

# Mikrowellenerwärmung – eine innovative Erwärmungs- und Trocknungsmethode

Microwave heating: an innovative heating and drying method

Frank Debus, Nadja Kintsel

Die Mikrowellenerwärmung ist ein flexibles Erwärmungsverfahren für eine Vielzahl von Produkten und Prozessen. Da die Erwärmung bzw. Trocknung durch dieses Verfahren wesentliche Vorteile bietet, hat die Mikrowelle ein hohes Potential das bisher nur unzureichend ausgeschöpft wurde.

Die Vorteile dieser Erwärmungs- bzw. Trocknungsmethode bei vielen Materialien liegt in der schnellen und gleichmäßigen Aufheizung, der Beschleunigung der Trocknung und der daraus resultierenden Verkürzung der Trocknungszeit.

Microwave heating is a flexible heating method for a large range of products and processes. Heating and drying using this process offers significant benefits, but the high potential possessed by the microwave has been exploited only inadequately up to the present.

For many materials, the advantages of this heating/drying procedure can be found in rapid and uniform heating, accelerated drying and the resultant shorter drying time.

## Einleitung

Trocknungs- und Erwärmungsprozesse sind bei der Produktion vieler Materialien notwendig. Da diese Prozesse im Vergleich zu anderen Prozessschritten meistens relativ langwierig sind, sind sie ein limitierender Faktor, wenn die Produktionskapazität erhöht oder die Produktionszeit verkürzt werden soll.

Die konventionellen Erwärmungstechniken haben in vielen Fällen ihre Grenzen erreicht, da die Transportvorgänge im Material die Erwärmungs- bzw. Trocknungsgeschwindigkeiten beschränken. Besonders Produkte mit einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit und Produktionsverfahren, in denen eine hohe Wandstärke des Materials gleichmäßig erwärmt werden soll, benötigen mit konventionellen Methoden viel Zeit.

Die Erwärmungstechnik, die in diesen Fällen deutliche Verbesserungen bringt, ist die Mikrowellenerwärmung. Diese

Technologie ist seit Jahrzehnten bekannt und wird in vielen Industriebereichen erfolgreich eingesetzt.

Bei „Mikrowellen“ handelt es sich um elektromagnetische Wellen, wie sie auch bei der Radio-, Fernseh- und Radartechnik zum Einsatz kommen. Der Unterschied liegt in der Frequenz und in der Leistungsdichte.

Für die Mikrowellentechnik stehen im wesentlichen 3 Frequenzen zur Verfügung, die je nach länderspezifischen Regeln unterschiedlich sein können. Die höchste Mikrowellenfrequenz ist 28 bzw. 30 GHz, für die ein industrieller Einsatz in größerem Maßstab noch nicht in Sicht ist, – Mikrowellengeneratoren für diese Frequenzen sind zur Zeit noch sehr teuer und empfindlich. Für die niedrigste Frequenz von 915 MHz trifft dies momentan auch noch zu. Die kostengünstigste sowie technisch etablierteste Frequenz ist 2,45 GHz, die jetzt schon weltweit in hoher Stückzahl für Haushaltsmikrowellengeräte genutzt wird.

Die Umwandlung von elektromagnetischer Energie in Wärmeenergie wird auf Grund der elektromagnetischen Eigenschaften der Materialien realisiert und ist prinzipiell Temperatur- und Frequenzabhängig. Da in der Regel nur eine Frequenz beim Erwärmungsprozess verwendet wird und die Temperaturabhängigkeit für die meisten Materialien nur unzureichend bekannt ist, erfolgt eine Betrachtung in der Regel nur in Abhängigkeit vom Material selbst.

Ob ein Material mittels Mikrowellen erwärmt werden kann, hängt von seinem molekularem Aufbau ab. Polare Moleküle, d. h. Moleküle mit räumlich getrennten Ladungsbereichen, wie z. B. Wasser oder Kunstharze lassen sich gut mit Mikrowellen erwärmen. Das polare Molekül wird hierbei durch das hochfrequente Wechselfeld der Mikrowellen in Schwingung versetzt und wandelt dabei die elektromagnetische Energie in Wärme um. Da jedes Molekül Wärme umsetzt und die Mikrowellen je nach Material tief in einen Körper eindringen können, entsteht eine Aufheizung des gesamten Volumens. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber der konventionellen Erwärmung, bei der die Wärme nur über die Oberfläche des Materials in den Körper eindringen kann und somit die Wärmeleitfähigkeit der entscheidende Faktor für eine gleichmäßige Aufheizung ist.

Es wird klar, dass für die Mikrowellenerwärmung nicht unbedingt eine hohe Wärmeleitfähigkeit notwendig ist, da hier eine Volumenheizung vorliegt. Der Formalismus, der diesen Vorgang beschreibt, ist in Gleichung 1 dargestellt, wobei dieser nur für unmagnetische Materialien gilt [1].



