

# elektro wärme international

Zeitschrift für elektrothermische Prozesse

## Innovative Mikrowellenerwärmung: Schmelzen und Erstarren von Metallen, Erwärmen und Trocknen von Feuerfestmaterialien

Innovative applications for microwave heating - Melting and controlled solidification  
of metals, drying and heating of refractory materials

Dipl.-Ing. Malte Möller, Dipl.-Ing. Horst Linn, Linn High Therm GmbH

erschienen in **elektrowärme international 3/2007**

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Stephan Schalm, Telefon 0201/82002-12, E-Mail: s.schalm@vulkan-verlag.de

# Innovative Mikrowellenerwärmung: Schmelzen und Erstarren von Metallen, Erwärmen und Trocknen von Feuerfestmaterialien

Innovative applications for microwave heating - Melting and controlled solidification of metals, drying and heating of refractory materials

Von **Malte Möller, Horst Linn**

Die Geschichte der industriellen Mikrowellenerwärmung ist mehr als 40 Jahre alt. In den letzten 10 Jahren hat sie sich in einigen Anwendungsbereichen zu einer etablierten Technologie entwickelt. Dennoch gibt es noch ein großes Potential für die Mikrowellentechnik in vielen anderen Anwendungsgebieten. Einige dieser Entwicklungen werden in diesem Artikel vorgestellt.

The history of industrial microwave heating is more than 40 years long and in the last 10 years it has grown into an established technology for a number of applications. Nevertheless there is still a huge potential for microwave technology in many other applications. Some of the new and ongoing development is presented in this article.

## Einführung

Insbesondere die ständig wachsende Bedeutung von Energieeffizienz und Produktionsgeschwindigkeit machen die Mikrowellenerwärmung besonders interessant. Dies liegt daran, dass Mikrowellen im Gegensatz zu herkömmlichen Erwärmungstechniken das gesamte Volumen eines Produktes gleichzeitig erwärmen wohingegen konventionelle Erwärmung nur die Oberfläche eines Produktes direkt erwärmt. Daher hängt bei der Mikrowellenerwärmung (**Bild 1**) die mögliche Erwärmungsgeschwindigkeit nicht von der Wärmeleitfähigkeit des Produktes ab, sondern nur von der zugeführten Mikrowellenleistung und den dielektrischen Eigenschaften des Produktes. Bei vielen Erwärmungs- und insbesondere Trocknungsprozessen kann daher die Prozesszeit mit Mikrowellen deutlich verringert werden.

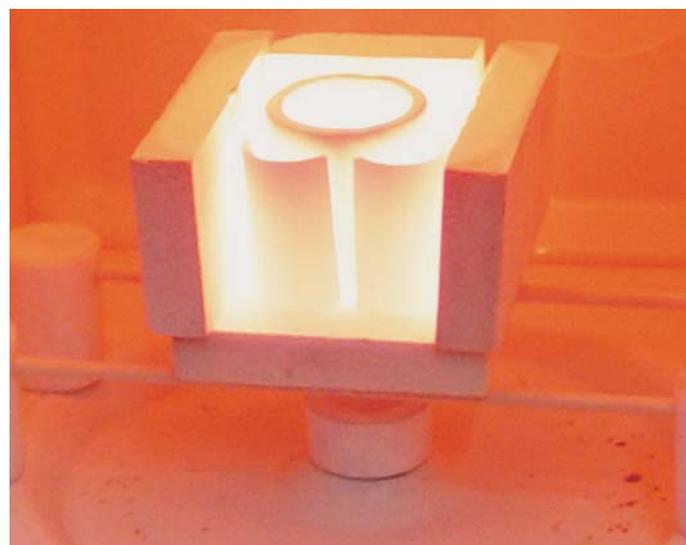
Gleichzeitig hat die Mikrowellenerwärmung eine relativ hohe Energieeffizienz

da nur das Produkt die Mikrowellenenergie aufnehmen kann. Die Atmosphäre in der Mikrowellenkammer und das Kammermaterial selbst werden von den Mikrowellen nicht direkt erwärmt,

sondern nur über die Abwärme des Produktes. Daher sind im Allgemeinen bei reinen Mikrowellenprozessen die Luft- und Kammertemperaturen deutlich niedriger als die Produkttemperatur. Daher ist der Energiebedarf bei Mikrowellenerwärmungsprozessen zumeist deutlich niedriger als bei konventioneller Erwärmung.

