

Klaus-Jürgen Hüniger  
 Brandenburgische Technische Universität Cottbus  
 huenger@tu-cottbus.de  
 Lutz Krakow  
 Labor Dr. Krakow RohstoffConsult  
 krakow@rohstoffconsult.de

# Projekt ALKEKOM – Aschegebundenes Ton-/Lehmfeinkornsystem



Bild 1 Ressourcenschonung: Rückbau Tonhalde Big Brandenburg

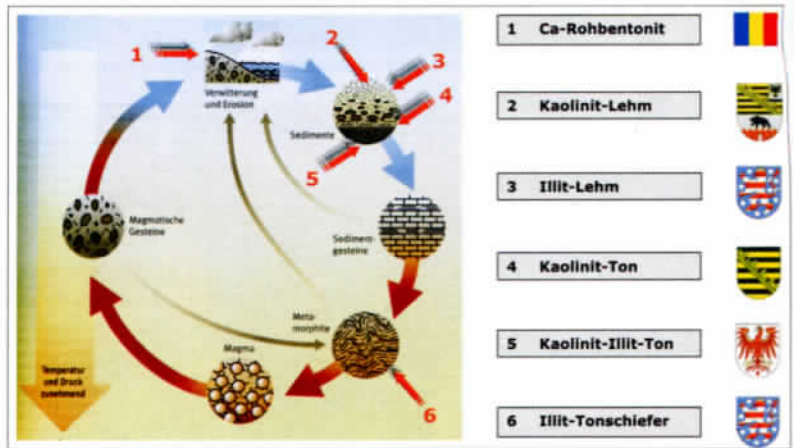


Bild 2 Ausgewählte Tone im Kreislauf der Gesteine (ergänzt aus Rothe, P. 2002)

## Kurzfassung

Im Rahmen des vorliegenden Zwischenberichtes werden erste Ergebnisse aus einem derzeit laufenden FuE-Projekt vorgestellt. In Kooperation mit dem Lehrstuhl Baustoffe und Bauchemie der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus entwickelt das Labor Dr. Krakow RohstoffConsult in Göttingen ein stoffliches und technisches Verfahren zur Herstellung von kleinformatigen Bau- und Formteilen. Das Verfahren basiert auf chemisch-mineralogischen Wechselwirkungen zwischen bestimmten Aschen und Aluminatkomponenten von mineralischen Feinkornsystemen. Ziel ist es, das natürliche Eigenerhärtungsvermögen der Aschen in Kombination mit geeigneten reaktiven Feinkornsystemen zu optimieren. Nach erfolgreichem Abschluss des Vorhabens sollen Bauteile mit konventioneller ziegeleitechnischer Aufbereitungs- und Formgebungstechnik unter Verzicht eines energieintensiven Trocknungs- und Brennprozesses hergestellt werden. Die Herstellung zeichnet sich durch einen hohen Beitrag zur Ressourcenschonung sowie Energieeinsparung und damit auch durch eine CO<sub>2</sub>-Reduzierung aus. Das Vorhaben wird von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AIF) gefördert.

## Tonauswahl und Charakterisierung

Im Vorhaben sollen unterschiedliche Typen von Aschen mit Feinkornsystemen kombiniert und getestet werden, wobei der Begriff „Feinkornsystem“ die Gruppe der gesamten Tongesteine, also alumosilikatische Locker- und Festgesteine mit einer medianen Korngröße von  $d < 63 \mu\text{m}$  umfasst. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden darunter plastische Lehme, Mergel und Tone, aber auch eher unplastische Tonsteine, Schiefertone und Tonschiefer verstanden. Nach umfangreichen Vorversuchen sind methodische Kriterien zur Auswahl der Tongesteine (nachfolgend vereinfacht als „Tone“ bezeichnet) erarbeitet worden.

