

Raw material highlights for the brick and tile industry

The brick clays from Northern Sumatra, Republic of Indonesia

Rohstoff-Highlights für die Ziegelindustrie

Die Ziegeltonne von Nordsumatra, Republik Indonesien

The earthquake and tsunami on 26 December 2004 in the Aceh region on Sumatra, Republic of Indonesia, caused devastating destruction and damage to building structures. Reconstruction necessitates the supply of large volumes of traditional building materials such as masonry bricks. As part of a technical cooperation project, selected brick clay pits were qualitatively characterized and assessed with regard to the optimization of technological parameters. The tests conducted characterize the raw materials on the one hand as highly innovative in ceramic terms, but also as extremely sensitive and prone to defects in ceramic drying and firing processes. For a technical and technological new start and the set-up of modern brick production, mineralogical additions to the raw material basis are necessary. In particular, phyllosilicate opening materials are needed.

Das Erdbeben und der Tsunami vom 26. Dezember 2004 haben in der Region Aceh auf Sumatra, Republik Indonesien, große Zerstörungen an der Bausubstanz verursacht. Zum Wiederaufbau ist die Bereitstellung großer Mengen an traditionellen Baustoffen wie Mauerziegeln erforderlich. Im Rahmen der technischen Zusammenarbeit wurden ausgewählte Ziegeltongruben qualitativ charakterisiert und im Hinblick auf die Optimierung technologischer Parameter bewertet. Die durchgeführten Untersuchungen kennzeichnen die Rohstoffe einerseits als keramisch hochinnovativ, andererseits als ausgesprochen sensibel und fehleranfällig im keramischen Trocknungs- und Brennprozess. Für einen technisch-technologischen Neustart und den Aufbau einer modernen Ziegelproduktion sind mineralogische Ergänzungen an der Rohstoffbasis erforderlich. Insbesondere werden phyllosilikatische Magerungsstoffe benötigt.

1 Introduction

The earthquake and tsunami on 26 December 2004 caused devastating destruction and damage to building structures in the province of Nanggroe Aceh Darussalam (NAD), on Northern Sumatra, in the Republic of Indonesia. Rebuilding necessitates the availability of large volumes of building materials. In particular for the construction of basic low-cost housing, so far only traditionally made masonry bricks have been used. These are used almost exclusively for infilling concrete frameworks to form walls in a "one brick lengthways" method of construction »2. In this region, bricks are mostly

1 Einleitung

Das Erdbeben und der Tsunami vom 26. Dezember 2004 haben in der Provinz Nanggroe Aceh Darussalam (NAD), Nordsumatra, Republik Indonesien, große Zerstörungen an der Bausubstanz verursacht. Der Wiederaufbau erfordert die Bereitstellung großer Mengen an Baustoffen. Insbesondere beim Bau von einfachen kostengünstigen Häusern kommen bisher nur traditionell hergestellte Mauerziegel zum Einsatz, die fast ausschließlich zur Ausfachung von Skeletten aus Beton in Form von Wänden in der Ausführungsart „ein Stein längs“ genutzt werden »2. In der Region werden Ziegel zu meist in Familienbetrieben hergestellt, mit geringstem Kapitaleinsatz und nur ansatzweiser Mechanisierung durch überwiegend schwere Handarbeit, was aber auch eine Vielzahl von Arbeitsplätzen bedeutet.

Nach dem Tsunami stieg die Zahl kleinster Ziegeleien deutlich an, im Norden der Provinz Aceh waren es Ende 2005 allein rund 150 Ziegeleien. Die Tonrohstoffe werden aus zuvor nicht erkundeten oder stofflich gekennzeichneten Abgrabungen entnommen, mit vom Markt bezogenen Sanden zu 15 bis 25 % per Hand bzw. durch Stampfen von Vieh gemagert, im Handstrich geformt, luftgetrocknet und mittels Holzfeuerung in nach oben offenen, als Mauersockel mit Feuerungsöffnungen ausgeführten Ziegelöfen gebrannt »3. Die rohstofflichen Parameter sowie die technologischen Abläufe werden allein aus empirischen Erfahrungswerten heraus bewertet und gesteuert. Der Ziegelbrand weist eine



»1 Typical clay winning in the region around Banda Aceh
»1 Typische Tongewinnung in der Umgebung von Banda Aceh



»2 Traditional housebuilding
»2 Traditionelle Hausbauweise



»3 Typical clamp kiln
»3 Typischer Feldbrandofen

made in family-run companies, with minimal initial investment and only rudimentary mechanization. Predominant here is heavy manual work, which also means, however, a high number of jobs.

After the tsunami the number of the smallest brickworks grew considerably, in the north of the province of Aceh there were around 150 brickworks by the end of 2005 alone. The clay raw materials are taken from previously unexplored excavations or excavations with characterized materials, and opened with 15 to 25% sands sourced from the market either by hand or by livestock stamping on it. The clay material is then moulded by hand, dried in air and fired in open-topped, wood-fired brick kilns designed with a bricked base with fireholes »3. The raw material parameters as well as the technological procedures are assessed and controlled solely on the basis of empirical values. Brick firing has a very heterogeneous quality. On the basis of a few individual pieces of data, it can be estimated that around a third of the bricks made have compressive strengths $< 25 \text{ kg/cm}^2$ and around half 25 to 50 kg/cm^2 .

As part of a technical cooperation project financed by Germany's Federal Ministry of Economic Cooperation and Development and known as "ManGeoNAD – Management of Georisks, Nanggroe Aceh Darussalam", in the north of the province of Nanggroe Aceh Darussalam in the region of Aceh Besar (Kabupaten Aceh Besar), possibilities were sought to improve the current quality of the bricks made there. Qualitative characterization of the raw material as well as optimization of technological parameters are considered efficient possibilities. There is no doubt that with proper knowledge of the raw materials used and the brick firing process, high-quality bricks can also be produced locally.