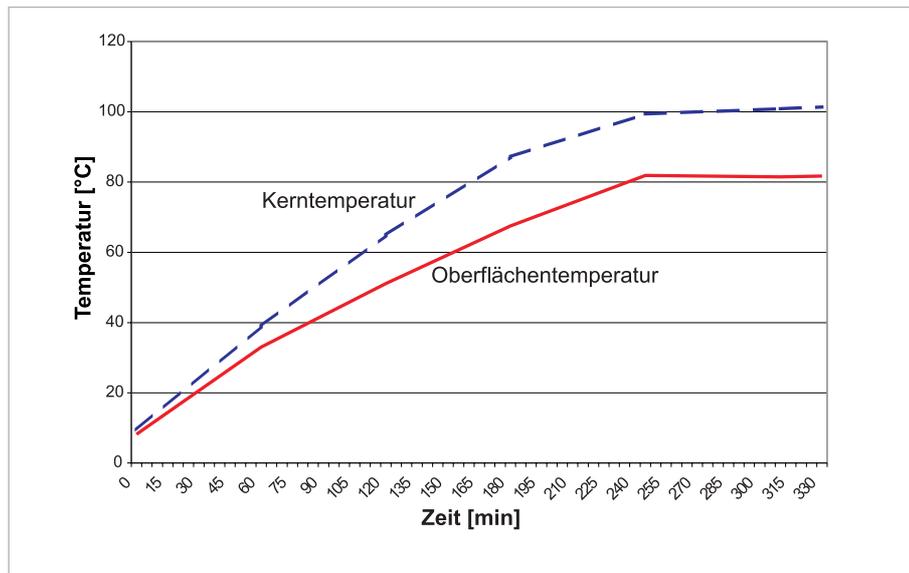
## Schmelzen und kontrolliertes Erstarren von Metallen

Obwohl Mikrowellen Metalle, wie allgemein bekannt, in den meisten Fällen nicht direkt erwärmen können, ist ein Erwärmen oder sogar Schmelzen von Metallen mittels eines Suszeptors möglich. Dieser Suszeptor, zumeist Siliziumcarbid, wird von den Mikrowellen er-



**Bild 1:**  
Mikrowellenschmelzversuch

**Fig. 1:**  
Microwave melting test



**Bild 2:** Mikrowellen Erwärmungskurve eines 55 kg Feuerfeststeins

**Fig. 2:** Microwave heating curve of a single 55 kg refractory brick

wärmt und heizt seinerseits das Metall. Der Suszeptor kann entweder direkt als Tiegel ausgeführt werden in dem sich das Metall befindet oder es wird ein Tiegel aus mikrowellentransparentem Material verwendet und das Suszeptormaterial wird um den Tiegel herum angeordnet. Daraus ergibt sich eine einfache und effiziente Methode kleine Mengen Metall zu schmelzen. Verschiedene Atmosphären (Vakuum, Schutzgas, etc.) sind möglich.

Durch die selektive Erwärmung der Mikrowellen, die nur Materialien mit guten Ankopplungseigenschaften erwärmen, lassen sich Produkte bzw. Teile von Produkten selektiv erwärmen indem Sus-

zeptormaterialien dort platziert werden wo erwärmt werden soll. Die Bereiche ohne Suszeptoren bleiben relativ kalt, da dort die Mikrowellenankopplung deutlich geringer ist.

Dies ermöglicht die gezielte Beeinflussung der Temperaturverteilung von Gießformen vor und während des Gießvorganges bzw. der Erstarrung des Metalls. Dies bietet eine neue Möglichkeit der Temperaturbeeinflussung während des Gießvorganges, da bisher zumeist nur die selektive Kühlung eingesetzt wird. Durch das Einbringen von Suszeptormaterialien in oder um die Gießform ergibt sich somit eine einfache Möglichkeit der Temperaturbeeinflussung während des Gießvorganges.



**Bild 3:** Mikrowellen Kammer Trockner (21 m<sup>3</sup> / 30 kW)

**Fig. 3:** Microwave chamber dryer (21 m<sup>3</sup> / 30 kW)

## Trocknung von feuerfesten Steinen

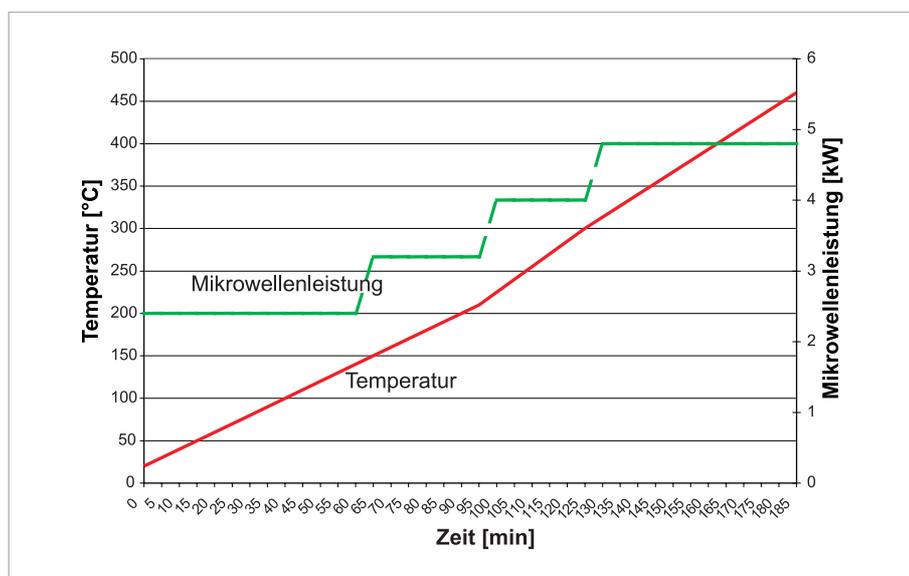
Viele geformte Feuerfestprodukte müssen vor dem Brennen getrocknet werden, da bereits geringe Wassergehalte die Produkte im Brennofen schädigen können. Durch die relativ großen Abmessungen vieler Feuerfestprodukte und die geringe Wärmeleitfähigkeit der feuerfesten Materialien ist die Trocknungsdauer dieser Produkte zumeist sehr lang, teilweise bis zu mehreren Wochen. Typisch für feuerfeste Materialien ist dabei, dass sie zumeist „trocken“ verarbeitet werden, also oft Wassergehalte unter 5 % aufweisen.

