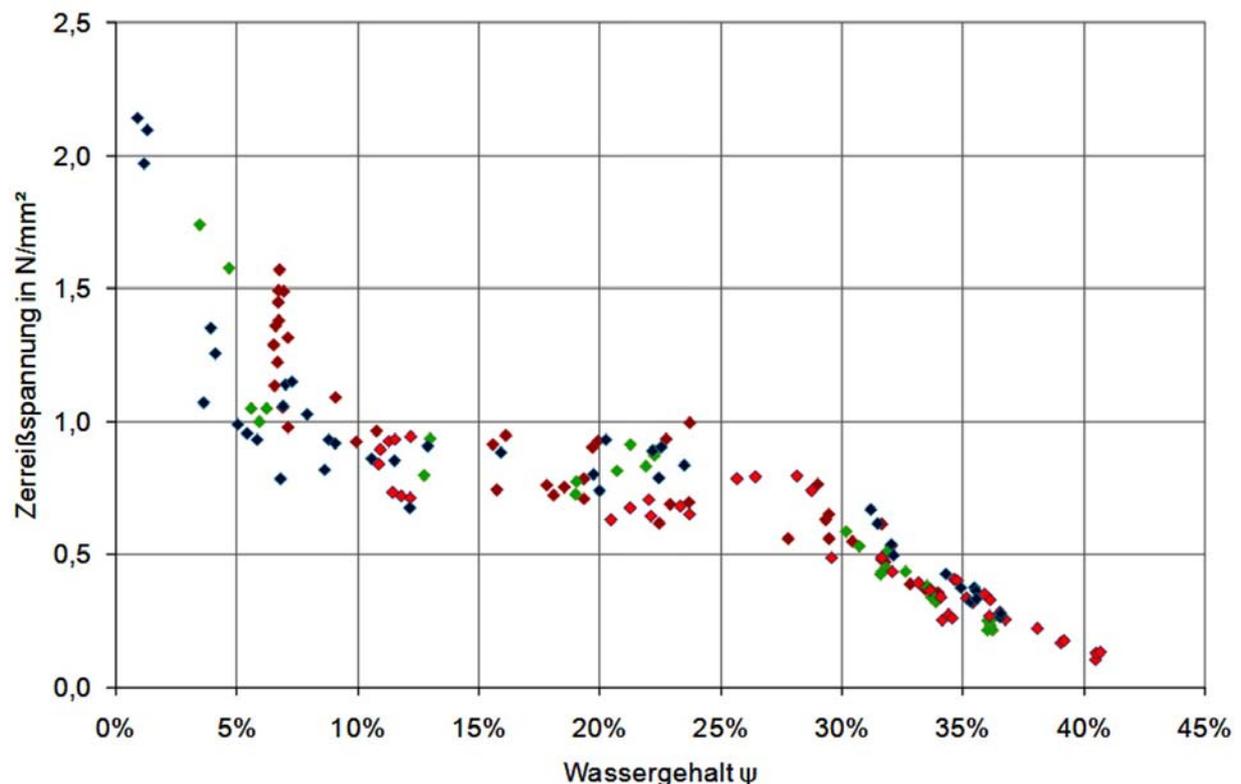


Ursachen und Maßnahmen zur Vermeidung von Rissbildungen in der Frühphase der Rohlingstrocknung

Übereinstimmend lässt sich aus theoretischen Überlegungen, mathematischen Modellen und experimentellen Zugfestigkeitsprüfungen herleiten, dass Oberflächenspannungen von Wasser und die hieraus berechenbaren kapillaren Zugspannungen für den Partikelzusammenhalt in Ziegelrohlingen sorgen. Nach der Extrusion der plastisch geformten Rohlinge kommt es zu einem durch Kapillarzug verursachten hydrostatischen Unterdruck, der eine formstabilisierende Einschnürung durch eine dünne, die gesamte Rohlingsoberfläche umfassende Wasserhaut hervorruft. Da die Porendurchmesser und damit der Unterdruck durch den während der Trocknung sinkenden Wassergehalt zunehmen, steigt die zum Zerreißen der Rohlinge aufzubringende Zugkraft.

Mit dem Erreichen des am Schwindungsende herrschenden Grenzwassergehaltes ist dieser Festigkeitsanstieg zunächst beendet. Das in diesem Moment beginnende Eindringen von Luft in das Porensystem schwächt die Rohlingsfestigkeit und lässt sie im weiteren Verlauf der Trocknung auf vorübergehend konstantem Niveau verharren. Erst wenn sich die Krümmungsradien der noch mit Wasser gefüllten Zwickel und Ecken zwischen den Rohlingspartikeln (z.B. Plättchen von 2- und 3-Schicht-Mineralen) auf die Größenordnung der Plättchendicken vermindert haben, beginnt ein weiterer Anstieg der Zugfestigkeit. Dieser findet auch dann kein Ende, wenn nach der in der Keramik üblichen Definition der Gehalt des sogenannten „physikalisch gebundenen Wassers“ im Trockenschrank bei 105 °C auf scheinbar Null gesunken ist. Tatsächlich sorgt auch dann die Oberflächenspannung über den sehr eng gekrümmten Wasseroberflächen für eine die Partikel zusammenhaltende und nun besonders hohe Zugspannung.