2 Geology

In geological terms, the region of Aceh Besar can be classified into three structural units: the southern to south-western area as far as the western coast, the Central Barisan Mountain Range, is characterized by the surface distribution of a sedimentary-metamorphic set of strata. Stratigraphically its origin is assigned to the Mesozoic, the Jurassic to the Cretaceous Periods. Dominant here are folded and tectonically shifted argillitic and silicified limestone, sandstone and siltstone with intercalations of metamorphized intermediary to mafic volcanites and pyroclastics. This series is offset against the forma-

sehr heterogene Qualität auf. Anhand weniger Einzeldaten kann abgeschätzt werden, dass etwa ein Drittel der hergestellten Ziegel Druckfestigkeiten von $< 25 \text{ kg/cm}^2$ sowie etwa die Hälfte 25 bis 50 kg/cm^2 aufweisen.

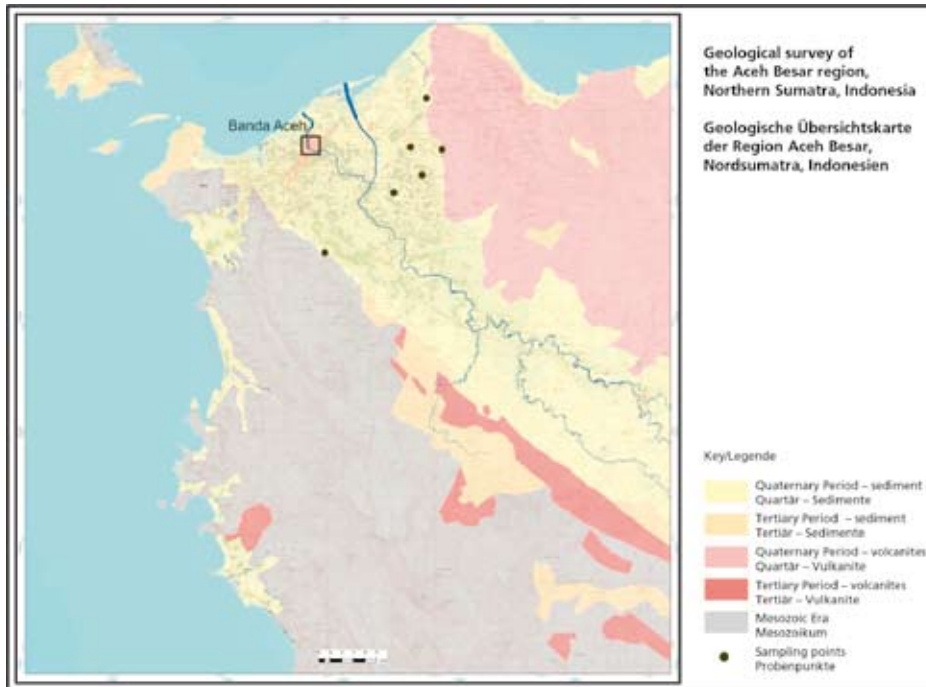
Im Rahmen der technischen Zusammenarbeit wurden in dem vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) finanzierten Projekt „ManGeoNAD – Management of Georisks, Nanggroe Aceh Darussalam“ im Norden der Provinz Nanggroe Aceh Darussalam in der Region Aceh Besar (Kabupaten Aceh Besar) u. a. Möglichkeiten untersucht, um die derzeitige Ziegelqualität zu verbessern. Als effizient werden beispielsweise die qualitative Kennzeichnung des Rohmaterials sowie die Optimierung technologischer Parameter eingeschätzt. Es besteht kein Zweifel daran, dass mit einem ordentlichen Wissen in Bezug auf die verwendeten Rohstoffe und den Ziegelbrand hochwertige Ziegel auch lokal produziert werden können.

2 Geologie

Die Region Aceh Besar zeigt in geologischer Hinsicht eine Gliederung in drei strukturelle Einheiten: Der südliche bis südwestliche Bereich bis zur Westküste, der Central Barisan Mountain Range, ist durch die oberflächige Verbreitung eines sedimentär-metamorphen Schichtenkomplexes gekennzeichnet. Stratigrafisch wird die Abfolge dem Mesozoikum, Jura bis Kreide, zugeordnet. Es dominieren gefaltete und tektonisch verstellte argillitische und silifizierter Kalksteine, Sand- und Schluffsteine mit Einschaltungen metamorphisierter intermediärer bis mafischer Vulkanite und Pyroklastika. Gegen die nordwestlich anschließenden Bildungen ist diese Serie durch eine NW-SO verlaufende regionale Störungszone abgesetzt, die als Banda Aceh – Anufault bezeichnet wird.

Der Norden bzw. Nordosten des Untersuchungsgebietes, das Seulewah-Volcano-Gebiet wird durch die weiträumige Verbreitung von Ablagerungen des quartären, z. T. auch tertiären Vulkanismus geprägt. Die Sedimente treten als vulkanische Decken von Aschen und Tuffen unter Einschaltung von Andesiten und Dazititen meist als Blockströme bei großflächiger Bestreuung der Oberfläche des Gebietes mit vulkanischen Bomben auf.

Den Zentralteil des Untersuchungsgebietes, das Krueng Aceh Basin, prägen die quartären bis holozänen Sedimente des Flussgebietes des Krueng Aceh. Im Mittellauf des Flusses



»4 Geological overview of the Aceh Besar region
 »4 Geologische Übersicht der Region Aceh Besar

tions joining in the north-west by a regional fault zone running NW-SE, which is known as the Banda Aceh – Anufault.

The north and northeast of the area of exploration, the Seulewah Volcano area is characterized by the wide distribution of deposits from Quaternary, partly from Tertiary volcanism. The sediments are found as a volcanic covering of ashes and tuffs with intercalations of andesites and dazites mostly as boulder streams with a scattering of volcanic bombs over large parts of the area surface.

The central part of the exploration area, the Krueng Aceh Basin, is formed by the Quaternary to Holocene sediments of the Krueng Aceh river basin. In the middle reaches of the river, the Quaternary base sediments of the depression infilling are formed by tuffitic and also calcareous sandstones, conglomerates as well as, to a minor extent, by siltstones. On top are alluvially formed, predominantly fine sandy and silty series, which are regarded as the old terraces. In the zones of the recent river course there are alluvially formed terraces of coarse gravel embankments with a top cover of Holocene alluvial clays.