Dabei haben sich zum einen die Konsistenz und Plastizität sowie die bautechnische Klassifizierung im CASAGRANDE-Diagramm gemäß DIN 18 196 als maßgebend erwiesen. Zum anderen ist die tonmineralogische Zusammensetzung, insbesondere der Gehalt an innerkristallin quellfähigen Tonmineralen, relevant für Wechselwirkungen mit Aschen. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse sind für weitere Untersuchungen insgesamt 6 Materialien gemäß Tab. 1 ausgewählt worden.

Bild 2 zeigt die Position der ausgewählten Tone innerhalb des Kreislaufs der Gesteine. An erster Stelle steht dabei ein känozoischer Ca-Rohbentonit von halbfester Konsistenz, der durch Verwitterung vulka-

nischer Aschen entstanden ist und als autochthone Bildung auf primärer Lagerstätte liegt. Aus der Gruppe der allochthonen Sedimente haben sich die Materialien 2–5 mit weichen bis steifplastischer Konsistenz als interessant erwiesen. Es handelt sich ebenfalls um känozoische Bildungen, die sich allerdings hinsichtlich des Anteils und der Art der Tonminerale erheblich voneinander unterscheiden. Aus der Reihe der diagenetisch verfestigten Gesteine ist abschließend ein frühmetamorph überprägter Tonschiefer aus der Zeit des Paläozoikums, speziell des Unteren Karbons ausgewählt worden. Die große Bandbreite in den Materialien spiegelt sich auch in den granulometrischen Eigenschaften wie-

| Material-Nr.:                  | Material 1                     | Material 2                     | Material 3                          |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Geologische Bezeichnung</b> | Ca-Rohbentonit                 | Kaolinitischer Lehm            | Illitischer Lehm                    |
| <b>DIN 18 196</b>              | TA: ausgeprägt plastischer Ton | TM: mittelpastischer Ton       | TA: ausgeprägt plastischer Ton      |
| <b>Region</b>                  | Baia Mare, Maramures           | Naumburg, Sachsen-Anhalt       | Schmölln, Thüringen                 |
| <b>Land</b>                    | Rumänien                       | Deutschland                    | Deutschland                         |
| Material-Nr.:                  | Material 4                     | Material 5                     | Material 6                          |
| <b>Geologische Bezeichnung</b> | Kaolinitischer Ton             | Illitisch-kaolinitischer Ton   | Illitisch-chloritischer Tonschiefer |
| <b>DIN 18 196</b>              | TA: ausgeprägt plastischer Ton | TA: ausgeprägt plastischer Ton | TL: leicht plastischer Ton          |
| <b>Region</b>                  | Leipzig, Sachsen               | Cottbus, Brandenburg           | Kamsdorf, Thüringen                 |
| <b>Land</b>                    | Deutschland                    | Deutschland                    | Deutschland                         |

Tab. 1 Geologisch-bautechnische Klassifizierung der Tone



der. Wie aus Bild 3 hervorgeht, schwankt der Feinstkornanteil <2 µm in einem weiten Spektrum von 21–86 Masse-%, der Stützkornanteil d >63 µm bewegt sich im Bereich von 2–37 Masse-%.

