

## Die schnelle Welle

*Das Garen im Mikrowellenherd unterscheidet sich deutlich vom konventionellen Kochen auf dem Gas- und Elektroherd. Statt die Wärme von außen zuzuführen, erzeugt die Mikrowelle die Hitze gleich direkt im Essen.*



Mit der Mikrowelle ist der Weg zur warmen Mahlzeit auch für Kochmuffel kein Problem. (Foto: Bauknecht)

Die Erfindung des Mikrowellenherdes – meist kurz als Mikrowelle bezeichnet – geht auf den Amerikaner Percy Spencer zurück, der 1950 seine Methode zur schnellen Erwärmung von Essen zum Patent anmeldete. Vier Jahre später wurde die erste Mikrowelle auf den Markt gebracht – ein Unikum mit fast zwei Meter Höhe, das rund 375 Kilogramm wog. Glücklicherweise entwickelte sich die Mikrowelle in den folgenden Jahrzehnten zu dem uns heute bekannten leichten und kompakten Haushaltsgerät.

### Erzeugung der Mikrowellen

Herzstück der Mikrowelle ist das Magnetron, d. h. eine Magnetfeldröhre, die elektrische Energie in elektromagnetischen Wellen – in diesem Fall Mikrowellen – umwandelt und aussendet. Die Mikrowellenstrahlen dringen in das Innere der Speisen ein und werden dort in Wärme umgewandelt.

Mikrowellen sind Teil des elektromagnetischen Spektrums und ihr Frequenzbereich erstreckt sich von 300 MHz bis 300 GHz, d. h. Wellenlängen von 1 Meter bis 1 Millimeter. Grundsätzlich lassen sich mit Magnetrons kontinuierliche oder gepulste Mikrowellen bis in den MW-Bereich bei Frequenzen von 1 bis 40 GHz erzeugen.

Das Magnetron (Abb.), das in der Regel nur auf einer Frequenz arbeitet, besteht aus einem massiven, zylinderförmigen Anodenblock, in dessen Zentrum sich eine Kathode

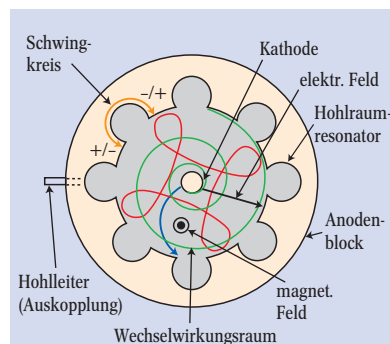
de befindet. Regelmäßige Schlitzte und Bohrungen an der Innenseite des Anodenzylinders dienen als frequenzbestimmende Hohlraumresonatoren für die Mikrowellen. Die aus der beheizten Kathode austretenden Elektronen werden im Raum zwischen Anode und Kathode durch eine angelegte Spannung radial zum Anodenblock hin beschleunigt. Durch das Zusammenspiel mit dem senkrecht zum elektrischen Feld orientierten homogenen Magnetfeld werden die Elektronen durch die resultierende Lorentz-Kraft auf zykloidenähnliche Bahnen um die Kathode gezwungen. Die Krümmung und damit Form der Bahn hängt ab von der kinetischen Energie des Elektrons und der Magnetfeldstärke.

Die Elektronen werden durch das Feld in einem Hohlraum beschleunigt oder abgebremst, sodass sich „Elektronenbündel“ bilden, die mit der Mikrowellenfrequenz umlaufen und durch ihre Raumladung das Hochfrequenzfeld in den Hohlraumresonatoren verstärkt. Die Resonanzfrequenz hängt in erster Linie von den Abmessungen der Resonatoren und des Laufraumes zwischen Anode und Kathode ab. Generell gilt: Je kleiner der Hohlraumresonator, desto höher die Frequenz.

Die umlaufende elektromagnetische Mikrowelle wird über einen Koppelstift innerhalb eines beliebigen Resonators eingefangen und über einen metallischen Mikrowellenleiter, d. h. einen Hohlleiter mit rechteckigem Querschnitt, in den Innenraum der Mikrowelle geführt.