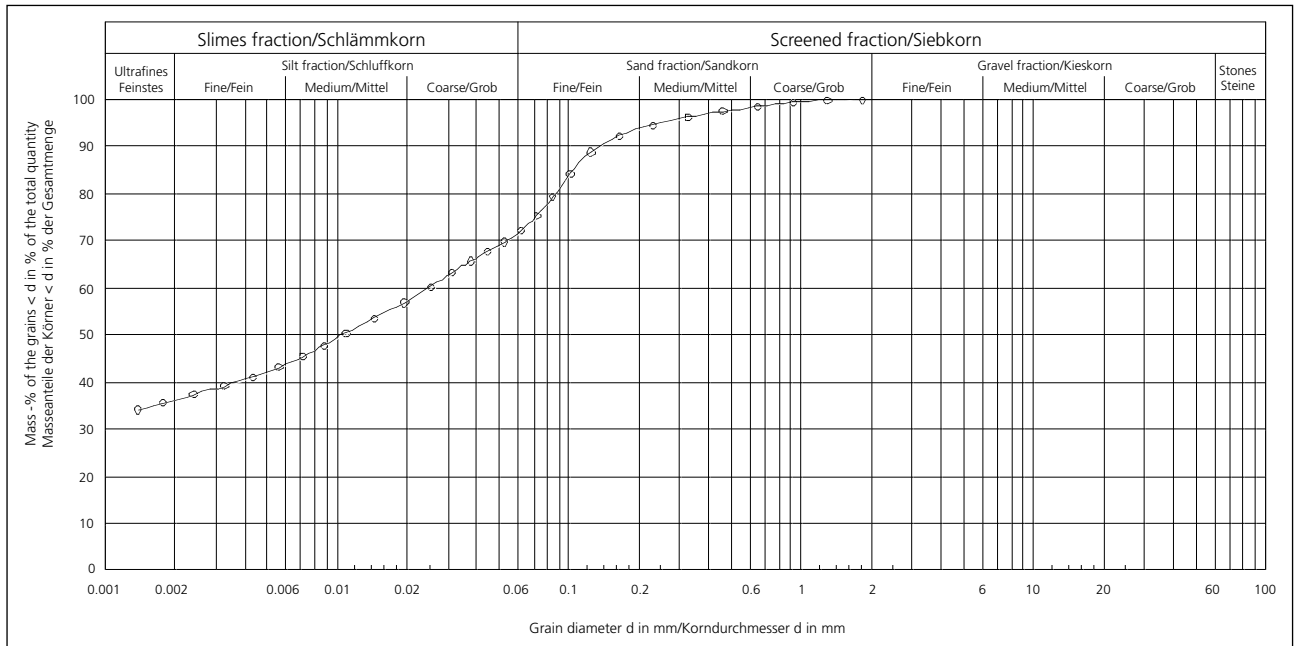
The deposits used as brick clay are from the Quaternary period. Their regional distribution has not yet been systematically studied, their use is concentrated on in the area around Banda Aceh in order to meet the demand there (»4). The mostly light-coloured to steel grey, but also greyish brown deposits can be found as extremely clayey, sandy silts and are generally free of lime. Rich clayey interlayers are plastic and rollable. Overall the raw materials can be described as lean clays in respect of their particle size composition. The extraction sites are found mostly within flat bulges of the relief in the middle of plain of the recent valley depression formed by alluvial clays with its vast rice fields. The brick clays are always won by drying cutting. For thicknesses of two to five metres, hydraulic excavators are used for extraction. After the clays have been extracted, the sites are predominantly used for cultivation of rice fields.

With regard to the genesis of the brick clays, there are justified grounds for the hypothesis that these are alluvially sedimented weathering products of the Quaternary basal sediments of the upper valley bottom of the Krueng Aceh depression. Material inclusions especially from the distribution

werden die quartären Basissedimente der Ausfüllung der Niederung durch tuffitische und auch kalkige Sandsteine, Konglomerate sowie untergeordnet auch Schluffsteine gebildet. Ihnen sitzen alluvial gebildete, überwiegend feinsandige und schluffige Serien auf, die als Altterrassen gedeutet werden. In den Zonen des rezenten Flusslaufes treten alluvial gebildete Terrassen grober Kiesschüttungen mit Überdeckung von holozänen Auelehmen auf.

Die als Ziegelton genutzten Ablagerungen sind quartären Alters. Ihre regionale Verbreitung wurde bisher nicht systematisch untersucht, ihre Nutzung konzentriert sich aufgrund der Nachfragesituation auf die Umgebung von Banda Aceh (»4). Die zumeist hell- bis stahlgrauen, mitunter auch graubraunen Ablagerungen sind als stark tonige, sandige Schluffe anzusprechen und grundsätzlich kalkfrei. Fette tonige Zwischenlagen sind plastisch und rollbar. Insgesamt sind die Rohstoffe hinsichtlich ihrer Korngrößenzusammensetzung als Magertone zu bezeichnen. Die Abbaustellen befinden sich meist innerhalb flacher Aufwölbungen des Reliefs inmitten der durch Auelehme geprägten Ebene der rezenten Talniederung mit ihren ausgedehnten Reisfeldern. Die Ziegeltonen werden grundsätzlich nur im Trockenschnitt gewonnen. Bei Mächtigkeiten von zwei bis fünf Metern erfolgt der Abbau meist mittels Hydraulikbagger, als Folgenutzung überwiegt die Anlage von Reisfeldern.

Zur Genese der Ziegeltonen kann die Hypothese vertreten werden, dass es sich um alluvial sedimentierte Verwitterungsprodukte der quartären basalen Sedimente des oberen Talbodens der Niederung des Krueng Aceh handelt. Auch Stoffeinträge speziell aus dem Verbreitungsgebiet des quartären Vulkanismus sind denkbar. Die alluviale Materialaufbereitung bei gleichzeitiger tektonischer Absenkung des Talbodens ist aufgrund der hohen Niederschlagsrate als insgesamt sehr dynamischer Prozess anzusehen, wobei durch die ausgeprägte Mäandrierung immer auch Stillwasserzonen mit Sedimentationsräumen von Schluffen und Tonen entstehen. Die erneute Anhebung der Ablagerungen über den rezenten Erosionsanschnitt hinaus wird junger vulkanischer Tektonik zugeordnet.