Um Wechselwirkungen mit Aschen zu erforschen, soll hinsichtlich der mineralogischen Zusammensetzung der Tone ebenfalls eine möglichst große Bandbreite abgedeckt werden. Tab. 2 zeigt, dass der Gesamttonmineralgehalt der für künftige Untersuchungen ausgewählten Tone in Grenzen von  $\Sigma$  TM = 50–91 Masse-% variiert. Auch im Hinblick auf die Art der einzelnen Tonminerale wird eine möglichst große Variabilität angestrebt. Während sich die Tonmineralfraktion von Material 1 ausschließlich aus innerkristallin quellfähigen Dreischichtsilikaten der Smektit-Gruppe zusammensetzt, wird Material 4 sehr deutlich von innerkristallin nicht quellfähigen Zweischichtmineralen der Kaolinit-Gruppe geprägt. Die Materialien 3 und 4 sind dagegen durch eine eher multiminerale Zusammensetzung, teils mit Dominanz auf Zweischichtsilikaten, teils mit Dominanz auf innerkristallin nicht quellfähigen Dreischichtsilikaten der Glimmer-Gruppe, charakterisiert. Material 6 repräsentiert dagegen die typische Paragenese paläozoischer, also geologisch sehr alter Tone. Diese Tone sind durch einerseits durch mechanische Kompaktion des Poren- und Mikrogefüges bei gleichzeitiger Dehydrierung, andererseits durch spätdiagenetische und frühmetamorphe Mineralumbildungen gekennzeichnet. Hier werden typischerweise hohe Gehalte an innerkristallin nicht quellfähigen Mineralen der Glimmer-Gruppe (Illit) neben ebenfalls innerkristallin nicht quellfähigen Vierschichtsilikaten der Chlorit-Gruppe analysiert.

## Auswahl und Charakterisierung der Aschen

Um auf den energieintensiven Trocknungs- und insbesondere auch Brennprozess verzichten zu können, muss den Tonen eine Bindemittelkomponente zugefügt werden, die ein eigenes Erhärungsvermögen besitzt. Dabei ist durchaus ebenfalls eine zusätzliche Reaktion dieser selbst reagierenden Bindemittelkomponente mit bestimmten aktiven Tonbestandteilen zu berücksichtigen. Im Allgemeinen können sol-

