

Vergleiche der Energieumsetzung der Mikrowellenfrequenzen 2,45 GHz und 5,8 GHz

Mikrowellen in der Chemie

Malte Möller, Horst Linn sen., Eschenfelden

Die Theorie der Mikrowellenerwärmung gibt an, dass die von einem Material aufgenommene Leistung nach folgender Formel berechnet werden kann:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon'' \cdot E^2 \cdot V$$

- P = durch das Material aufgenommene Leistung;
 f = Frequenz des Wechselfeldes;
 ϵ_0 = elektrische Feldkonstante;
 ϵ'' = Imaginärteil der komplexen Dielektrizitätskonstante;
 E = elektrische Feldstärke;
 V = Materialvolumen.

Wenn man dabei nur die Variablen berücksichtigt, so ist die aufgenommene Leistung von der Frequenz, der Dielektrizitätskonstante und der elektrischen Feldstärke abhängig. Wenn man nun die beiden Frequenzen 2,45 Gigahertz und 5,8 Gigahertz vergleicht, so fällt auf, dass die aufgenommene Leistung mit der Frequenz steigt, bei gleicher eingebrachter Leistung der Mikrowellen, also gleicher elektrischer Feldstärke. Daraus ergibt sich, dass theoretisch bei gleicher eingebrachter Mikrowellenleistung ein Material bei 5,8 Gigahertz circa doppelt so viel Energie aufnimmt wie bei 2,45 Gigahertz.

Zusätzlich ist es im Allgemeinen so, dass die Dielektrizitätskonstante für viele Materialien nicht wirklich konstant ist, sondern sowohl von der Temperatur als auch der Frequenz abhängt. Bei den meisten Materialien steigt die Dielektrizitätskonstante mit der Frequenz an. Als Beispiel ist in Abbildung 1 die Frequenzabhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten für Wasser in einer Cole-Cole Gleichung dargestellt.

Das Maximum von ϵ'' für Wasser bei 25 Grad Celsius liegt bei etwa 18 Gigahertz. Die beiden zu vergleichenden Frequenzen sind eingezeichnet und man erkennt, dass der Wert für 5,8 Gigahertz deutlich über dem von 2,45 Gigahertz liegt. Daraus ergibt sich, dass theoretisch bei Wasser mit 5,8 Gigahertz die vierfache Leistung im Vergleich zu 2,45 Gigahertz übertragen werden kann.

In der Praxis ist natürlich zu beachten, dass der Energieerhaltungssatz nicht verletzt werden kann. Da bei effektiven Mikrowellenerwärmungsprozessen durchaus Effektivitäten von 70-90 Prozent erzielt werden können, ist eine Verdoppelung der aufgenommenen Energie auch wegen der Abstrahlverluste schlichtweg nicht möglich. Bei Mikrowellenprozessen, die wegen geringer Materialgrößen oder unpassenden Materialeigenschaften / Ankoppelungseigenschaften eine schlechte Effektivität haben, kann mit der höheren Frequenz die Energieaufnahme deutlich verbessert werden.

Hier seien einige Beispiele für die Anwendung dieses Effektes dargestellt:

Wasser: Bei einem Versuch mit einem Liter Wasser wurde nach zehn Minuten bei 2,45 Gigahertz mit 800 Watt Mikrowellenleistung eine Temperaturerhöhung um 25 Kelvin gemessen. Bei 5,8 Gigahertz und 500 Watt Leistung wurde in

der gleichen Zeit eine Erhöhung um 37 Kelvin erzielt. Bei Berücksichtigung der unterschiedlichen Mikrowellenleistungen ergibt sich, dass die Effektivität bei 5,8 Gigahertz etwa 2,5 mal so hoch ist wie bei 2,45 Gigahertz.

Quarzsand: Eine Menge von 150 Gramm hochreinem Quarzsand wurde in einer Versuchsanlage 25 Minuten lang erwärmt. Die Effektivität ist bei 5,8 Gigahertz um den Faktor 3,8 größer als bei 2,45 Gigahertz.

Papier/Pappe: Hier ist die Erwärmung bei 2,45 Gigahertz uneffektiv, da auf Grund der dünnen Abmessungen nicht genügend Wärmeenergie im Material umgesetzt werden kann (siehe Formel für Leistungsaufnahme). Bei Versuchen mit 5,8 Gigahertz konnte eine Verdoppelung der eingebrachten Leistung erreicht werden, zum Beispiel Aushärten von Farben oder Austreiben von Lösungsmitteln.

Harzgetränkte Filterpapiere: Proben dieses Materials lassen sich nur schwer mit der Standardfrequenz erwärmen. So konnte eine Probe mit den Abmessungen 50 mal zehn mal vier Millimeter bei 2,45 Gigahertz mit etwa 3,2 Kilowatt (das heißt hoher Energiedichte) Mikrowellenleistung in 25 Minuten auf nur 73 Grad Celsius erwärmt werden. Bei der Frequenz 5,8 Gigahertz reichten 1,5 Kilowatt aus, die gleiche Probe in nur 1,5 Minuten auf 73 Grad Celsius und in 6,5 Minuten auf 180 Grad Celsius Aushärtungstemperatur zu bringen.

In Isopropanol aufgeschlämmtes Quarzmehl: Bei der Trocknung dieses Materials konnte bei 2,45 Gigahertz nach dem Abdampfen des Isopropanols nur eine Temperatur von etwa 83 Grad Celsius erreicht werden, was nicht ausreicht um das Lösungsmittel vollständig aus allen Poren des verbleibenden Kuchens auszutreiben. Bei 5,8 Gigahertz konnte bei gleicher Mikrowellenleistung die gewünschte Temperatur von 100 Grad Celsius erreicht und damit das Lösungsmittel vollständig entfernt werden.

Cole-Cole Gleichung für Wasser bei 25 °C (Abb.: Linn High Therm GmbH, Eschenfelden).