- »5 Typical grading curve after DIN 18123
- »5 Typische Körnungslinie nach DIN 18123

area of the Quaternary volcanism are also feasible. The alluvial material processing with simultaneous tectonic lowering of the valley floor can be regarded as a very dynamic process overall on account of the high rates of precipitation, the distinct meandering causing the formation of dead water zones with sedimentation environments of silts and clays. The renewed raising of the deposits beyond the recent erosion cut can be assigned to the late volcanic tectonics.

3 Material characterization of the raw material

Mineral phases	Banda Aceh clay	
	Total fraction	
Clay minerals:	37	
Kaolinite (n)	n.d.	
Fireclay (n)	10	
Illite/mica (n)	5	
Illite-smectite (s)	3	
Smectite (s)	15	
Chlorite (n)	4	
Chlorite-vermiculite (s)	n.d.	
Tectosilicates:	58	
Quartz	40	
Albite	15	
Potash feldspar	3	
Carbonates:	n.d.	
Calcite	n.d.	
Dolomite	n.d.	
Siderite	n.d.	
Oxides:	n.d.	
Haematite	n.d.	
Anatase/rutile	n.d./n.d.	
Hydroxides:	5	
Goethite/limonite	5/n.d.	
Lepidocrocite	n.d.	
Sulphides/sulphates:	n.d.	
Pyrite/markasite	n.d./n.d.	
Gypsum/jarosite	n.d./n.d.	
Other:	n.d.	
s: inner-crystalline swelling		
n: non-inner crystalline swelling		
n.d.: not detected		

»Table 1 Detected mineral phases RDA/FTIR (mass-%)

3 Stoffliche Charakterisierung des Rohmaterials

3.1 Korngrößenverteilung und Mineralogie

Die Ziegeltonne im Raum Banda Aceh fallen durch technologische Eigenschaften auf, die für mitteleuropäische Ziegelrohstoffe eher ungewöhnlich sind. Dies wird in erster Linie durch den hohen Anteil an innerkristallin quellfähigen Tonmineralen verursacht. Im Hinblick auf die Korngrößenverteilung kann exemplarisch von einer Körnungslinie gemäß »5 ausgegangen werden. Danach weist der Ton mit leichter Dominanz im Feinstkornbereich etwa gleich hohe Anteile

Mineralphasen	Ton Banda Aceh	
	Gesamtfraction	
Tonminerale:	37	
Kaolinit (n)	n.n.	
Fireclay (n)	10	
Illit/Glimmer (n)	5	
Illit-Smektit (q)	3	
Smektit (q)	15	
Chlorit (n)	4	
Chlorit-Vermikulit (q)	n.n.	
Tektosilikate:	58	
Quarz	40	
Albit	15	
Kalifeldspat	3	
Karbonate:	n.n.	
Calcit	n.n.	
Dolomit	n.n.	
Siderit	n.n.	
Oxide:	n.n.	
Hämatit	n.n.	
Anatas/Rutil	n.n./n.n.	
Hydroxide:	5	
Goethit/Limonit	5/n.n.	
Lepidokrokit	n.n.	
Sulfide/Sulfate:	n.n.	
Pyrit/Markasit	n.n/n.n.	
Gips/Jarosit	n.n/n.n.	
Sonstige:	n.n.	
q: innerkristallin quellfähig		
n: innerkristallin nicht quellfähig		
n.n.: nicht nachgewiesen		

»Tabelle 1 Nachgewiesene Mineralphasen RDA/FTIR (Masse-%)

Element/Elemente	Banda Aceh clay Ton Banda Aceh
SiO ₂	61.42
Al ₂ O ₃	16.04
Fe ₂ O ₃	9.74
BaO	0.025
Mn ₂ O ₃	0.102
TiO ₂	0.887
V ₂ O ₃	0.037
CaO	1.55
MgO	1.23
K ₂ O	0.88
Na ₂ O	1.43
SO ₃	0.01
GLV./Lol	6.46
Σ	99.81
Organic carbon Org. Kohlenstoff	0.27

»Table 2 Chemical composition DIN EN ISO 12677 (mass-%)

»Tabelle 2 Chemische Zusammensetzung DIN EN ISO 12677 (Masse-%)

3.1 Grain size distribution and mineralogy

The brick clays in the Banda Aceh region have striking technological properties that are rather unusual for Central European brick raw materials. This can be attributed primarily to the high fraction of inner-crystalline swelling clay minerals. In respect of the grain size distribution, the typical grading curve as shown in »5 can be assumed. According to this, the clay shows, with a slight dominance in the ultrafine size range, approximately equal clay, silt and sand fractions. For a medium-high ultrafine content of $d < 2 \mu\text{m} = 37 \text{ mass-\%}$, the screen residue $d > 63 \mu\text{m} = 29 \text{ mass-\%}$, the maximum grain sizes all being in the range below 2.0 mm. In the sector for the sand fraction, fine sand easily dominates in front of medium and coarse sand, a stabilizing grain function is largely lacking.

The mineral phase analysis (combination of X-ray diffractometry and infrared spectroscopy) shows in distinctly good agreement with the ultrafine content from the sedimentation analysis a clay mineral content of total fraction of around $\Sigma \text{ TM} = 37 \text{ mass-\%}$. As »Table 1 shows schematically, the inner-crystalline swelling three-layer silicates of the smectite group clearly dominate over the other clay mineral phases. The content of inner-crystalline swelling clay minerals overall lies at around 18 mass-%. Accordingly, just under half of the clay minerals are inner-crystalline swelling clay minerals. In simplified terms, the following structure of the clay mineral paragenesis can be assumed: smectite > fireclay > illite/mica > chlorite > illite-smectite.

On account of the high specific surface area of the smectites, these have the dominant influence on properties overall. They are responsible, for example, for the high optimal batching water content and the pronounced plastic properties of the raw materials, which cannot simply be derived from the grain size distribution and the chemical analysis.