Zugfestigkeit von unterschiedlichen Ziegelrohlingen in Abhängigkeit vom volumetrischen Wassergehalt

Für den praktischen Betrieb von Trocknungsanlagen der Ziegelindustrie ist es wichtig, dass die Zugfestigkeit stets in der Nähe der hohen Anfangswassergehalte am geringsten ist. Aufgrund der zum selben Zeitpunkt besonders guten Feuchteleitfähigkeit sind dann (zum Glück) die Feuchte- und Schwinddifferenzen in den trocknenden Rohlingen am kleinsten, so dass die Rissgefährdung jetzt zwar sehr groß, aber nicht unbeherrschbar ist. Bei sinkendem Wassergehalt verläuft die Abnahme der Feuchteleitfähigkeit und der Schwindgradienten weniger ausgeprägt als die Festigkeitszunahme. Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass die Gefährdung der Ziegeltone - wenn sie den Beginn der Trocknung bruchfrei überstanden haben - im weiteren Trocknungsverlauf zunächst zurückgeht. Sie ist lediglich dann noch einmal von Bedeutung, wenn - nach dem Erreichen der Grenzfeuchte am Schwindungsende - Luft in den trocknenden Rohling eindringt und damit die Festigkeit kurzfristig einbricht. Zu diesem Zeitpunkt hat nämlich das Rohlingsinnere noch nicht sein Schwindungsende erreicht. Dadurch ereignet sich der Festigkeitseinbruch, während der Rohling zugleich noch unter schwindungsbedingten mechanischen Spannungen steht.

Im weiteren Verlauf der Trocknung bleibt die Zugfestigkeit zunächst konstant und nimmt gegen Trocknungsende stark zu. Schwindrissgefährdungen bestehen in diesen Trocknungsphasen nicht, so dass die nun ablaufenden Vorgänge für die Rohlingstrocknung nicht sehr interessant sind. Sie sind aber für die Produktion und Nutzung von Lehmziegeln und anderen Lehmbaustoffen von großer Bedeutung. Dieses wird thematisch in einem anderen, noch laufenden Projekt zum Feuchteinfluss auf Lehmziegel vertieft.

Ein sehr überraschendes Ergebnis des nun abgeschlossenen Vorhabens besteht darin, dass die feuchteabhängigen Festigkeitsverläufe aller untersuchten Ziegel zueinander sehr ähnlich bis nahezu gleich sind. Auch dieses spricht für Oberflächenspannungen und die von ihnen abgeleiteten Kapillarkräfte als alleinigen Wirkungsmechanismus für die Kohäsionskräfte in Ziegelrohlingen. Die Gleichheit der zur Zerstörung der teils sehr unterschiedlichen Ziegel notwendigen Zerreißspannungen besagt jedoch keineswegs, dass alle Rohlingstypen gleichermaßen trockenrissgefährdet sind. Die in Versuchen oder in der mathematischen Modellierung festgestellten Zugfestigkeiten zeigen lediglich an, welche Toleranz der Rohling gegenüber den durch Schwindgradienten verursachten mechanischen Spannungen aufbringt. Rohlinge, die während der Trocknung stark schwinden und daher auch hohen Schwindgradienten ausgesetzt sind, entwickeln natürlich wesentlich höhere innere Zugspannungen als solche, die nur wenig schwinden (oder den Schwindgradienten durch hohe Feuchteleitfähigkeiten entgegenwirken).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die Schwindrissgefährdung trocknender Rohlinge auf zwei Bereiche konzentriert. Diese sind der Trocknungsbeginn, da hier die Festigkeit nur sehr gering ist, und das Schwindungsende, bei dem der Schwindungsgradient am höchsten ist, während der Festigkeitsanstieg zugleich endet und leicht einbricht. Wenn es nicht möglich ist, den dann herrschenden Belastungen durch Erhöhung der Feuchteleitfähigkeit, Senkung der Trockenschwindung oder Nutzung armerender faseriger Zusätze zu begegnen, so muss die Trocknungsgeschwindigkeit hier gedrosselt werden. Dieses ließe sich durch Beschleunigungen in den anderen Trocknungsphasen gegebenenfalls zeitlich kompensieren.

Das Vorhaben wurde unter der Nummer AiF 14734 N vom BMWi über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert. Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

Der Schlussbericht ist 56 Seiten lang und kann gegen eine Bearbeitungsgebühr bei der Geschäftsstelle Berlin angefordert werden.