Intermittierende Mikrowellentrocknung für die Ziegelindustrie

Kurzfassung zum Schlussbericht AiF 20919 BG

Weimar, 30.06.2023

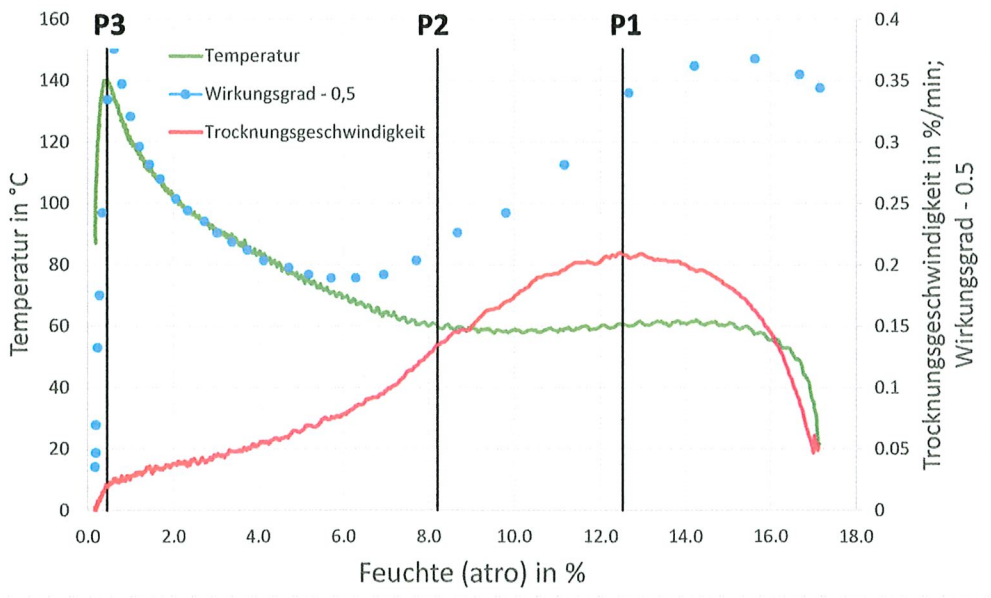
In der Ziegelproduktion ist die Trocknung ein prozessbestimmender Schritt, da sie zum einen über die Qualität des Produktes entscheidet und zum anderen die Produktionskapazität limitiert. Es werden derzeit fast ausschließlich konvektive Trocknungsverfahren im Verbund mit dem Brennprozess eingesetzt und als Trocknungsmedium heiße Luft aus der Abkühlzone des Tunnelofens verwendet. Prinzipiell stellt für den Trocknungsprozess die Anwendung der dielektrischen Erwärmung durch Mikrowellen eine geeignete alternative Methode zur Bereitstellung der notwendigen Verdampfungsenthalpie dar, da sie nicht nur eine Prozessintensivierung, sondern gleichzeitig die Elektrifizierung aus erneuerbaren Energiequellen ermöglicht.
Für die Einführung der Mikrowellentrocknung als Verfahrensschritt in der Ziegelindustrie ist ein grundsätzliches Verständnis der prozesskontrollierenden Phänomene notwendig Die komplexen Wechselwirkungen zwischen elektromagnetischem Energieeintrag, Erwärmung und Trocknung mit den mechanischen Eigenschaften der Ziegelrohlinge (Festigkeiten) stellen an die Prozessführung die Herausforderung, bei maximaler Ausnutzung der energetischen Leistung produktschonend zu trocknen. Es war daher das Ziel des Projektes, diese Zusammenhänge sowohl experimentell als auch mit Hilfe von mathematischen Modellen und Simulationswerkzeugen zu untersuchen. Hierfür war die Betrachtung der folgenden drei Teilaspekte erforderlich:

1. Bestimmung des Eindringverhaltens von EM Wellen in Ziegelrohlinge unterschiedlicher Zusammensetzung und Geometrie;
2. Ermittlung der Grenzen der technischen Machbarkeit auf der Grundlage des Bruchverhaltens feuchter Ziegelrohlinge im Mikrowellentrockner;
3. Vorhersage des Trocknungsverhaltens und des Energiebedarfs.