In the series of opening components, the free quartz clearly dominates with 40 mass-%, this content being described as "medium-high to high". Simultaneous opening and fluxing effects are caused by a further 15 mass-% albite and 3 mass-% potash feldspar. The red fired colour is derived from a comparatively high content of goethite with 5 mass-%. Carbonates and troublesome mineral compounds such as sulphides/sulphates are absent or cannot be determined

an Tonkorn, Schluffkorn und Sandkorn auf. Bei einem mittelhohen Feinstkornanteil von $d < 2 \mu\text{m} = 37 \text{ Masse-\%}$ beträgt der Siebrückstand $d > 63 \mu\text{m} = 29 \text{ Masse-\%}$, wobei das Größtkorn durchweg im Bereich unter 2,0 mm liegt. Im Sektor des Sandkornes dominiert Feinsand klar vor Mittel- und Grobsand, womit eine Stützkornfunktion weitgehend fehlt.

Aus der Mineralphasenanalyse (Kombination Röntgendiffraktometrie und Infrarotspektroskopie) ergibt sich in ausgesprochen guter Übereinstimmung mit dem Feinstkornanteil aus der Sedimentationsanalyse ein Tonmineralgehalt der Gesamtfraktion von rund $\Sigma \text{ TM} = 37 \text{ Masse-\%}$. Wie »Tabelle 1 schematisch zeigt, dominieren innerkristallin quellfähige Drei-Schichtsilikate der Smektitgruppe klar vor den übrigen Tonmineralphasen. Der Anteil an innerkristallin quellfähigen Tonmineralen insgesamt liegt bei rund 18 Masse-%. Damit ist knapp die Hälfte aller Tonminerale innerkristallin quellfähig. Vereinfacht kann von folgendem Aufbau der Tonmineralparagenese ausgegangen werden: Smektit > Fireclay > Illit/Glimmer > Chlorit > Illit-Smektit.

Aufgrund der hohen spezifischen Oberfläche der Smektitite sind diese insgesamt eigenschaftsprägend. Sie bedingen u. a. auch den hohen optimalen Anmachwassergehalt und die ausgeprägt plastischen Eigenschaften der Rohstoffe, die sich aus der Korngrößenverteilung und der chemischen Analyse nicht ohne Weiteres ableiten lassen.

In der Reihe der magernden Komponenten dominiert mit einem Anteil von 40 Masse-% klar der so genannte freie Quarz, wobei dieser Gehalt als „mittelhoch bis hoch“ zu bezeichnen ist. Gleichzeitige Magerungs- und Flussmittelwirkung bringen weitere 15 Masse-% Albit und 3 Masse-% Kalifeldspat. Die rote Brennfarbe wird durch einen mit 5 Masse-% vergleichsweise hohen Gehalt an Goethit verursacht. Karbonate und störenden Mineralverbindungen wie Sulfide/Sulfate fehlen bzw. können bei einer Nachweisgrenze von ungefähr 1 Masse-% mineralogisch nicht identifiziert werden.

3.2 Chemische Zusammensetzung

Im Unterschied zur Mineralogie ist die chemische Zusammensetzung (RFA DIN EN ISO 12677) der untersuchten Tone aus dem Raum Banda Aceh gut mit der Zusammensetzung moderner Vormauerziegel-, Klinker- und Dachziegelmassen vergleichbar(»Tabelle 2). Mit einem Siliziumgehalt von 61,42 Masse-% und einem Aluminiumgehalt von 16,04 Masse-% werden für die Hauptelemente durchaus typische Werte für rotbrennende Ziegelmassen ermittelt. Auch die Gehalte an Barium, Mangan, Titan, Vanadium, Kalzium, Magnesium, und Schwefel sowie der Glühverlust bewegen sich in einem üblichen Rahmen. Eisen und Natrium sind mit Gehalten von 9,74 bzw. 1,43 Masse-% erhöht, Kalium ist aufgrund des weitgehend fehlenden Glimmeranteils erniedrigt. Aus der chemischen Analyse lassen sich Rückschlüsse auf eine intensiv rote Brennfarbe sowie auf eine frühe Sinterung und ein vergleichsweise enges Sinterintervall ziehen. Die Gehalte an störenden Verunreinigungen, wie z. B. Schwefel und organische Substanz, sind gering und von daher positiv zu bewerten.

4 Charakterisierung der Verarbeitungseigenschaften

4.1 Wassergehalte und Zustandsgrenzen

Bei der Aufbereitung und Formgebung von Ziegeltonen sind der natürliche Wassergehalt sowie die Plastizität und die Zustandsgrenzen nach Atterberg von maßgebender Bedeutung. Zum Zeitpunkt der Bemusterung bewegte sich

within the detection limit of approx. 1 mass-%.

3.2 Chemical composition

Unlike the mineralogy, the chemical composition (XRF DIN EN ISO 12677) of the tested clays from the Banda Aceh region is comparable with the composition of modern facing brick, clinker and roofing tile bodies (»Table 2). With a silicon content of 61.42 mass-% and an aluminium content of 16.04 mass-%, very typical values for red-firing brick bodies were determined for the main elements. The contents of barium, manganese, titanium, vanadium, calcium, magnesium, and sulphur as well as the loss on ignition are in the usual range. Iron and sodium contents are higher at 9.74 and 1.43 mass-% respectively, while the content of potassium is lower on account of the largely absent mica fraction. From the chemical analysis, an intensive red fired colour, early sintering and a comparatively narrow sintering interval can be concluded. The content of troublesome impurities, e.g. sulphur and organic substance, is low, which can be regarded as a positive feature of the raw material.

