

## Intermittierende Mikrowellentrocknung für die Ziegelindustrie

### Forschungsprojekt der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V. (FGZ)

<b>Projektnummer</b>	<b>IGF 20919 BG</b>
<b>Projektförderer</b>	<b>BMWK über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF)</b>  <b>Institut für Ziegelforschung Essen e.V. (IZF), 45307 Essen</b>
<b>Durchführung</b>	<b>Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OvGU)</b> <b>Institut für Verfahrenstechnik, 39106 Magdeburg</b>  <b>Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, 99423 Weimar</b>

### Ziel

Ziel des Projektes war die Betrachtung der folgenden drei Teilaspekte:

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.

### Ergebnisse

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.
- Die Erwärmung im EM-Feld erfolgt zwar feuchtigkeits- und temperaturabhängig, grundsätzlich kann aber auch das trockene Material mit einer Leistung von maximal 2 kW erwärmt werden.
- Das EM-Feld kann durch den Mode Stirrer vergleichmäßig werden.
- Trotz der Vergleichmäßigung des EM-Feldes und der Bewegung der Proben (hier Rotation), 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 Temperatúrausgleich erzielt werden.
- Die Temperaturverteilung ist umso homogener und die Trocknung umso effizienter, je höher die Wärmeleitfähigkeit des Materials ist.
- Grundsätzlich und vor allem für Ziegelrohlinge mit hohem Aspektverhältnis, wie z.B. DZ, ist die Ausrichtung mit der kürzesten Seite zu den Magnetronen zu empfehlen um die Temperaturverteilung zu verbessern.
- Das intermittierende Verfahren ist deutlich energieeffizienter als der Energieeintrag mit konstanter, oder leicht steigender, niedriger Leistung.
- Da die volumetrische Erwärmung im Ziegelrohling 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 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 heterogenen Materialeigenschaften müssen für die Prozessverbesserung strukturiert werden Die konventionelle Trocknung kann durch 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., der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Verfahrenstechnik und der Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar durchgeführt wurde. Das IGF-Vorhaben 20919 N der Forschungsvereinigung Ziegelindustrie wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.**

**Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.**

Der 80 Seiten lange Schlussbericht kann bei der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V. in Berlin angefordert werden.