

Effektive Trocknerführung durch materialspezifische Feuchtebe- stimmung

Kurzfassung zum Schlussbericht AiF 18666 BG

Essen, den 24. Juli 2020

1 HINTERGRUND

Der Materialfeuchtegehalt ist entscheidend für die meisten Verfahrensschritte in der Produktion von Ziegeln. Insbesondere während des Trocknungsprozesses ist die Kenntnis der Feuchteverteilung und damit der Trocknungsverlauf im Rohling interessant. Bisher können die örtlichen und zeitlichen Feuchtegradienten im Rohling theoretisch berechnet werden. Durch die Position im Trockner sind jedoch im Normalfall die Trocknungszustände der Rohlinge über deren Querschnitt unterschiedlich, so dass die lokalen Feuchte- und Schwindungsgradienten und damit die Rissgefährdung unbekannt sind. Außerdem sind die Kernfeuchten am Trocknungsende nur durch eine zerstörende Prüfung zu ermitteln. Die auf Erfahrungswerten beruhende Trocknerfahrweise führt zu einer ineffektiven Trocknungsprozessführung.

Mit indirekten Messverfahren könnten die Materialfeuchten im Trocknungsfortschritt erfasst werden. Dies setzt eine Kalibrierung voraus, um aus den Eigenschaften des Messgutes auf den Wassergehalt zu schließen. Mit marktverfügbaren kapazitiven Messverfahren sind bei schwindenden Rohlingen über einen großen Feuchtemessbereich keine reproduzierbaren Werte erreichbar. Ursache dafür sind feuchtegehalts- und dichteabhängige Materialeigenschaften sowie mangelnde Eindringtiefen.

2 ZIELSETZUNG

Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer In-line Materialfeuchtemessung, unter Berücksichtigung der vom Trocknungsfortschritt abhängigen Materialparameter, zur kontinuierlichen Überwachung des Trocknungsfortschrittes. Es sollen die Grundlagen für ein marktverfügbares, dielektrisches Messverfahren bei schwindenden Rohlingen entwickelt werden, welches den großen Feuchtemessbereich und die damit verbundenen Änderungen der feuchtegehalts- und dichteabhängigen Materialeigenschaften berücksichtigt. Der innovative Ansatz ist dabei die Kopplung des integralen Feuchtemesswertes, der die Schwindung berücksichtigt mit einer simulativen Berechnung der Kernfeuchte. Für die spätere Einbindung in die Trocknungssteuerung müssen reproduzierbare Werte erzielt werden.

3 DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE

Die hygro-thermischen Eigenschaften wurden an Betriebsmassen und Tonen ermittelt. Diese Ausgangsstoffe unterscheiden sich in der Mineralogie und in den Transporteigenschaften. Für die breite Anwendbarkeit der Ergebnisse wurden zwei Vormauerziegelmassen, zwei Dachziegelmassen und zwei Hochlochziegelmassen untersucht. Die Hochlochziegelmassen werden zusätzlich ohne Porosierungsstoffe (zwei Tone) betrachtet, um den Einfluss der Zusätze zu bestimmen. Ferner wurde die Porengrößenverteilung der trockenen Rohlinge ermittelt. Mit der linearen Schwindung kann so zu jedem Trocknungszeitpunkt die Porosität berechnet werden.

Es wurden der Imaginär- und Realteil der Permittivität mittels Koaxialzelle über einen breiten Frequenzbereich gemessen. Der kapillarporöse Ziegelrohling besteht aus Ton, Wasser und Zuschlagsstoffen. Zur wassergehaltsabhängigen Beschreibung der Permittivität während der Trocknung wurde der Rohling als ein System aus Feststoff (Volumen von Ton und Zusatzstoff) und den Kapillaren betrachtet. Während der schwindungsbehafteten Trocknung sind alle Kapillaren mit Wasser gefüllt, gleichzeitig sinkt das Kapillarvolumen. Im Trocknungsfortschritt dringt Luft in die Kapillaren ein, so dass das Luftvolumen berücksichtigt werden muss. Die resultierende effektive Permittivität der Rohlinge kann mit dem erweiterten Advanced Lichtenecker und Rother Modell (ALRM) beschrieben werden. Es wurde ein zweiter Relaxationsprozess eingeführt und die Grenzwasserbeladung am Schwindungsende integriert. Durch die Lage des Grenzwassergehaltes wirkt sich der zweite Debyeprozess (mit einer Relaxationsfrequenz im MHz-Bereich) auf die resultierende Permittivität aus. Es wurde der funktionale Zusammenhang von Permittivität und Wassergehalt für unterschiedliche Frequenzen erstellt. Für die Messung mittels UWB-Radar im GHz-Bereich kann für die Feuchteberechnung für alle Materialien das gleiche Modell verwendet werden (Abbildung 1).