4 Characterization of the processing properties

4.1 Water content and consistency limits

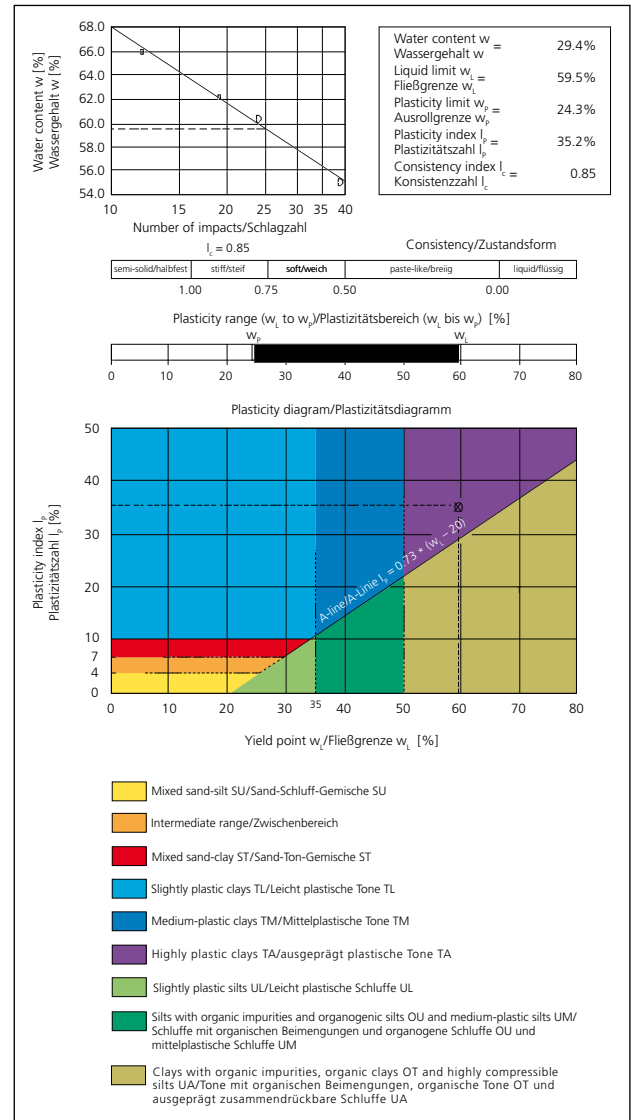
In the preparation and shaping of brick clays, the natural water content as well as the plasticity and Atterberg's consistency limits are of crucial importance. At the time of the sampling, the natural water content of the tested clays ranged as a consistency variable between 29.0 and 32.3 mass-% and therefore lay in the range of the batching water content according to Pfefferkorn for a residual compressed height of 25 mm. As the Casagrande diagram in »6 shows by way of example, the yield point of the material lies well above $w_L = 50.0$ mass-%, with which the raw material can be classified as a "highly plastic clay" in respect of its building properties in compliance with DIN 18196. Not least on account of the absence of coarse components, the raw material can be easily plastically pressed and deformed, which is, for instance, essential for the production of the filigree perforation patterns of masonry bricks or complex geometries in roofing ceramics. The consistency can be described as "favourable" overall with regard to raw material winning, transport, storage and preparation. With a consistency index of $I_c = 0.75$ to 1.00, the material lies in the "stiff plastic" range in accordance with DIN 18122.

4.2 Basic characteristic values for ceramic technology

The basic characteristic values for ceramic technology were determined with test specimens that were struck by hand into a mould (size = 80 x 40 x 15 mm). To simulate the open air drying in common practice locally, as part of the laboratory tests the specimens were very gently dried at 40°C. After drying was complete, the linear drying shrinkage of the specimens was determined (shrinkage marks on the base surfaces perpendicular to the C axis).

Then the test specimens were fired in an electric laboratory kiln at a total of four firing temperatures in the range from 900°C to 1 000°C, based on the firing chamber conditions with oxidizing atmosphere that reported to be in common use locally. To determine the characteristic values, four separate firings were performed per specimen. A temperature gradient of 100 degrees per hour and a soaking time of one hour at the respective peak temperature were selected.

Then the temperature-dependent linear firing shrinkage,



»6 Casagrande diagram after DIN 18122

»6 Casagrande-Diagramm nach DIN 18122

der natürliche Wassergehalt der untersuchten Tone als variable Zustandsgröße im Bereich zwischen 29,0 und 32,3 Masse-% und lag damit im Bereich des Anmachwassergehaltes gemäß Pfefferkorn bei einer Reststauchhöhe von 25 mm. Wie das Casagrande-Diagramm in »6 exemplarisch zeigt, liegt die Fließgrenze des Materials deutlich oberhalb von $w_L = 50,0$ Masse-%, womit der Rohstoff im Hinblick auf seine bautechnischen Eigenschaften gemäß DIN 18196 als „ausgeprägt plastischer Ton“ zu klassifizieren ist. Das Rohmaterial lässt sich nicht zuletzt wegen fehlender Grobbestandteile sehr gut plastisch verpressen und verformen, was z. B. für die Herstellung filigraner Lochbilder von Mauerziegeln oder anspruchsvoller Geometrien im Dachkeramikbereich wesentlich ist. Die Konsistenz ist hinsichtlich der Rohstoffgewinnung, des Transportes, der Lagerung und der Aufbereitung als insgesamt „günstig“ zu bezeichnen. Mit Konsistenzzahlen von $I_c = 0,75$ bis 1,00 liegt das Material gemäß DIN 18122 durchweg im „stiftplastischen“ Bereich.

4.2 Keramtechnologische Basiskennwerte

Die Bestimmung der keramtechnologischen Basiskennwerte erfolgte an Prüfkörpern, die von Hand in eine Rohlingsform (Maße = 80 x 40 x 15 mm) plastisch eingeschlagen wurden. Gemäß der vor Ort praktizierten Freilufttrocknung wurde auch

Parameter/characteristic Parameter/Kennwert	Firing temp. Brenntemperatur	Mean value Banda Aceh clay Mittelwert Ton Banda Aceh	Min. Banda Aceh clay Min. Ton Banda Aceh	Max. Banda Aceh clay Max. Ton Banda Aceh
Batching water after Pfefferkorn AW [mass-%] Anmachwasser nach Pfefferkorn AW [Masse-%]	not applicable entfällt	31.1	26.4	35.9
Drying shrinkage DS [%] Trockenschwindung TS [%]	not applicable entfällt	10.1	8.5	12.0
Firing shrinkage FS [%] Brennschwindung BS [%]	900°C	1.1	0.7	1.7
	935°C	1.4	0.7	1.9
Firing shrinkage FS [%] Brennschwindung BS [%]	970°C	2.6	1.6	3.7
	1000°C	3.3	2.2	4.6
Water absorption WA [mass-%] Wasseraufnahme WA [Masse-%]	900°C	12.8	9.1	15.4
	935°C	12.1	7.7	15.0
Water absorption WA [mass-%] Wasseraufnahme WA [Masse-%]	970°C	9.1	3.8	12.8
	1000°C	7.7	2.8	11.7
Body density D [g/cm ³] Scherbenrohddichte D [g/cm ³]	900°C	1.91	1.81	2.00
	935°C	1.93	1.83	2.04
Body density D [g/cm ³] Scherbenrohddichte D [g/cm ³]	970°C	2.01	1.87	2.15
	1000°C	2.05	1.90	2.20

»Table 3 Basic characteristics with regard to ceramics technology
»Tabelle 3 Keramtechnologische Basiskennwerte

water absorption (without vacuum) and body density were determined. As »Table 3 shows, the tested clays are characterized by an extremely high linear drying shrinkage in the range from 8.5 to 12.0%. The linear firing shrinkage values vary at a peak temperature of 1 000°C in the range from 2.2 to 4.6%. The associated water absorption ranges in a wide spectrum between 2.8 and 11.7 mass-%, body densities from 1.90 to 2.20 g/cm³ being obtained. All test specimens are characterized by an appealing red fired colour (»7).

4.3 Dry MoR and flexural strength

Determination of the dry MoR and flexural strength was based on DIN 51030 (latest draft of the standard). The prepared specimens were plasticized with water and their consistency adjusted corresponding to the batching water content. Then the plastic test specimens were prepared for the production of the plastic specimens for determination of their dry MoR and flexural strength. The test rods were first dried in air, then in a drying cabinet at 40°C and then at 110°C. From the results with values from 5.0 to 20.8 N/mm², mainly high to very high values for the MoR result. Determination of the strength of the test specimens fired at 1 000°C resulted in values ranging from 7.9 to 30.9 N/mm².

5 Technologically based optimizations of the raw material

5.1 Drying behaviour

On account of the dominance of inner-crystalline swelling clay minerals from the smectite group, the raw material needs a high water content to enable effective shaping. On account of the evaporation of the batching water, the volume of the mouldings decreased, which, as shown above, is accompanied by drying shrinkage. As the shrinkage always starts on the surface of the mouldings and only takes

im Laborversuch ausgesprochen schonend bei 40°C getrocknet. Nach Abschluss der Trocknung wurde an den Rohlingen die lineare Trockenschwindung ermittelt (beidseitige Schwindungsmarken an den Basisflächen senkrecht zur C-Achse).

Anschließend wurden die Prüfkörper im Elektrolaborofen bei insgesamt vier Brenntemperaturen im Intervall von 900°C bis 1 000°C gebrannt, in Anlehnung an die vermeintlich vor Ort herrschenden Ofenraumbedingungen in oxidierender Brennofenatmosphäre. Zur Bestimmung der Kennwerte wurden je Probe vier separate Brände durchgeführt. Man wählte dabei einen Temperaturgradienten von 100 Grad pro Stunde und eine Haltezeit bei der jeweiligen Spitztemperatur von einer Stunde.

Danach sind die temperaturabhängigen linearen Brennschwindungen, Wasseraufnahmen (ohne Vakuum) und Scherbenrohddichten bestimmt worden. Wie »Tabelle 3 zeigt, sind die geprüften Tone durch eine ausgesprochen hohe lineare Trockenschwindung im Bereich von 8,5 bis 12,0% gekennzeichnet. Die linearen Brennschwindungen variieren bei einer Spitztemperatur von 1 000°C im Bereich von 2,2 bis 4,6%. Die zugehörigen Wasseraufnahmen bewegen sich in einem breiten Spektrum zwischen 2,8 und 11,7 Masse-%, wobei Scherbenrohddichten von 1,90 bis 2,20 g/cm³ erzielt werden. Alle Prüfkörper sind durch eine ansprechend rote Brennfarbe gekennzeichnet (»7).

4.3 Trockenbruchfestigkeit und Biegezugfestigkeit

Die Bestimmung der Trockenbruchfestigkeit und Biegezugfestigkeit erfolgte in Anlehnung an die DIN 51030 (letzter Normentwurf). Die aufbereiteten Proben wurden mit Wasser plastifiziert und in ihrer Konsistenz entsprechend des Anmachwassergehaltes eingestellt. Danach erfolgte die Herstellung der plastischen Probekörper für die Bestimmung der Trockenbruchfestigkeit (TBF) und der Biegezugfestigkeit



»7 Fired hand-moulded specimen
»7 Gebrannter handgeformter Probekörper



»8 Open-air drying
»8 Freilufttrocknung

place in the interior of the mouldings later on, differences in shrinkage result, which can lead to relief cracks. Besides the shrinkage, the rate of water evaporation and capillary water transport are of crucial importance. This depends primarily on the particle size of the individual grain. With regard to fast and efficient drying, the high fraction of extremely fine clay grades of the smectite group therefore has an adverse effect. A changeover from the open air drying currently still in common practice (»8) to technologically optimized convection drying would therefore require optimization of the drying behaviour, i.e. a reduction of drying shrinkage and proneness to drying cracks. This can be achieved by selective optimization of the grading curve in the ultrafine range combined with the addition of stabilizing particles.

5.2 Firing behaviour

Based on the results of the simultaneous thermal analyses, the raw materials tested can be described as distinctly "sensitive to preheating". This can be attributed primarily to the high content of interlayer water of the inner-crystalline swelling clay mineral, which escapes during preheating in an endogenous reaction. Up to a temperature of 200°C, the specimens already showed mass losses of 3.8 to 5.8 mass-%. In the further course of preheating, the material is comparatively sensitive, here in endogenous reactions first OH-components of goethite and later OH-components from the decay of the clay mineral lattice are split off. In contrast the quartz inversion in the range around 573°C is not very pronounced. From this follows an extensive non-sensitivity on further heating and especially in the entire cooling zone (rapid cooling is possible). All fired specimens show in the selected temperature range an almost identical intense red fired colour and are free of spalling, melt-outs or other negative phenomena. A changeover from the common practice firing in clamp kilns to modern tunnel kilns would require a reduction in the preheating sensitivity and a widening of the sintering interval. This can be achieved with the addition of largely non-plastic illitic and/or kaolinitic raw materials.

