

Materialsimulation zur Senkung des Mahlenergiebedarfs von porösen Hüttensanden

Dr. Claas Bierwisch

Hüttensand ist ein weitestgehend glasig erstarrtes Hochofenschlackengranulat, das nach dem Hochofenabstich aus der flüssigen Schlacke mittels Zerteilung und Abschreckung durch hohen Druckwasserüberschuss in Granulationsanlagen gewonnen wird. Er wird auf Zementfeinheit gemahlen und seit Jahrzehnten bei der Herstellung von Zement und Beton eingesetzt. Der Energiebedarf für den Mahlprozess ist außerordentlich hoch und steigt mit der Feinheit exponentiell an. Jährlich entfallen ca. 38 Prozent des Strombedarfs der deutschen Zementindustrie auf die Mahlung der verschiedenen Bestandteile des Zements. Um den Mahlenergiebedarf zu reduzieren, ist eine genauere Kenntnis und Verbesserung der zerkleinerungsrelevanten Eigenschaften des Hüttensandes notwendig. In dem gemeinsamen IGF-Projekt Nr. 20187 N untersuchten das Fraunhofer IWM und das FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e. V. den Einfluss der Porosität von Hüttensanden (Abbildung unten links) auf deren Zerkleinerungsverhalten.

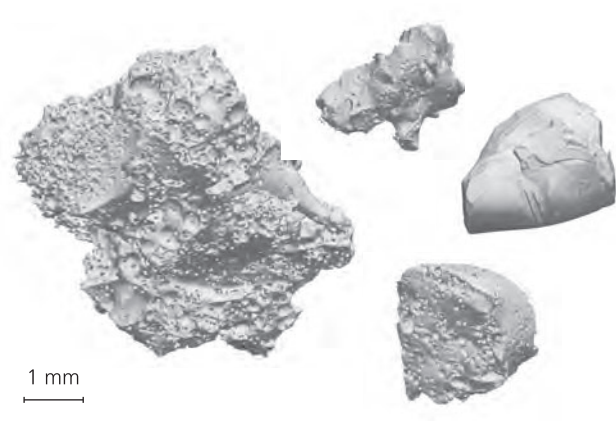
Erzeugung von Kornmodellen mit Poren, Einschlüssen und Rissen

Im Rahmen partikelbasierter Materialsimulationen wurde ein Spröbruchmodell zur Beschreibung der Zerkleinerung der Hüttensandkörner verwendet. Es wurden Modellkörner algorithmisch generiert, die 100 Prozent Dichte oder eine definierte

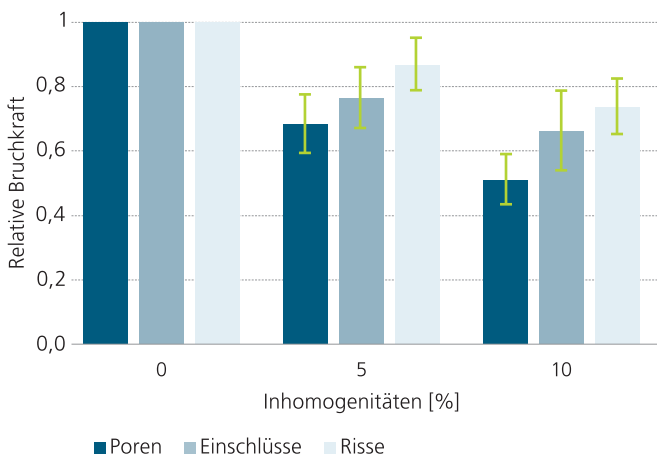
Porosität beziehungsweise harte Einschlüsse aufweisen. Die Poren oder Einschlüsse sind dabei kugelförmig und monodispers (Abbildung unten links). Darüber hinaus wurde ein Ansatz entwickelt, um Risse in den Körnern in der Modellierung berücksichtigen zu können. Solche Risse in Hüttensandkörnern sind in REM-Aufnahmen und zum Teil auch in 3D-CT-Analysen, die an einer Vielzahl von Hüttensanden vorgenommen worden waren, gut erkennbar. Dazu wird vor Beginn der Mahlsimulation ein vorgegebener Anteil der inneren Kraftbrücken, die den Zusammenhalt des Kornes verursachen, aufgelöst. Dies entspricht einer Vorschädigung des Kornes durch Risse vor dem Mahlvorgang.

Simulation der Bruchfestigkeit einzelner Hüttensandkörner

Modellkörner wurden in numerischen Simulationen unter uniaxialer Kompression zwischen zwei Flächen oder unter Scherung zwischen zwei Winkeln bis zum Bruch belastet. Der Effekt, den Poren und Risse oder Einschlüsse auf die für die Modellkörner benötigte Bruchkraft haben, wurde systematisch über alle Simulationen hinweg ausgewertet (Abbildung unten rechts). Die Simulationen zeigen, dass der Einfluss der Porosität am größten ist. Schon bei 5 Volumenprozent Porosität sinkt die Bruchkraft im Mittel auf 70 Prozent des Ausgangswertes. Bei



3D-CT-Rekonstruktionen ausgewählter Körner von vier in der Porosität stark unterschiedlichen Hüttensanden.

