

Kurzfassung zum Schlussbericht IGF-Vorhaben Nr. 18937 N

Untersuchung der Schädigungsmechanismen baukeramischer Werkstoffe aus synthetischen und idealisierten Rohstoffmischungen durch zyklische Frost-Tau-Wechselbelastung mit Hilfe der Tieftemperatur-Dilatometrie - FrostTTDil

Hintergrund

In den maßgeblichen Normen aller keramischen Bauprodukte für die Anwendung in Außenbereichen, wie Dach-, Mauerziegel und Pflasterklinker sowie Fliesen und Platten wird Frostwiderstandsfähigkeit gefordert. Die Produkte müssten entsprechend ihrer spezifischen Normen, die sich je nach Produkt in der Versuchsanordnung und -durchführung maßgeblich voneinander unterscheiden, eine bestimmte Anzahl von FTW überstehen, ohne dass Frostschäden wie Risse und Abplatzungen auftreten. In der Anwendung werden fallweise Extrembelastungen mit daraus resultierender Schadensbildung erreicht.

Der wesentliche Grund für eine Frostgefährdung liegt in der volumetrischen Ausdehnung bei der Eisbildung des kapillar vom Scherben in die Porenräume aufgenommenen Wassers. Die Dehnung wird auf das die Poren umgebende Scherbengerüst übertragen und kann hohe Drücke erzeugen. Kann das Gefüge die Dehnung nicht kompensieren führt diese zwangsläufig zum Schaden, beispielsweise bei Überschreitung der ertragbaren Spannungen.

Normkonforme Frostprüfungen lassen eine differenzierte Aussage über die Zerstörungsmechanismen nur begrenzt zu und sind zur Erschließung des Schädigungsverlaufes und struktureller Zusammenhänge nicht geeignet. So können viele Faktoren, wie Texturbildung, Scherbenstruktur oder Porengeometrie nicht bewertet werden.

Durchführung

Im Rahmen des Projektes, welches vom Institut für Ziegelforschung Essen e.V. (IZF) und dem Forschungsinstitut für Anorganische Werkstoffe-Glas/Keramik GmbH, Höhr-Grenzhausen (FGK) durchgeführt wurde, wurden physikalische Wirkmechanismen von zyklischer Frost-Tau-Belastung mit Hilfe der Tieftemperatur-Dilatometrie (TTDil) an baukeramischen Werkstoffen untersucht. Die Arbeiten der Forschungseinrichtung 1 (IZF) konzentrierten sich an konventionellen Betriebsmassen zur Herstellung grobkeramischer Produkte, die im Gebrauchszustand der natürlichen Bewitterung (Frost, Wärme, Regen, Wind) ausgesetzt werden. Durch die Wahl mineralogisch unterschiedlicher Ausgangsstoffe und durch brenntechnische Maßnahmen, wie die Brenntemperaturhöhe wurde gezielt auf die Porenstruktur und das Porenvolumen des keramischen Scherbens Einfluss genommen.

Ziel war eine maximale Repräsentativität auf Basis von Produkten mit nachweislich hoher Empfindlichkeit gegenüber Frost-Tau-Beanspruchung. Beim IZF wurden sowohl die Porenradialverteilung, die Gefügestruktur wie auch die produktspezifischen Festigkeitseigenschaften mit der Frost-Tau-Wechselbeständigkeit korreliert. Die Arbeiten der Forschungseinrichtung 2 (FGK) wurden demgegenüber an synthetischen Rohstoffen resp. an Rohstoffen mit eindeutiger und simpler chemisch-mineralogischer Zusammensetzung durchgeführt. Der Fokus lag hier einerseits auf der erzeugten Porenstruktur im Rahmen eines nachweislich für die Feinkeramik kritischen Wasseraufnahmewertes von 3-5% und andererseits auf bruchmechanischen Aspekten bei der Entstehung von Frostschäden. Als Rohstoffe wurden alumosilikatische Rohstoffe ausgewählt, wobei das Spektrum einphasiger Rohstoffe, wie Mullit, bis hin zu einem illitischem Ton umfasste. So sollten alle Komponenten, welche in feinkeramischen Werkstoffen vorkommen, Berücksichtigung finden.

Im Unterauftrag (UA) wurden ergänzend Untersuchungen an realen Produkten (Dach- und Vormauerziegel, Blumentöpfe, Fliesen und Platten) zur Bestimmung der Frostwiderstandsfähigkeit vorgenommen. Das IAB Weimar ist in der Lage ganze Produkte dilatometrisch im Temperaturbereich von 20 °C bis -20 °C zu untersuchen. Diese Arbeiten wurden durch Ultraschallmessungen zur Bestimmung der Bildung von Mikrorissen und durch mikroskopische Gefügaufnahmen (REM) ergänzt.

Ergebnisse

Das Verfahren der Tieftemperaturdilatomie „FrostTTDil“ zeigt auf, wie komplex das Verhalten keramischer Werkstoffe bedingt durch Dehn- und Schwindprozesse bei Frost-Tau-Wechselbelastung ist. Die Scherbenporosität, die durch das Porenvolumen, die Porengröße und Porenform charakterisiert wird, hat einen maßgeblichen Einfluss auf das Frostdehnungsverhalten. Bruchmechanische Untersuchungen zeigen bedingt durch die volumetrische Expansion bei Frosteinwirkung die Bildung von Mikrorissen bzw. mikroskopische Gefügeschäden meist bevor makroskopische Schäden ausgebildet werden. Die Annahme, dass im Rahmen der Schädigung infolge von Frost-Tau-Wechseln (FTW), zwei Schädigungsmodelle miteinander konkurrieren, findet durch die Interpretation der Tieftemperaturdilatomie-Kurvenverläufe eine Bestätigung. Produkte mit hohen Biegezugfestigkeiten und kleinen Poren zeigen Bruchschäden mit hoher Rissenergie, die schnell das gesamte Gefüge zerstören, Produkte mit großen Poren und geringer Festigkeit zeigen eher sukzessive Schädigungen in Form einer netzartigen Ausbreitung von Mikrorissen, die erst allmählich zum offensichtlichen Frostscha-den anwachsen. Die Ausbildung des Porensystems und des Festigkeitsniveaus der Produkte ist einerseits abhängig von der mineralogischen Zusammensetzung und der Kornfeinheit der Rohstoffe und andererseits von dem Brennregime bei dem die scherbenbildenden Sinterprozesse stattfinden. Gefügeschwächungen in Form von Schnecken- bzw. Fließstrukturen, die während der Extrusion der bildsamen grob- und feinkeramischen Rohstoffe entstehen können, sind Ursache für großvolumige Frostscha-den und tragen daher zu einer Verringerung der Frostwiderstandsfähigkeit bei.

Die Messungen zum Einfluss der Feuchtedehnung und des Salzgehaltes auf die Frostwiderstandsfähigkeit zeigen keine konsistenten Ergebnisse. Der Salzgehalt reduziert vermutlich die Gefriertemperatur des Porenwassers, die Auswirkungen desselben auf die Frostwiderstandsfähigkeit sind jedoch nicht signifikant.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die zu erwartende Frostwiderstandsfähigkeit baukeramischer Produkte insbesondere mithilfe der TTDil und der Bestimmung des E-Modul über eine sehr geringe Anzahl an FTW gut abgeschätzt werden, sodass kritische Zusammenhänge entschlüsselt und einer Optimierung zugeführt werden können. Insbesondere bei der Entwicklung neuer Masseversätze und bei herstellungsrelevanten Maßnahme wird durch die Anwendung der TTDil den mit dieser Thematik beschäftigten Einrichtungen ein aussagestarkes Messprinzip an die Hand gegeben. Die Darstellung der zu ermittelnden Abhängigkeiten bestimmter Kenngrößen, ausgehend von den das Frostverhalten maßgeblich beeinflussenden keramischen Eigenschaften über das Gefrierverhalten bis hin zur Prüfung der Frostwiderstandsfähigkeit bietet allen Herstellern von Produkten für den ungeschützten Einsatz die Basis zu einer zielorientierten Optimierung aller rohstoffseitigen und verfahrenstechnischen Maßnahmen.

Das IGF-Vorhaben 18937 N der Forschungsvereinigung Ziegelindustrie e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. (Schlussbericht vom 31.08.2018)