6 Final remarks

The brick clays of Northern Sumatra are characterized by pronounced plasticity and high strengths but also by high

(BZF). Die Probestäbe wurden zunächst an der Luft, dann im Trockenschrank bei 40°C und danach bei 110°C getrocknet. Aus den Ergebnissen mit Werten von 5,0 bis 20,8 N/mm² ergeben sich meist hohe bis sehr hohe Trockenbruchfestigkeiten. Die Bestimmung der Festigkeit an den bei 1 000°C gebrannten Prüfkörpern ergab Werte im Bereich von 7,9 bis 30,9 N/mm².

5 Technologisch bedingte Optimierungen des Rohmaterials

5.1 Trocknungseigenschaften

Aufgrund der Dominanz von innerkristallin quellfähigen Tonmineralen der Smektit-Gruppe ist die zur Formgebung erforderliche Wasserbeladung des Rohstoffs sehr hoch. Durch Verdunstung des Anmachwassers verringern die Rohlinge ihr Volumen, was, wie oben gezeigt, mit hohen Trockenschwindungen verbunden ist. Da die Schwindung grundsätzlich an der Oberfläche der Rohlinge beginnt und im Rohlingsinneren erst später erfolgt, entstehen Schwindungsdifferenzen, die insbesondere bei verkürzten Trocknungszeiten zu Entlastungsrissen führen können. Neben der Schwindung sind auch die Geschwindigkeit der Wasserverdunstung und des kapillaren Wassertransportes von maßgebender Bedeutung. Diese hängt vor allem von der Teilchengröße der einzelnen Partikel ab. In Bezug auf eine möglichst schnelle und effiziente Trocknung wirkt sich der hohe Anteil an extrem feinteiligen Tonpartikeln der Smektit-Gruppe daher nachteilig aus. Eine Umstellung der derzeit noch praktizierten Freilufttrocknung (»8) auf eine technologisch optimierte Konvektionstrocknung setzt deshalb Optimierungen der Trocknungseigenschaften, also eine Verminderung der Trockenschwindung und damit der Trockenrissempfindlichkeit, voraus. Dies kann durch gezielte Optimierung der Körnungslinie im Feinstkornbereich bei gleichzeitiger Zugabe von Stützkorn erfolgen.

5.2 Brenneigenschaften

Nach den Ergebnissen der Simultan-Thermo-Analysen sind die untersuchten Rohmaterialien als ausgesprochen „aufheizensensibel“ zu bezeichnen. Dies wird vor allem durch den hohen Zwischenschichtwasseranteil der innerkristallin quellfähigen Tonminerale verursacht, der beim Aufheizen mit endogener Reaktion entweicht. Bis zu einer Temperatur von 200°C weisen die Proben bereits Masseverluste von 3,8 bis 5,8 Masse-% auf. Auch im weiteren Verlauf des Aufheizens

drying and preheating sensitivity. A high content of sodium initiates early body formation, but with a narrow sintering interval. A high content of fine goethite without carbonates ensures brilliant red fired colours. Updating brickmaking with the adoption of modern production methods would require a technical-technological restart, associated with mineralogical optimization of the raw material basis. According to preliminary studies, the drying and firing behaviour can be improved by the addition of largely non-plastic clay shale or raw kaolins. In principle the production of modern masonry bricks, clinkers and roofing tiles is possible. With consideration of the local geological environment, opening with appropriate volcanites and metamorphites would also be feasible.

¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Stilleweg 2 | 30655 Hannover | Germany
simone.roehling@bgr.de | www.bgr.bund.de

² Reinhard Walter (Diplom-Geologe)

Brodenbacher Weg 2 | 13088 Berlin | Germany
geo.reinhardwalter@web.de | www.bgr.bund.de

³ Dr. Krakow Rohstoffconsult

Hans-Böckler-Straße 2 | 37079 Göttingen | Germany
T +49 (0) 55 15 04 55 31 | F +49 (0) 55 15 04 55 50
krakow@rohstoffconsult.de | www.dr-krakow-labor.de

ist das Material noch vergleichsweise empfindlich, hier werden in endogenen Reaktionen zunächst OH-Baugruppen vom Goethit und später OH-Baugruppen vom Zerfall der Tonmineralgitter abgespalten. Dagegen ist der Quarzsprung im Bereich um 573°C nur gering ausgeprägt. Hieraus folgt eine weitgehende Unempfindlichkeit beim weiteren Aufheizen und insbesondere in der gesamten Kühlzone (Sturzkühlung möglich). Alle Brennproben weisen im gewählten Temperaturbereich eine nahezu identische, intensiv rote Brennfarbe auf und sind frei von Abplatzungen, Ausschmelzungen oder anderen negativen Erscheinungen. Eine Umstellung des derzeit praktizierten Brennens in Feldbrandöfen auf moderne Tunnelöfen setzt eine Minderung der Aufheizempfindlichkeit sowie eine Aufweitung des Sinterintervalls voraus. Dies kann durch Zusatz weitgehend unplastischer illitischer und/oder kaolinitischer Rohstoffe erfolgen.

6 Schlussbemerkungen

Die Ziegeltone von Nordsumatra sind durch ausgeprägte Plastizität und hohe Festigkeiten, aber auch durch hohe Trocknungs- und Aufheizsensibilität gekennzeichnet. Hohe Anteile an Natrium leiten eine frühe Scherbenbildung bei allerdings engem Sinterintervall ein. Hohe Gehalte an feinem Goethit ohne Karbonate sorgen für leuchtend rote Brennfarben. Die Umstellung der Ziegelherstellung auf moderne Produktionsmethoden setzt einen technisch-technologischen Neustart voraus, der mit mineralogischen Optimierungen der Rohstoffbasis verbunden ist. Nach exemplarischen Voruntersuchungen können die Trocknungs- und Brenneigenschaften durch Zusatz von weitgehend unplastischen Schiefertönen oder Rohkaolinen deutlich verbessert werden. Vom Grundsatz ist danach die Herstellung von modernen Mauerziegeln, Klinkern und Dachziegeln möglich. Unter Berücksichtigung des geologischen Umfeldes ist ebenso an eine Abmagerung mit geeigneten Vulkaniten und Metamorphiten zu denken.