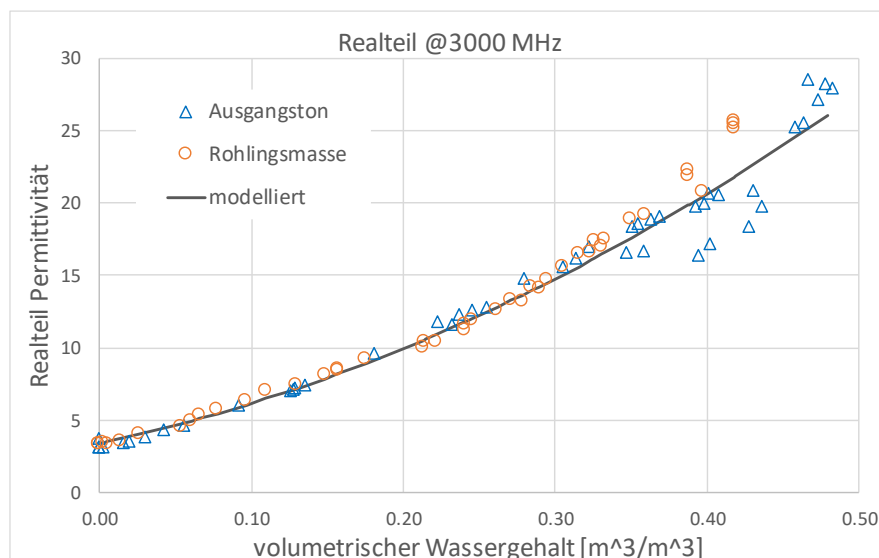


Abbildung 1: Vergleich zwischen dem Realteil der Permittivität von Ton, Rohlingsmasse und modellierte Werte.

Für die Feuchtebestimmung wird mit einer mittleren Permittivität bei 3 GHz gearbeitet. Durch Inversion der Zusammenhänge, die in der Abbildung 1 dargestellt sind, kann für die Berechnung des volumetrischen Wassergehaltes eine Regressionsgleichung verwendet werden, die in dem Programm zur Bestimmung der Kernfeuchte eingesetzt wird. Durch höhere Trocknungstemperaturen wird die Relaxationszeit beeinflusst, so dass Realteil der Permittivität minimal sinkt. Die Temperaturabhängigkeit der Permittivität bei 3 GHz ist gegenüber der Abhängigkeit vom Wassergehalt vernachlässigbar. Weiterhin wirkt sich die Verteilung des Wassergehaltes im Rohling nicht auf den Messwert der Gesamtfeuchte aus. Somit beeinflusst die trockene Rohlingschicht im 2. Trocknungsabschnitt die Messung nicht.

Die Feuchtemessung wurde labortechnisch realisiert. Dazu wurde ein bistatischer Antennenaufbau eines UWB-Radar (ultra-breitband = UWB) auf den Rohling aufgebracht. Dieses UWB-Verfahren basiert auf einem Pseudo-Rauschverfahren (m-sequenzbasiert) und misst mit einem Signalimpuls um die Mittelfrequenz von 3 GHz. Mittels Hilberttransformation kann die Laufzeit und daraus die integrale, mittlere Permittivität (Realteil) über der Zeit bestimmt werden. Mit dem funktionalen Zusammenhang zwischen Permittivität und der Materialfeuchte kann die Gesamtfeuchte und daraus, über das Rechenprogramm, die Kernfeuchte berechnet werden. Die Verteilung der Feuchte im Rohling ist stark von den Trocknungsbedingungen abhängig. Zur Beschreibung des Feuchteprofils werden zwei Feuchten ausgegeben. Einerseits die Kernfeuchte, die in 1/10 der Rohlingsdicke im Inneren vorliegt. Die andererseits ausgegebene Gesamtfeuchte entspricht im 2. Trocknungsabschnitt der Feuchte zwischen den Trocknungsspiegeln und somit des gesamten feuchten Kerns. Die Ergebnisse zeigen eine Messgenauigkeit von 1 %.

Es handelt sich um ein Forschungsprojekt der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V. (FGZ). Es wurde vom Institut für Ziegelforschung Essen e.V. (IZF) unter Projektleitung von Dr.-Ing. Anne Tretau und der Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA) unter Projektleitung von Dr. Ralf Wagner durchgeführt.

Das Vorhaben AiF 18666 BG der Forschungsvereinigung Ziegelindustrie wurde über die AiF vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

A. Tretau
R. Wagner

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages