

Energiesparende Verfahren zur Bildung hochporöser Strukturen im Ziegelton

Hochlochziegel sind hochporosierte Wandbaustoffe, die eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Die Ziegelwärmeleitfähigkeit setzt sich aus der Wärmeleitung durch das Scherbengerüst und der Wärmeleitung durch die Dämmstoffe der gefüllten Lochkammern. Bei ungefüllten Ziegeln ist außerdem die Wärmestrahlung von Steg zu Steg der Lochkammern relevant. Die wesentliche Einflussgröße ist auf die Ziegelwärmeleitfähigkeit ist daher die Scherbenwärmeleitfähigkeit. Der Ziegelscherben ist durch Poren aufgelockert, die durch den Ausbrand von organischen Porosierungsstoffen und durch hochporöse anorganische Leichtstoffe entstehen. Ziegelrohlinge benötigen zur Erwärmung 1000 K, das entspricht der Verbrennung von 0,05 kg Holz. Dies begrenzt den Einsatz der Ausbrennstoffe, denn große Ausbrennstoffmengen führen zum Verlust der Regelbarkeit des Tunnelofens.

Gasbildende Reaktionen führen hingegen nicht zur Energiefreisetzung. Besonders geeignet ist metallisches Aluminium zur Porosierung. Aluminiumpulver reagiert im alkalischen, wässrigen Milieu zu Aluminat unter Wasserstofffreisetzung. Das entstehende Aluminat ist nicht beständig, sondern reagiert weiter zu höhermolekularen Oxoverbindungen. Hydroxoaluminat, die bei hohen bis sehr hohen pH-Werten in Lösung vorliegen, können mehrkernige, unter geeigneten Bedingungen in Form von Salzen ausfällbare Hydroxoaluminat bilden. Es entsteht $\text{Na}_3[\text{Al}_3\text{O}_2(\text{OH})_8]$. Diese Salze gehen beim Erhitzen über Zwischenstufen in wasserfreie, hochpolymere Aluminat $[\text{AlO}_2]^-_x$ über. Das Aluminiumpulver wird in verschiedenen Korngrößen und Modifikationen hergestellt, so dass die Porengröße und die Reaktionsgeschwindigkeit in einem gewissen Maß gesteuert werden kann. Durch Temperaturerhöhung wird die Wasserstofffreisetzung beschleunigt.

Es entstehen durch 0,15 M.-% Aluminium theoretisch 70 Vol.-% Poren. Praktisch wird ein großer Teil durch das Eigengewicht und den Extrusionsdruck zerstört. Die Poren sind im Vergleich zu Tensidschaum deutlich feiner und damit stabiler. Für die gasbildende Reaktion ist ein alkalisches Milieu notwendig, dass durch den Calciumhydroxidzusatz erreicht wird. Calciumhydroxid reagiert mit Wasser und steift so die Masse an. Nebeneffekt ist, dass die Trockenschwindung reduziert und so eine rissfreie Trocknung ermöglicht wird. Die alleinige Porosierung der Lochziegel mit Aluminium ist nicht sinnvoll. Der Einsatz eines leichten, möglichst runden Stützkorns stabilisiert die Masse.

Die beispielhafte Mischung WLCSGBH wurde mit Pfefferkorn 13 extrudiert. Durch die ansteifende Reaktion des Calciumhydroxids bleibt der Rohling dennoch formstabil. Nach 15 min ist die Porenbildung durch das metallische Aluminium abgeschlossen. Vor Extrusion muss die Gasbildung abgeschlossen sein, damit es nicht zur „Pickel-

bildung“ an der Oberfläche kommt. Die Frischrohddichte ist so hoch, dass durch das Eigengewicht des Tons 40 % der Poren zerstört wird. Wird die Anfangswasserbeladung erhöht, steigt die Trockenschwindung. Abgesehen davon, lässt sich die Masse nicht mehr formstabil extrudieren.

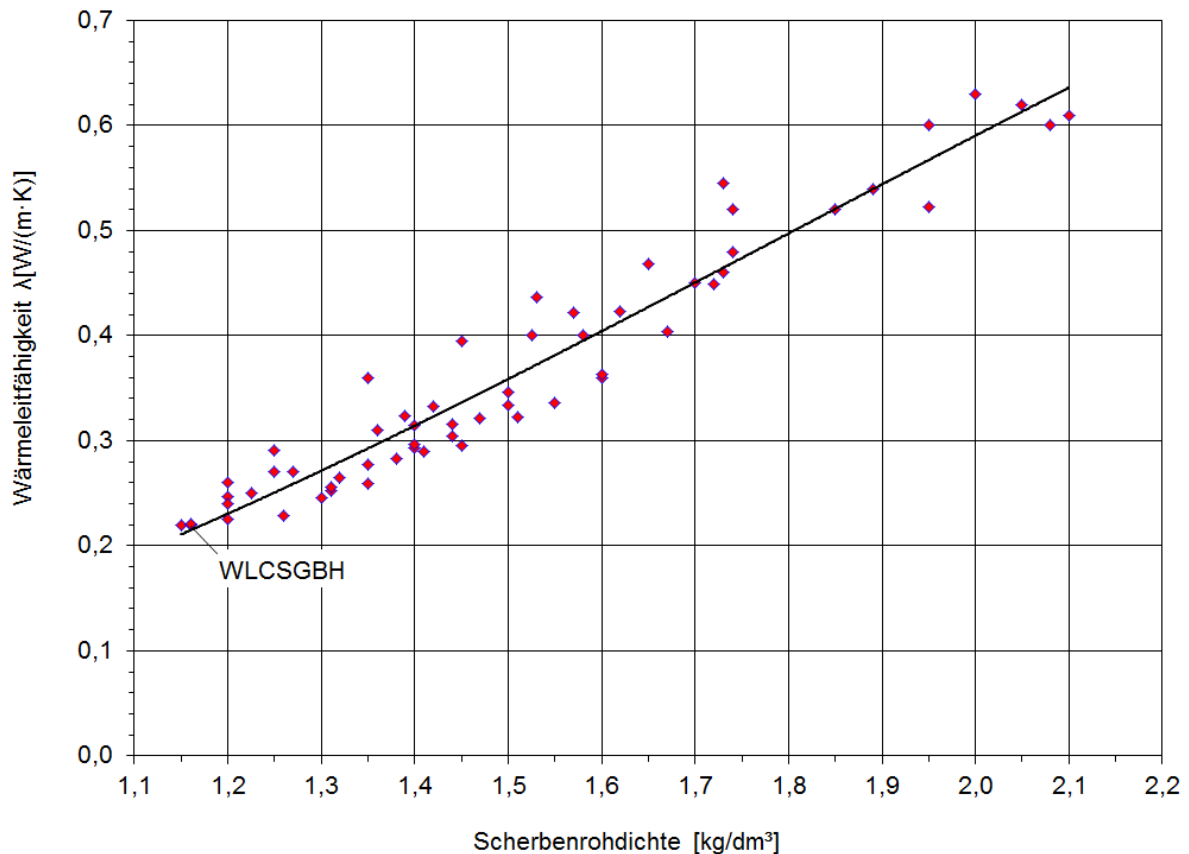


Abb. 1: Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Scherbenrohddichte

Abb. 1 ordnet die Mischung in die anderen Versuchsergebnisse ein. Die Scherbenrohddichten liegen am unteren Ende üblicher Hochlochziegel. Die Scherbenrohddichte beeinflusst auch die Druckfestigkeit. Bedingt durch die geringe Rohddichte beträgt die Druckfestigkeit nur 4,3 MPa. Das Diagramm zeigt deutlich, dass die Zusammensetzung wesentlichen Einfluss auf die Festigkeit hat. Festigkeitsmindernd wirkt sich in der Mischung WLC SGBH der Kalkzusatz aus.

Anhand eines mathematischen Modells werden die Wärmeleitfähigkeiten berechnet. Das Modell beschreibt den Scherben als Zwei-Porengrößen-Modell. Dabei ist eine große Würfelpore allseitig von kleinen Würfelporen umgeben. Der innere Widerstand der Poren stellt eine Parallelschaltung der Widerstände für den Strahlungswärmetransport, den konvektiven Wärmetransport und den Wärmetransport durch Leitung im eingeschlossenen Gasvolumen dar. Die berechneten und mittels Heizdrahtmethode gemessenen Wärmeleitfähigkeiten stimmen gut überein. Wesentliche Einflussfaktoren sind die Wärmeleitfähigkeit des Ziegelmaterials sowie die Porosität.

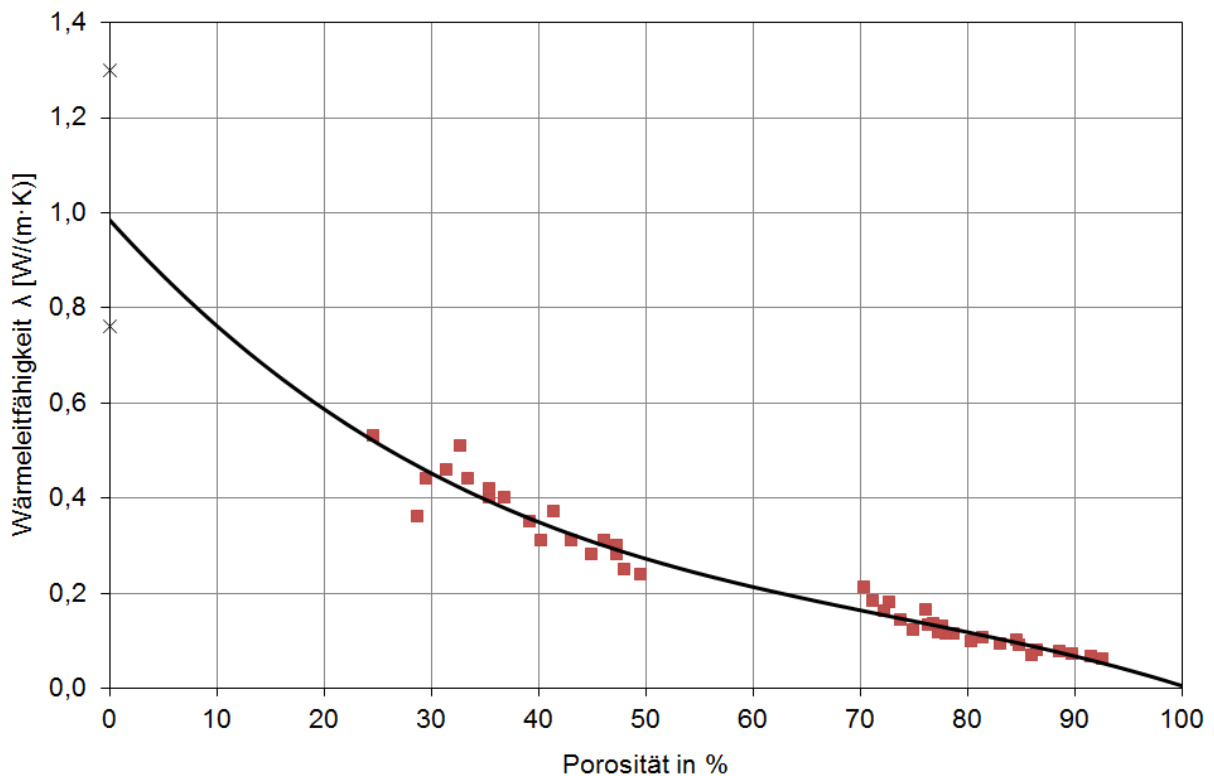


Abb. 2: Grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Wärmeleitfähigkeit und Porosität

Die Wärmeleitfähigkeit des Festkörpers wurde durch Auftragung der gemessenen Wärmeleitfähigkeiten der einzelnen Ziegel und Extrapolation einer Trendlinie auf eine Porosität von 0 % bestimmt (siehe Abb. 2). Dies ergab einen Wert von $0,98 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Dieser Wert liegt zwischen der Wärmeleitfähigkeit von kristallinem SiO_2 ($1,3 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) und dem von Glas ($0,78 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$).

Aufgrund der vielen Einflüsse auf die Porosierung lässt sich keine Beziehung zwischen Massezusammensetzung und sich einstellender Rohdichte aufstellen. Geringe Frischrohdsichten und hohe Viskositäten reduzieren die Schaumzerstörung, führen aber nicht zwangsläufig zu geringen Rohdichten. Wesentlichen Einfluss auf die Porosität hat die Trockenschwindung.

Es handelt sich um ein Forschungsprojekt der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V. (FGZ). Es wurde vom Institut für Ziegelforschung Essen e.V. (IZF) unter der Projektleitung von Dr.-Ing. Anne Tretau durchgeführt.

Das IGF-Vorhaben 16568 N der Forschungsvereinigung Ziegelindustrie wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.