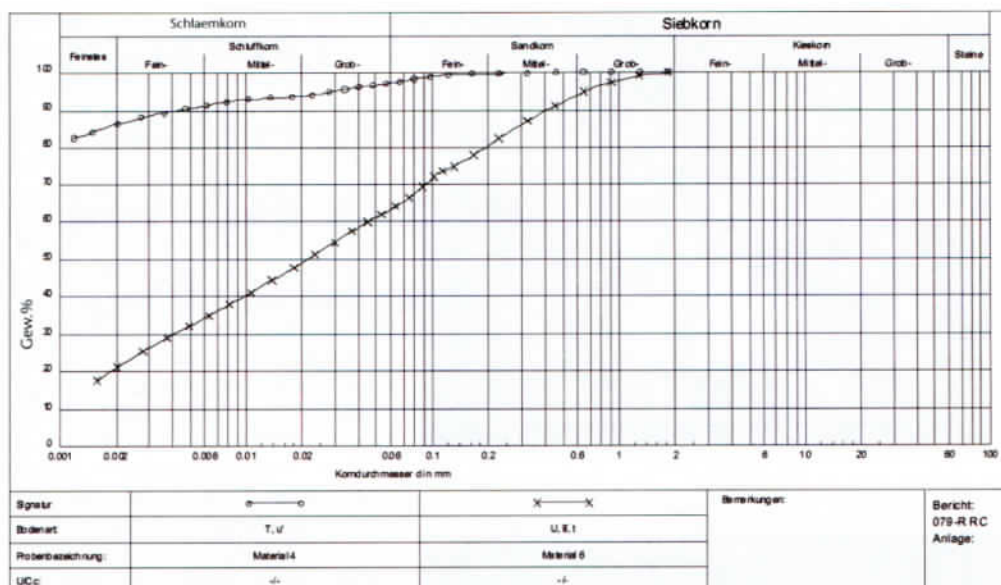


Bild 3 Körnungsband der Tone nach DIN 18 123

| Mineralphasen             | Material 1  | Material 2  | Material 3  | Material 4  | Material 5  | Material 6    |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| <b>Tonminerale:</b>       | <b>65</b>   | <b>50</b>   | <b>61</b>   | <b>91</b>   | <b>58</b>   | <b>67</b>     |
| Kaolinit (n)              | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.          |
| Kaolinit-D (n)            | n.n.        | 32          | 21          | 74          | 35          | n.n.          |
| Illit / Glimmer (n)       | n.n.        | 15          | 33          | 9           | 15          | 58            |
| Illit-Smektit (q)         | n.n.        | 2           | 7           | 3           | 3           | n.n.          |
| Smektit (q)               | 65          | 1           | n.n.        | 4           | 3           | n.n.          |
| Chlorit (n)               | n.n.        | n.n.        | n.n.        | 1           | 2           | 9             |
| Chlorit-Vermikulit (q)    | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.          |
| <b>Tektosilikate:</b>     | <b>20</b>   | <b>47</b>   | <b>34</b>   | <b>9</b>    | <b>42</b>   | <b>30</b>     |
| Quarz                     | n.n.        | 45          | 29          | 9           | 40          | 25            |
| Cristobalit / Tridymit    | 10 / 10     | n.n. / n.n. | n.n. / n.n. | n.n. / n.n. | n.n. / n.n. | n.n. / n.n.   |
| Albit                     | n.n.        | 1           | n.n.        | n.n.        | < 1         | 4             |
| Kalifeldspat              | n.n.        | 1           | 5           | n.n.        | < 1         | < 1           |
| <b>Karbonate:</b>         | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b> | <b>&lt; 2</b> |
| Calcit                    | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | < 1           |
| Dolomit                   | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | < 1           |
| Siderit                   | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.          |
| <b>Oxide:</b>             | <b>n.n.</b> | <b>1</b>    | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b> | <b>&lt; 1</b> |
| Hämatit                   | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | < 1           |
| Anatas / Rutil            | n.n. / n.n. | 1 / n.n.    | n.n. / n.n. | n.n. / n.n. | n.n. / n.n. | n.n. / n.n.   |
| <b>Hydroxide:</b>         | <b>n.n.</b> | <b>2</b>    | <b>4</b>    | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b>   |
| Goethit / Limonit         | n.n. / n.n. | 2 / n.n.    | 4 / n.n.    | n.n. / n.n. | n.n. / n.n. | n.n. / n.n.   |
| Lepidokrokit              | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.          |
| <b>Sulfide / Sulfate:</b> | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b> | <b>1</b>    | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b>   |
| Pyrit / Markasit          | n.n. / n.n. | n.n. / n.n. | n.n. / n.n. | n.n. / n.n. | n.n. / n.n. | n.n. / n.n.   |
| Gips / Jarosit            | n.n. / n.n. | n.n. / n.n. | n.n. / 1    | n.n. / n.n. | n.n. / n.n. | n.n. / n.n.   |
| <b>Sonstige:</b>          | <b>15</b>   | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b> | <b>n.n.</b>   |
| Opal                      | 15          | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.          |
| n.n.                      | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.          |
| n.n.                      | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.        | n.n.          |

Tab. 2 Mineralogische Zusammensetzung der Tone (RDA/FTIR \* in Masse-%)



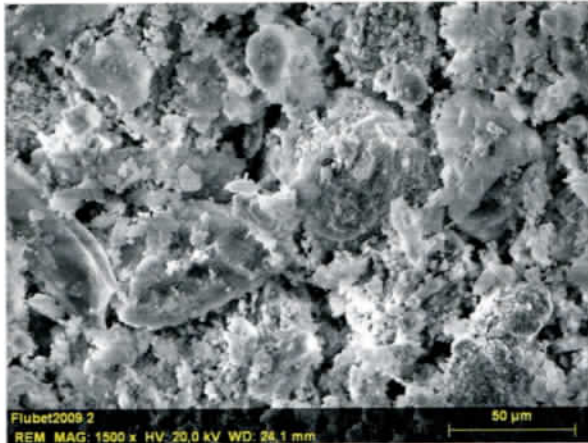


Bild 4 REM-Aufnahme der Asche III

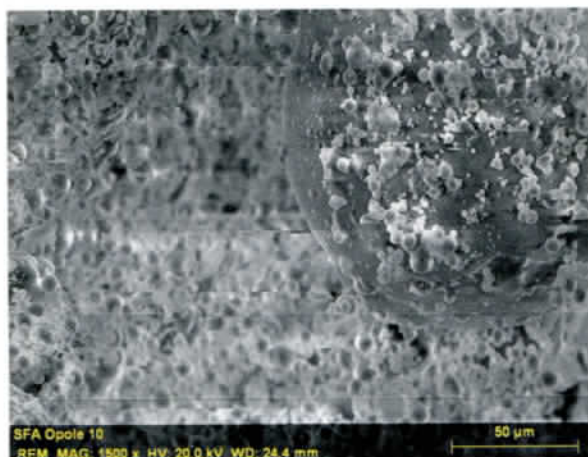


Bild 5 REM-Aufnahme der Asche II

che Komponenten als hydraulisch bzw. latent hydraulisch erhärtende Bindemittel bezeichnet werden. Prinzipiell aus diesen reaktiven Gesichtspunkten stehen hierfür Zemente, hydraulische Kalke und Flugaschen zur Verfügung. Neben diesen reaktiven Eigenschaften kommt dieser zweiten Komponente im System ALEKOM aber auch eine technologische Bedeutung zu. Pulverförmige Bestandteile verändern die Verarbeitungseigenschaften des Gesamtsystems und damit die Extrudierfähigkeit des Tones durch Zufuhr von „sandigen“, im Sinne von nicht bildsamen“ Bestandteilen. Damit gilt es auch granulometrische Eigenschaften beider Komponenten aufeinander abzustimmen (Korngrößenanpassung im Feinstkornbereich, ähnlich den Maßnahmen bei der Entwicklung von Hochleistungsbetonen). Und ein dritter, nicht zu unterschätzender Gesichtspunkt ist, dass der hydraulisch reagierende Binder auch unter Wärmeeinwirkung nicht zu schnell abbindet, um die keramischen ALEKOM-Massen über einen aus der Technologie her abzuleitenden Zeitraum verarbeitbar zu halten. Damit fallen Zemente heraus und übrig bleiben, auch aus Gründen der Anwendung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, Flugaschen aus der Braunkohlenverbrennung. Deren hydraulische Reaktivität hängt insbesondere von der Zusammensetzung ab.

Wichtig für die Auswahl der Aschen sind folgende Parameter:

- Freier Kalk (CaO)
- Sulfatgehalt der Asche (meist als Anhydrit vorliegend)
- Glasgehalt (amorphe Bestandteile – teilweise reaktiv als Aktivglas)

Calciumsilikate bzw. Calciumaluminat spielen meist eine mengenmäßig sehr untergeordnete Rolle. Alle anderen Bestandteile sind als inert und damit als Feinstgesteinskörnung im Gesamtsystem anzusehen. Aus diesen Überlegungen heraus wurden bisher insgesamt 7 Aschen in die weiteren Untersuchungen aufgenommen, wobei nicht alle Aschen gleichermaßen Füll- und Reaktivitätseigenschaften aufweisen. Die Auswahl beinhaltet einerseits kalk- und sulfatarme, dafür aber sehr quarzreiche, weitgehend inerte Aschen (Asche I, Asche II) bis hin zu Aschen mit mittleren Kalk- und Sulfatgehalten und einem gewissen Anteil an Aktivglas (BFA III, BFA V). Auf sehr kalkreiche und auch gleichzeitig hochsulfathaltige Aschen wurde verzichtet, da diese aufgrund von gefährlichen Treibreaktionen nur sehr schwer beherrschbar sind.