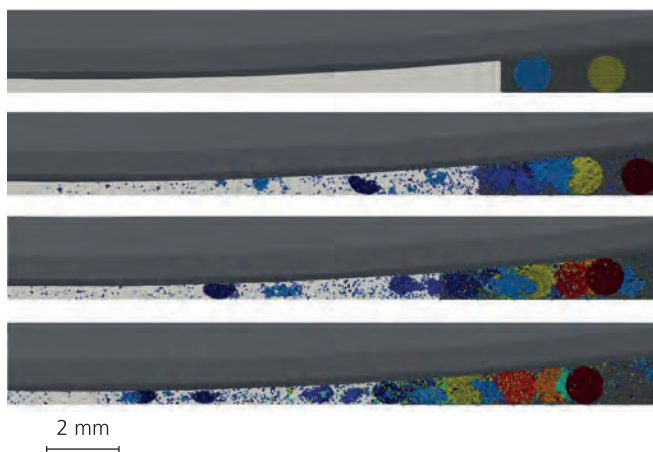


Simulierte relative Bruchkräfte gemittelt über alle Belastungsarten als Funktion des Anteils der Inhomogenitäten.

10 Volumenprozent Porosität beträgt die Bruchkraft nur noch 50 Prozent des Referenzwertes für ein vollständig dichtes Korn. Verglichen mit den Poren ist der Effekt durch kristalline Einschlüsse etwas geringer, gefolgt von dem Einfluss durch Risse. Ein Anteil von 10 Prozent Rissen im ansonsten dichten Korn führt zu etwa 70 Prozent der Referenzbruchkraft.

Praxisnahe Modellierung einer Walzenschüsselmühle

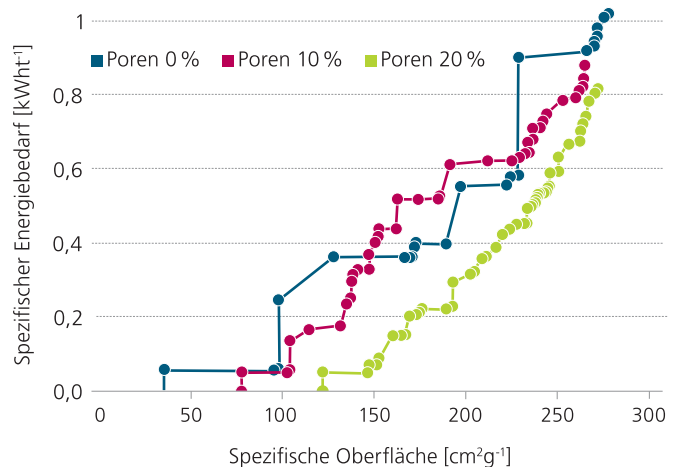
Walzenschüsselmühlen haben für die Zementherstellung und insbesondere für die Hüttensandmahlung aufgrund ihrer Energieeffizienz und anderer Vorteile große Bedeutung erlangt. Daher wurde am Fraunhofer IWM in Zusammenarbeit mit der Loesche GmbH ein Simulationsmodell einer Walzenschüsselmühle im Technikumsmaßstab erstellt. Um die Zerkleinerung im Mahlpalt untersuchen zu können, wurden mikroskopische Simulationen unter Verwendung eines Kornbruchmodells durchgeführt. In Schnappschüssen einer solchen Simulation (Abbildung unten links) befinden sich die farblich unterscheidbaren Körner zunächst vor dem Mahlpalt und sind in der nächsten Aufnahme bereits teilweise fragmentiert. Die Walze und der Mahlteller rotieren mit konstanter Winkelgeschwindigkeit, während die Höhe des Mahlpalts konstant gehalten wird. Für die so modellierte



Simulation des Mahlens einzelner Modellkörner im Mahlpalt einer Walzenschüsselmühle.

Walzenschüsselmühle wurde der spezifische Mahlenergiebedarf als Funktion der spezifischen Oberfläche berechnet und aufgetragen (Abbildung unten rechts). Es zeigt sich ein sinkender spezifischer Mahlenergiebedarf mit steigender Porosität für eine spezifische Oberfläche. Dies steht im Einklang mit dem Ergebnis einer sinkenden Bruchkraft bei steigender Kornporosität (Abbildung Seite 22 rechts). Somit sollte aus mahltechnischer Sicht bei der Granulation von flüssiger Hochofenschlacke zu Hüttensand nach Möglichkeit eine hohe Kornporosität eingestellt werden.

Die im Projekt entwickelten Modelle können leicht auf Walzenschüsselmühlen anderer Hersteller übertragen werden oder auch auf andere Zerkleinerungsanlagen, wie Kugelmühlen oder Rotormühlen, um deren Energiebedarf zu senken.



Spezifischer Mahlenergiebedarf in Abhängigkeit von der spezifischen Oberfläche für Modellkörner unterschiedlicher Porosität.