**Bild 1:** Mikrowellen-Banddurchlaufanlage Typ MDBT (Linn High Therm GmbH)

**Fig. 1:** Microwave continuous belt unit, Type MDBT

$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon'' \cdot E^2 \cdot V \quad (1)$$

$P$  = durch das Material aufgenommene Leistung

$f$  = Frequenz des Wechselfeldes

$\epsilon_0$  = elektrische Feldkonstante

$\epsilon''$  = Imaginärteil der komplexen Dielektrizitätskonstante

$E$  = elektrische Feldstärke

$V$  = Materialvolumen

Bei der volumetrischen Erwärmung erhält jedes Volumenelement des Materials die gleiche Wärmemenge – vorausgesetzt das Material ist dünn im Vergleich zur Eindringtiefe der Mikrowellen. Bei homogenen Materialien ergibt sich daraus, dass der Körper zunächst überall die gleiche Temperatur aufweist. Da die Oberfläche des Materials aber im Kontakt mit der Umgebung steht, die von den Mikrowellen nicht aufgewärmt wird und daher kälter als das Material ist, gibt die Oberfläche Wärme an die umgebende Atmosphäre ab und wird dadurch gekühlt. Dadurch ergibt sich, dass bei Mikrowellenerwärmung das Innere eines Körpers oder einer Schüttung wärmer ist als seine Oberfläche. Der Temperaturverlauf ist somit invers zu dem der konventionel-

len Erwärmung. Dieser Effekt ist in vielen Fällen erwünscht, da die Oberfläche geschont wird und die Wärme schneller im Inneren aufgebaut werden kann.

Die Mikrowellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Wird die Mikrowellenquelle eingeschaltet, dringen die Mikrowellen unmittelbar in den zu erwärmenden Körper ein. Dort beginnt auch sofort ihre Energieumwandlung. Bei Abschaltung wird der Aufheizvorgang zeitgleich gestoppt. Lange Aufheiz- und Abkühlvorgänge sind bei einer Mikrowellenerwärmungsanlage daher nicht notwendig.

Unpolare Stoffe (z. B. Luft, Teflon, Quarzglas) können keine Mikrowellenenergie in Wärme umwandeln und verbrauchen somit auch keine Energie. Die Mikrowellen durchdringen diese Stoffe und werden dabei nicht abgeschwächt. Prinzipiell kann das zu erwärmende Material, das in der Lage ist die Energieumwandlung durchzuführen, als „Heizelement“ betrachtet werden, da das Material selbst die „Wärmequelle“ darstellt. Die in der Technik verwendeten metallischen Mi-

krowellenkammern dienen nur dazu, die Mikrowellen wieder auf das Material zurück zu reflektieren, so dass keine Mikrowellenenergie verloren geht und dass das Bedienpersonal keiner Mikrowellenstrahlung ausgesetzt wird.

## Mikrowellen-Erwärmungsanlagen

Typische Bauformen von Mikrowellenerwärmungsanlagen sind die kontinuierliche Banddurchlaufanlage und die diskontinuierliche Kammeranlage. Zusätzlich sind noch eine Vielzahl von Sonderformen für spezielle Anwendungen realisierbar.

Eine Mikrowellen-Banddurchlaufanlage besteht aus einem zylindrischen Erwärmungsbereich aus Aluminium oder Edelstahl, in welche die Mikrowellenenergie über eine große Zahl von Mikrowellengeneratoren (Magnetrons) eingebracht wird. Die Magnetrons sind spiralförmig um die Achse des Erwärmungsbereiches angeordnet, so dass sich ihre Energie gleichmäßig in der Erwärmungszone verteilt und so eine homogene Temperaturverteilung im Produkt erzeugt. Das Produkt wird auf einem mikrowellentransparenten Band durch die Anlage transportiert, so dass das Material auch von unten erwärmt werden kann. Am Ein- und Auslauf der Anlage sind Absorberröhren angebracht, um zu verhindern, dass in unzulässigem Maß Mikrowellenenergie aus der Anlage austreten kann.

Solche Anlagen können industrieweit an geeignete Prozesse angepasst und eingesetzt werden.

Mikrowellen-Kammeranlagen bestehen aus der Erwärmungskammer, in die eine Vielzahl von Magnetrons die Mikrowellenenergie einbringt. Die Kammer wird durch ein mikrowellendichtes Tor oder Rolltor verschlossen. Durch eine spezielle



**Bild 2:** Mikrowellen-Kammeranlage Typ MKT (Linn High Therm GmbH)

**Fig 2:** Microwave chamber Drier, Type MKT

Einspeisetechnik wird auch in der Kammer bei unbewegtem Gut ein homogenes Mikrowellenfeld und damit eine gleichmäßige Erwärmung erzielt.