Die Mikrowellen Erwärmungskurve eines beispielhaften 55 kg Feuerfeststeins ist in **Bild 2** dargestellt. Der Wassergehalt vor der Trocknung betrug ca. 6 %. Nach 5½ h Mikrowellentrocknung ist der Wassergehalt auf die geforderten <1 % gesunken. Der Kern des Steins hat dabei eine Temperatur von etwas über 100 °C erreicht, während die Oberfläche nach etwa 4 h mit etwas über 80 °C ein thermisches Gleichgewicht mit der Umgebung erreicht hat. Dieses Temperaturprofil ist typisch für die Mikrowellentrocknung, da die Oberfläche Wärme an die, von den Mikrowellen nicht direkt erwärmte, Ofenatmosphäre abgibt.

In der praktischen Anwendung ist jedoch die Trocknungszeit eines einzelnen Steins weit weniger relevant als die Trocknungszeit einer ganzen Charge, in diesem Fall eines ganzen Tunnelofenwagens mit Steinen. Um möglichst wenig Handhabungsaufwand betreiben zu müssen, wird der Tunnelofenwagen mit nassen Steinen besetzt und dann zunächst in den Trockner und anschließend in den Tunnelofen gefahren. Um den Tunnelofen möglichst vollständig auszunützen sind die Steine relativ dicht gesetzt, was eine effektive Trocknung natürlich stark behindert. Daher werden bei konventioneller Trocknung, je nach Beladung bis zu 3500 kg Steine, teilweise mehrere Wochen Trocknungszeit benötigt.

Auf Grund der Versuchsdaten wird für die Mikrowellentrocknung von einer Trocknungszeit von nur wenigen Tagen ausgegangen. Dementsprechend reicht ein relativ kleiner Mikrowellentrockner aus um den gleichen Durchsatz eines großen konventionellen Trockners zu erzielen.

In **Bild 3** ist ein industrieller Mikrowellen Kammer Trockner dargestellt, der für



**Bild 4:** Mikrowellen Erwärmungskurve eines Spülsteins

**Fig. 4:** Microwave heating curve of a purge plug

diese Anwendung geeignet wäre. Die Anlage hat eine Mikrowellenleistung von 30 kW und ein Kammervolumen von ca. 21 m<sup>3</sup>.

### Erwärmen von Spülsteinen

Spülsteine, wie sie zur Behandlung von Flüssigstahl eingesetzt werden, sind aus Feuerbeton gefertigt und unterlaufen bei der Herstellung einer Wärmebe-

handlung um die Feuchte auszutreiben und Porosierungsmittel auszubrennen. Diese Porosierungsmittel müssen bei min. 400 °C ausgebrannt werden um die definierte Durchströmbarkeit des Spülsteins zu ermöglichen, die für seine Funktion notwendig ist. Da die Temperatur trotz der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Feuerbetons im ganzen Volumen der Steine erreicht werden muss, ist eine sehr lange Erwärmungszeit von

etwa 80 h in einem konventionellen Ofen notwendig.

Mittels Mikrowellenerwärmung können die geforderten > 400 °C in nur 3 h erreicht werden, wie in **Bild 4** zu sehen ist. In einem industriellen Prozess ist somit eine Zeitersparnis von ca. 90 % gegenüber den bisherigen Verfahren möglich.

Es ist allerdings zu beachten, dass bei der Mikrowellenerwärmung die Blechummantelung der Spülsteine vor dem Einbringen in die Mikrowellenkammer entfernt werden muß, da diese das Eindringen der Mikrowellen in den Stein verhindern würde.

**Dipl.-Ing. Malte Möller**  
Linn High Therm GmbH

Tel. 09665 / 9140-44  
E-Mail: moeller@linn.de



**Dipl.-Ing. Horst Linn**  
Linn High Therm GmbH

Tel. 09665 / 9140-0  
E-Mail: info@linn.de