Anhand einer chemischen und mineralogischen Charakterisierung wurde die mineralogische Phasenzusammensetzung der Aschen ermittelt. Die Herangehensweise kann dabei folgendermaßen charakterisiert werden:

- Chemische Analyse der Aschen mittels RFA an eingebetteten Pulvern
- Qualitative und halbquantitative Bestimmung der Mineralphasen mittels XRD/RDA
- Berechnung des quantitativen Phasenbestandes über die Anwendung der Äquivalentnormmethode von NIGGLI (1959)

Damit sind neben der chemischen Zusammensetzung der Gesamtprobe auch der Anteil und die ungefähre Zusammensetzung der amorphen Aschebestandteile (also der Gläser) bestimmbar. Für die verwendeten Aschen sind die Ergebnisse dieser Berechnungen in Tab. 4 zusammen-

gestellt. Einen Eindruck von der Kornstruktur solcher Aschen vermitteln die Bilder 4 und 5 aus raster-elektronenmikroskopischen Untersuchungen der pulverförmigen Ausgangsstoffe. Für erste Versuche wurden aus den 7 Aschen die BFA III und die BFA V rein aus chemischer und mineralogischer Sicht ausgewählt. In Kombination mit den ausgewählten Tonen ergibt sich ein damit sehr umfangreicher Versuchsplan, der nunmehr abgearbeitet werden soll.

## Schlussbemerkungen

Nach umfangreichen Vorversuchen und sorgfältigster Auswahl der zu kombinieren Komponenten laufen derzeit die ersten Mischversuche an. Aus ersten Versuchen zur Probekörperherstellung mittels kleiner und großer Labor-Vakuumstrangpressen liegen jedoch bereits erste Erfahrungen zur Extrudierfähigkeit solcher komplex zusammengesetzter ALEKOM-Massen vor. Die Herstellung kleinformatiger Bauteile mittels Extrudertechnologie erscheint prinzipiell möglich, deren Eigenschaften werden durch die Auswahl aufeinander abgestimmter Ausgangsstoffe bestimmt. Künftige Schwerpunkte des Vorhabens liegen auf der Bewertung und Entwicklung des Festigkeitsverhaltens sowie auf der erforderlichen Dauerbeständigkeit und Umweltverträglichkeit der Prüfkörper. Bei aller Innovation existieren Ton-Asche-Feinkornsysteme auch in der freien Natur. So entsteht ein Großteil der Tonminerale am Übergang von der Lithosphäre zur Atmosphäre aus der chemischen Verwitterung vulkanischer Aschen. Moderne Forschung von der Natur inspiriert ist eine gute Grundlage für den Erfolg.

|                              | (BFA I) | (BFA II) | (BFA III) | (BFA IV) | (BFA V) | (BFA VI) | (BFA VII) |
|------------------------------|---------|----------|-----------|----------|---------|----------|-----------|
| Amorph                       | 11,0    | 42,9     | 73,0      | 48,5     | 50,8    | 61,8     | 52,6      |
| Anhydrit                     | 2,9     | 2,6      | 6,3       | 16,2     | 10,3    | 1,2      | 2,0       |
| Brownmil C <sub>4</sub> AF   | 10,7    | 5,3      | 0,0       | 1,4      | 1,8     | 2,6      | 4,4       |
| CaO                          | 0,9     | 1,6      | 4,7       | 4,2      | 9,5     | 1,9      | 2,2       |
| Calcit                       | 0,0     | 0,0      | 0,0       | 2,2      | 3,0     | 0,0      | 0,0       |
| Eisenoxyde<br>Magnesiumoxyde | 10,4    | 5,0      | 2,1       | 1,4      | 1,6     | 3,9      | 5,2       |
| Mullit                       | 8,7     | 4,1      | 4,8       | 9,5      | 6,0     | 17,0     | 17,8      |
| Quarz                        | 52,1    | 35,4     | 5,0       | 7,0      | 10,3    | 8,2      | 13,1      |
| Anorthit / FS                | 3,3     | 3,1      | 4,1       | 9,6      | 6,7     | 3,4      | 2,7       |

Tab. 3 Mineralogische Zusammensetzung der Aschen (RFA/RDA/NIGGLI \* in Masse-%)