Solche Anlagen werden zum Erwärmen und Trocknen von großen Teilen oder bei langen Erwärmungszeiten eingesetzt.

Durch den Einsatz von Mikrowellen kann sich deutlich die Produktionszeit verkürzen. So kann mit einem speziellen Mikrowellenofen eine Palette Kautschuk in 1 bis 1,5 h erwärmt werden, da die Mikrowellen in die ganze Palette eindringen können und die Wärme auch im Inneren erzeugt wird. Dies führt zu einer erheblichen Reduktion des Lagerbedarfs und der Kapitalbindung.

Als Sonderanlagen für die Erwärmung von flüssigen, teils hochviskosen, Materialien und zum Aushärten von Verbundmaterialien werden sogenannte Mikrowellen-Durchflussanlagen eingesetzt. Das Material wird in der Erwärmungszone von den Mikrowellen erwärmt/ausgehärtet. Dabei erfolgt eine homogene Erwärmung im gesamten Volumen und somit eine gleichmäßige Aushärtung, wodurch sich optimale Produkteigenschaften erreichen lassen.

## Mikrowellen in der Lebensmittelindustrie

Da Lebensmittel generell durch einen hohen Wassergehalt charakterisiert sind, lassen sie sich grundsätzlich gut mittels Mikrowellen erwärmen. Das ist ein wesentlicher Grund dafür, warum Mikrowellen in der Lebensmitteltechnik heute vielseitige Anwendungen finden.

Typische Anwendungen sind: Erwärmen, Vorkochen und Vorbacken, Auftauen, Trocknen und Abtöten von Bakterien. Im Folgenden werden zwei Anwendungen beschrieben.

### Erzeugung von Schnellkochreis

Unbehandelter Reis hat eine Kochzeit von 20 bis 30 min. Um die Kochzeiten auf ca. 10 min zu reduzieren, muss der Reis vorbehandelt werden. Die bisher üblichen Verfahren dazu bestehen aus einem mehrstufigen Prozess, bei dem der Reis zunächst gewässert, vorgekocht und dann wieder getrocknet wird, um Lagerfähigkeit zu sichern. Dieser konventionelle Prozess ist daher sehr zeit- und energieaufwendig.

Bei einem neuartigen, auf Mikrowellen basierenden Verfahren, wird der Reis, bereits in Kochbeuteln verpackt, durch eine kontinuierlich arbeitende Mikrowellenanlage transportiert. Die Mikrowellen und ein speziell entwickeltes Klimasystem erzeugen die für das Vorkochen notwendige Temperatur und Wasserdampf-atmosphäre. Nach der Mikrowellenbehandlung wird der Reis abgekühlt und kann direkt zur Lagerung bzw. Verkauf verpackt werden. Eine Trocknung ist nicht notwendig (über 70 % Energieersparnis).

Mit einem solchen spezifischen Mikrowellenprozess kann daher die Prozesszeit deutlich reduziert werden und die Kochausbeute beim Reis markant erhöht werden. Durch die kürzeren Erwärmungszeiten gegenüber den konventionellen Prozessen, werden Inhaltsstoffe des Reisproduktes schonender behandelt. Die Farbe, der Geschmack, auch die Textur der Reisprodukte u. a. können insgesamt verbessert werden

### Backen von krustenlosem Brot

Immer beliebter und zunehmend nachgefragt wird krustenloses Brot, das sowohl für Sandwich und Toastbrot als auch für die Produktion von trockener Panade oder Snacks verwendet wird.

Zurzeit wird traditionell gebackenes Brot mit hohem Rohstoff- und Energiebedarf entrindet. Mikrowellengebackenes Brot hat dafür im Gegenteil zum konventionellen Verfahren eine zarte Haut, die genau so weich ist wie die Krume selbst und daher eine vergleichbare Porosität generiert (gleichartige Porenverteilung innen und außen).



**Bild 3:** Mikrowellenanlage MKWT 24 für eine Palette Kautschuk (Linn High Therm GmbH)

**Fig. 3:** Microwave chamber unit for one pallet of Rubber, Type MKWT

### Literatur

- [1] Industrial Microwave Heating, A. C. Metaxas, R. J. Meredith, power engineering Series 4, Peter Peregrinus Ltd., UK, 1988

**Dipl.-Ing. Frank Debus**  
Linn High Therm GmbH



Tel.: 09665 914044  
E-Mail: debus@linn.de

**Dipl.-Ing. Nadja Kintsel**  
Linn High Therm GmbH



Tel.: 09665 914040  
E-Mail: kintsel@linn.de



**Bild 4:** Mikrowellen-Durchflussanlagen Typ MEK und MFH (Linn High Therm GmbH)

**Fig. 4:** Microwave flow heater, Typ MEK and MFH