Die Bearbeitung der Teilaspekte erforderte die Ermittlung von Materialeigenschaften, sowohl hinsichtlich des dielektrischen als auch thermodynamischen Verhaltens, als auch die Erarbeitung einer Prozessführung, welche eine zerstörungsfreie und energieeffiziente Trocknung erlaubt.
Die Versuche in den Laboranlagen und die begleitenden Simulationen und Messungen von Materialkonstanten haben zusammenfassend folgende Erkenntnisse gebracht:

- Die Mikrowellentrocknung von feuchten Ziegelrohlingen ist unabhängig von der Geometrie und der spezifischen Materialzusammensetzung grundsätzlich machbar.
- Die Trocknung von Ziegelrohlingen wird auf Grundlage der Mikrowellenerwärmung vollständig elektrifizierbar.
- Trotz der Vergleichmäßigung des EM-Feldes und der Bewegung der Proben, treten im Inneren der Ziegelrohlinge grundsätzlich sog. hot spots, also Regionen mit hoher Temperatur, auf. Diese sind von der Geometrie und von der Anordnung der Ziegelrohlinge zum Magnetron abhängig.
- Die Lage der hot spots ist durch Messung (faseroptische Messstrecke) und durch COMSOL-Simulation bestimmbar.
- Die hot spots können nicht vermieden werden. Stattdessen muss der Prozess auf der Grundlage der Temperaturbestimmung in diesen auf eine Maximaltemperatur geregelt werden.

- Um Überhitzung in den hot spots und Materialschädigung zu vermeiden, wird der intermittierende Energieeintrag, mit kurzen, hohen Leistungsspitzen und längeren Ausgleichsphasen, empfohlen. Hierdurch kann ein Temperaturausgleich erzielt werden.
- Die Temperaturverteilung ist umso homogener und die Trocknung umso effizienter, je höher die Wärmeleitfähigkeit des Materials ist.
- Das intermittierende Verfahren ist deutlich energieeffizienter als der Energieeintrag mit konstanter, oder leicht steigender, niedriger Leistung.
- Da die volumetrische Erwärmung im Ziegelrohlinge deutlich schneller ist als die Erwärmung durch heiße Konvektionsluft, kann auf Letztere verzichtet werden. Es wird durch heiße Luft nur ein geringer Vorteil in Bezug auf die Trocknungsdauer erreicht, während im untersuchten Material der Energieverbrauch deutlich anstieg. Die Lufttemperatur richtet sich demnach nur nach der Sättigungstemperatur im Trocknungsprozess.
- Grundsätzlich ist die Mikrowellentrocknung aufgrund der volumetrischen Erwärmung um ein Vielfaches schneller als Konvektionstrocknung unter sonst gleichen Prozessbedingungen.
- Die Mikrowellentrocknung verbraucht im untersuchten Apparat um ein Vielfaches weniger elektrische Energie.
- Die Energieeffizienz der Einzelziegeltrocknung liegt mindestens im Bereich industrieller Trockner, nämlich bei 1,1 - 1,65 kWh pro Kilogramm verdampftem Wasser. Der Wirkungsgrad beträgt daher mindestens 62 %.
- Bei konstantem effektiven Leistungseintrag erreicht die Trocknungsgeschwindigkeit am Schwindungsende (P1) ein Maximum, die Änderung des Wirkungsgrades lässt sich mit der feuchte- und temperaturabhängigen Permittivität erklären



- Ein höherer Leistungseintrag führt zu einer geringeren Schwindung, eine Korrelation zwischen Leistungseintrag und Schwindung konnte nicht festgestellt werden
- Die feuchte-, dichte- und temperaturabhängigen Materialeigenschaften beeinflussen deutlich das Trocknungsverhalten, die heterogen Materialeigenschaften müssen für die Prozessverbesserung strukturiert werden

Die konventionelle Trocknung kann durch die die intermittierende Mikrowellentrocknung ersetzt werden. Die Abkehr von der Verbrennung fossiler Brennstoffe und stattdessen die Elektrifizierung auf der Grundlage erneuerbarer Energien ist möglich und trägt damit zur Energiewende bei. Gleichzeitig erlaubt die intermittierende Mikrowellentrocknung die Entkopplung vom Tunnelofen.

Es handelt sich um ein Forschungsprojekt der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V. (FGZ), das vom Institut für Ziegelforschung Essen e.V. (IZF) und der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg (OVGU) und der Materialforschungs- und Prüfanstalt Weimar (MFPA), durchgeführt wurde. Das IGF-Vorhaben 20919 BG der Forschungsvereinigung Ziegelindustrie wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages