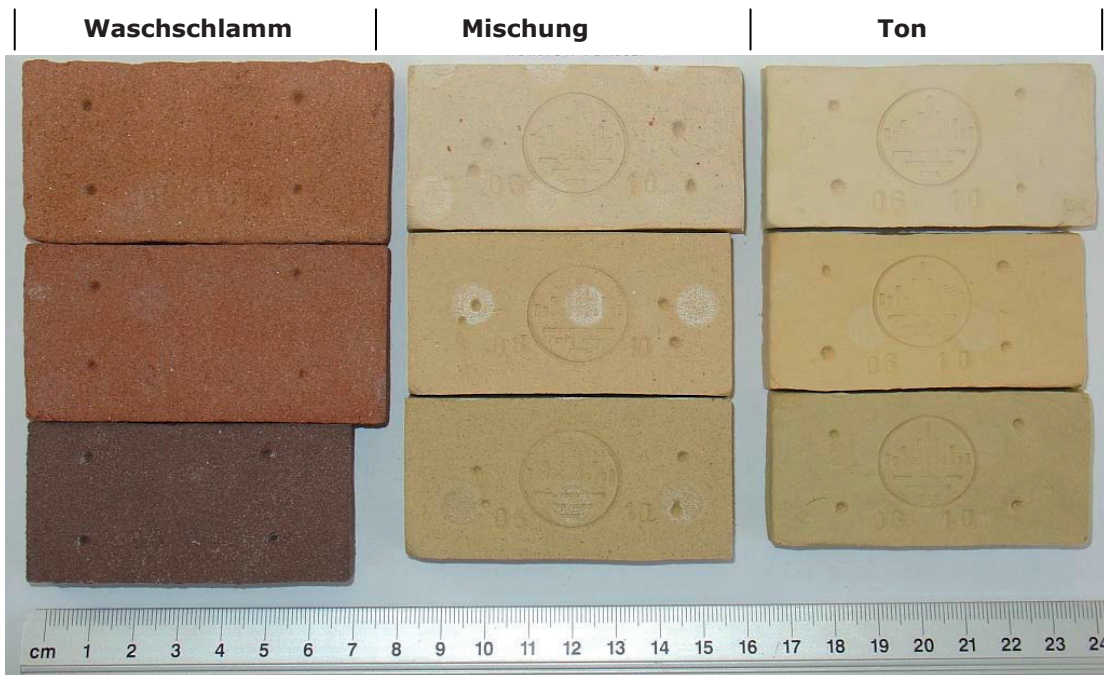
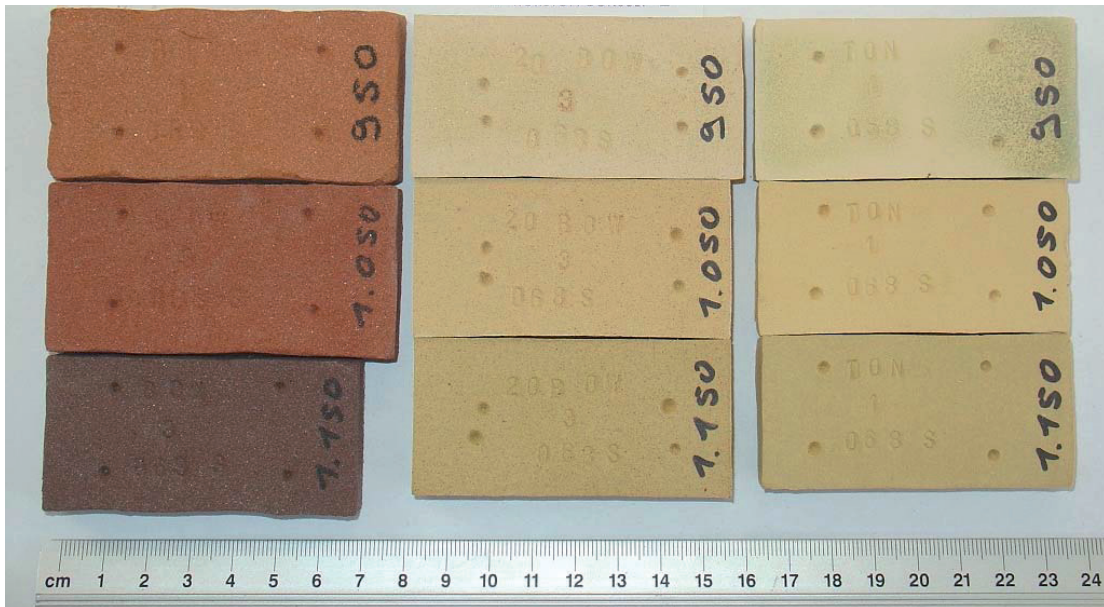
Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _P MA %	Plastizitätszahl I _P MA %	Konsistenzzahl I _C	Klassifizierung DIN 18 196
30,4	30,0	0,4	entfällt	UL

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 34 B-OW	20 % Probe 34 B-OW 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	27,2	23,7	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	0,2	5,7	6,1
Brennschwindung Lineare BS (%)	950 °C	-0,8	1,5	2,5
	1.050 °C	0,8	4,5	9,0
	1.150 °C	10,5	4,9	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	27,0	10,7	10,8
	1.050 °C	23,0	4,6	< 0,1
	1.150 °C	5,2	3,0	< 0,1
Scherbenrohddichte D (g/cm ³)	950 °C	1,32	1,93	1,98
	1.050 °C	1,41	2,13	2,37
	1.150 °C	1,99	2,18	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:		
Hintermauerziegel	+	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	+	
Verblendklinker	+	
Klinkerriemchen	+	
Pflasterklinker	+	
Dachziegel	o	
Bodenplatten/Fassadenplatten	o	
Steinzeugröhren	-	
Sonstige	entfällt	
<p>Zusammenfassende Bewertung:</p> <p>Die Probe 34 ist durch eine ungünstige Korngrößenverteilung mit extrem geringem Anteil < 2 µm und hohen Gehalten an Schluff- und Sandkorn charakterisiert. Aufgrund der fast vollständig fehlenden Bildsamkeit weist das Material ungenügende Eigenschaften bei der Formgebung auf.</p> <p>Infolge der geringen Trockenschwindung ist das Material als <i>trocknungsunempfindlich</i> zu bezeichnen. Der Brennprozess ist durch ein spätes Einsetzen von Brennschwindung und Scherbenbildung gekennzeichnet. Erst im Intervall zwischen 1.050 und 1.150 Grad C wird vor allem durch den Gehalt an Feldspat, speziell an Natrium ein schlagartiger Anstieg der Brennschwindung, verbunden mit einer abrupten Reduzierung der Wasseraufnahme registriert.</p> <p>Die Brennproben weisen je nach Temperatur orangerote bis dunkelbraune Brennfärbungen auf, was das Material auch von der Optik für den Einsatz im Bereich von Vormauerziegeln, Klinkern und Pflasterklinkern qualifiziert. Dagegen dürfte der hohe Gehalt an unplastischen Komponenten den Einsatz bei Produkten mit glatten Oberflächen wie Dachziegel deutlich begrenzen. Die Brennproben sind frei von störenden Bestandteilen und Brennfehlern. Alle Brennproben zeigen visuell eine sehr gute Feuerstandsfestigkeit bis 1.150 Grad C.</p> <p>Insgesamt handelt es sich um ein Material, das bei der Herstellung von grobkeramischen Produkten als magerer Zusatzton eingesetzt werden kann. Im Versatz sorgt das Material für eine Aufweitung des Sinterintervalls sowie für eine Verbesserung der Ausgasung und Feuerstandsfestigkeit. Von daher ist das Material auch für eine Optimierung von Pflasterklinkermassen geeignet.</p>		

Probe 34
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



Probe 35

Korngrößenverteilung MA %

< 2 µm	2 – 63 µm	> 63 µm
58,6	38,3	3,1

Chemische Zusammensetzung MA %

Corg	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
<0,01	60,10	0,746	23,63	1,93	0,018	0,90	0,403	0,10	2,67	0,095	0,02

Mineralogische Zusammensetzung MA %

Illit/Musk Mixed- Layer/ Smektite	Chlorit	Kaolinit	Quarz/ Cristo- balit	K- Feldsp.	Plagio- klas	Horn- blende	Calcit	Dolomit/ (Ankerit)	Rutil/ Anatas	Hämatit	Fe-Oxi- hydroxide (XRD- amorph)	Organik
25		45	20	5	5				1		< 5	

Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122 Teil 1

Fließgrenze W _L MA %	Ausrollgrenze W _P MA %	Plastizitätszahl I _P MA %	Konsistenzzahl I _C	Klassifizierung DIN 18 196
59,4	26,5	32,9	entfällt	TA

Keramtechnologische Kennwerte nach DKG-Richtlinien und Anmachwassergehalt

Parameter / Kennwert	Brenntemperatur	Probe 35 B-WK	20 % Probe 35 B-WK 80 % Ton	100 % Ton
Anmachwasser AW (MA %)	entfällt	31,9	26,8	27,8
Trockenschwindung Lineare TS (%)	entfällt	6,8	5,7	6,1
Brennschwindung Lineare BS (%)	950 °C	2,1	2,0	2,5
	1.050 °C	6,2	5,7	9,0
	1.150 °C	7,4	6,3	10,1
Wasseraufnahme WA (MA %)	950 °C	12,8	11,5	10,8
	1.050 °C	4,3	3,3	< 0,1
	1.150 °C	< 0,1	1,3	< 0,1
Scherbenrohddichte D (g/cm ³)	950 °C	1,89	1,96	1,98
	1.050 °C	2,19	2,24	2,37
	1.150 °C	2,32	2,30	2,41

Mögliche Erzeugnispalette:

Hintermauerziegel	++	Potentielle Eignung als Zusatzstoff Legende: ++ prädestiniert + geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet
Vormauerziegel/Verblender	++	
Verblendklinker	++	
Klinkerriemchen	++	
Pflasterklinker	++	
Dachziegel	+	
Bodenplatten/Fassadenplatten	++	
Steinzeugröhren	+	
Sonstige	Fliesen	

Zusammenfassende Bewertung:

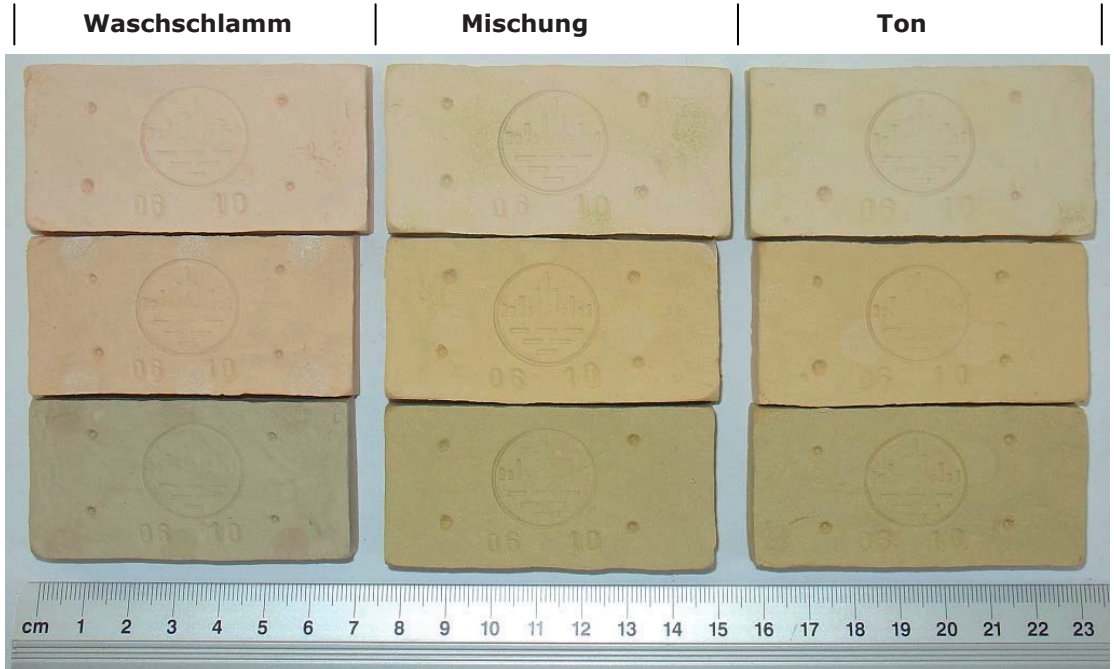
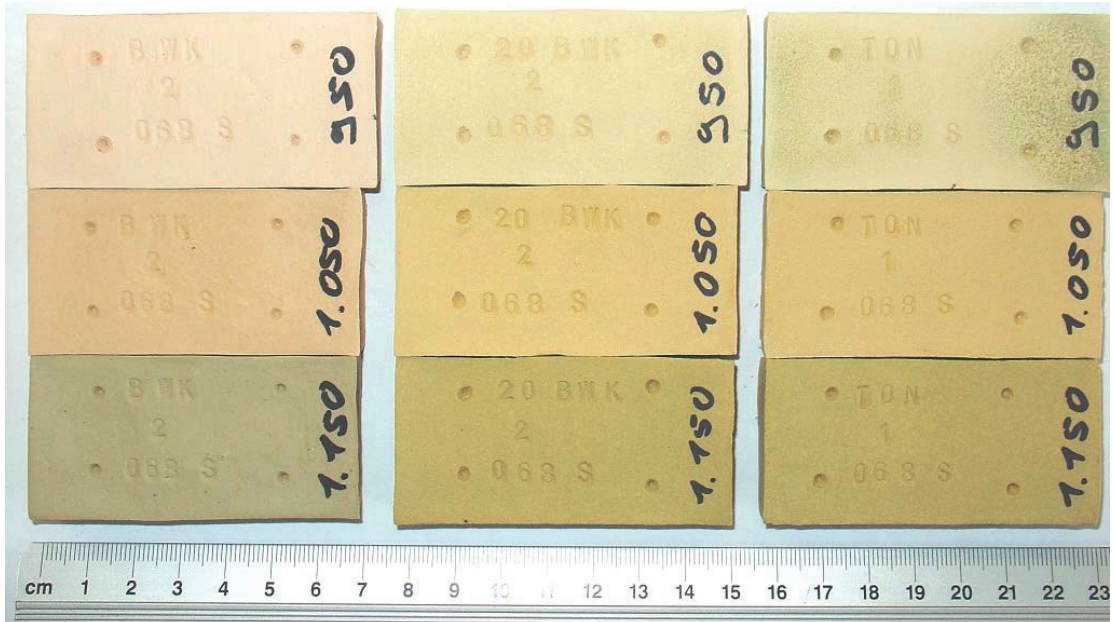
Die **Probe 35** ist durch ein feinteiliges Kornspektrum mit signifikantem Anteil $< 2 \mu\text{m}$ bei weitgehendem Fehlen von Sandkorn charakterisiert. Das Material weist bei guter Bildsamkeit erwartungsgemäß gute Formgebungseigenschaften auf.

Infolge der hohen linearen Trockenschwindung ist die Probe als *trocknungssensibel* zu bezeichnen. Der Brennprozess ist durch ein frühes Einsetzen der Brennschwindung und durch eine entsprechend frühe und intensive Scherbenbildung charakterisiert. So wird Klinkerqualität schon bei 1.050 Grad C erreicht.

Die Brennproben weisen je nach Temperatur *schön klare* Brennfärbungen im Spektrum zwischen hellcreme und gelbgrün auf. Die Brennproben sind frei von störenden Bestandteilen und Brennfehlern. Alle Brennproben zeigen visuell eine sehr gute Festigkeit.

Insgesamt handelt es sich um ein überdurchschnittliches Material, das bei der Herstellung von zahlreichen grobkeramischen Produkten, aber auch bei der Herstellung von Boden- und Wandfliesen als **fetter Zusatzton** eingesetzt werden kann. Der hohe Tonmineralanteil verursacht durch Entgasungsreaktionen naturgemäß Begrenzungen, die im Trocknungs- und Brennprozess zu berücksichtigen sind (vgl. STA-Diagramm).

Probe 35
Vorder- und Rückseiten der gebrannten Proben



IV. Schlussbemerkungen

Das durchgeführte Untersuchungsprogramm hat zunächst gezeigt, dass Waschschlämme aus der Sand- und Kiesindustrie eine grundsätzliche Eignung für den Einsatz in der Ziegelindustrie besitzen. Ferner hat sich gezeigt, dass die untersuchten Waschschlämme starke qualitative Unterschiede aufweisen, die sich direkt in den Produkteigenschaften und der möglichen Erzeugnispalette widerspiegeln. Während die breite Masse der geprüften Proben für die Herstellung vieler grobkeramischer Produkte potentiell geeignet ist, gibt es einige Glanzlichter, die qualitativ durchaus mit hochwertigen Zusatztonen vergleichbar sind. Daneben gibt es einige minderwertige Materialien, die für viele Erzeugnisse nicht geeignet sind.

In Anbetracht der gewaltigen Mengen an Waschschlamm die jährlich in Deutschland anfallen (geschätzt rund 15 Mio. t), handelt es sich damit um ein nennenswertes Rohstoffpotential, das zur nachhaltigen Nutzung von Kies- und Sandlagerstätten sowie zur Schonung natürlicher Tonressourcen beitragen könnte. Zukunftsaufgaben liegen in der Suche nach ökonomisch und ökologisch sinnvollen Schnittmengen zwischen Anfallstelle (Kieswerk) und Abnehmer (Ziegelwerk) sowie in der Klärung der Problematik der Waschschlamm-Konditionierung.

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass feinteilige (konditionierte) Rückstände aus der Mineralwäsche gegenüber natürlichen Ziegeltonen auch technische Vorteile aufweisen können. Diesbezüglich sind vor allem zu nennen:

- ▶ Keine Verunreinigungen durch Grobbestandteile und petrographische Inhomogenitäten wie zum Beispiel Geoden oder Holzreste
- ▶ Deutliche Kosten- und Energieeinsparung bei der Aufbereitung; auf Aufbereitungsanlagen wie Kollergänge, Walzwerke und Tonreiniger kann verzichtet werden



Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Deutsche Rohstoffagentur in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Federal Institute for Geosciences and Natural Resources
Stilleweg 2
30655 Hannover
Germany

Tel: +49 (0)511 643 – 3200
Fax: +49 (0)511 643 – 533200
E-Mail: kontaktbuero-rohstoffe@bgr.de
Internet: www.deutsche-rohstoffagentur.de