### Wieso wird das Essen heiß?

Die Wirkung der Mikrowellenenergie hängt nun von den dielektrischen Eigenschaften der zu erwär-

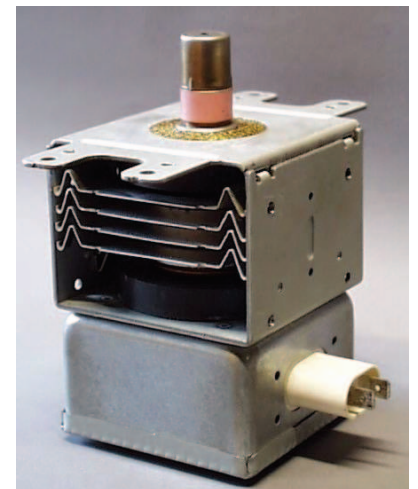


In einem Magnetron werden die aus der Kathode austretenden Elektronen ohne angelegtes Magnetfeld direkt zur Anode hin beschleunigt, sodass ein Strom fließt (blau). Das zum elektrischen Feld senkrecht orientierte Magnetfeld zwingt die Elektronen aufgrund der resultierenden Lorentz-Kraft auf zykloidenähnliche Bahnen (rot, grün).

menden Speise ab, d. h. davon, wie stark diese Mikrowellenstrahlung absorbiert. Ein Maß dafür ist der relative Dielektrizitätskoeffizient  $\epsilon_r$ , der für jeden Stoff und Zustand charakteristisch ist. Wasser hat aufgrund seines gewinkelten Moleküllbaus und seiner Bindungspolarität einen ausgeprägten Dipolcharakter und einen hohen Dielektrizitätskoeffizienten ( $\epsilon_r = 81,1$  bei 18 °C) und absorbiert Mikrowellen besonders gut. Da Lebensmittel im Allgemeinen einen hohen Wassergehalt haben, bieten sich folglich Mikrowellen zum Erwärmen an.

Die einfallende Mikrowellenstrahlung wirkt auf die Dipole der Wassermoleküle als ein sich schnell änderndes elektrisches Feld. Die Moleküle versuchen den Feldänderungen durch Rotationsbewegungen zu folgen. Da allerdings in Flüssigkeiten wie Wasser der enge Kontakt der Moleküle untereinander eine vollständige Rotation verhindert, richten sich die Wassermoleküle entsprechend den Feldänderungen aus. Während dies bei sehr kleinen Frequenzen prompt, also ohne Phasenverzögerung, geschieht, können die Moleküle bei hohen Frequenzen, wie im Fall der Mikrowellen, den schnellen Feldänderungen nicht mehr ohne Weiteres folgen. Diese Phasenverzögerung gegenüber dem erregenden Feld führt zu einer Leistungsentnahme aus dem antreibenden Feld, d. h. Feldenergie wird auf die Moleküle übertragen und elektrische Energie in kinetische bzw. thermische Energie umgewandelt: Die bestrahlte Materie erwärmt sich dadurch direkt und nahezu gleichmäßig.

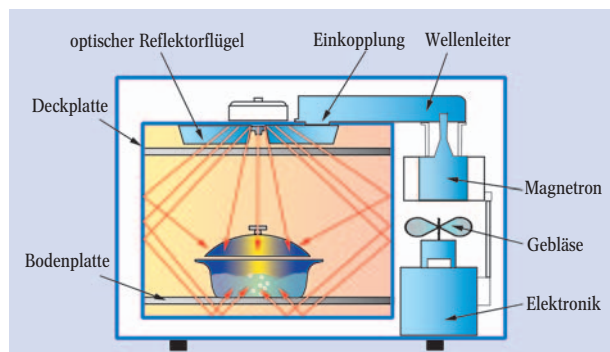
Die Wahl der geeigneten Mikrowellenfrequenz hängt von der Eindringtiefe der Strahlen in die



Ein Magnetron, wie es in handelsüblichen Mikrowellenöfen zur Erzeugung der Mikrowellenstrahlung eingesetzt wird.

#) Da mit der Mikrowelle nicht gebräunt werden kann, bieten einige Hersteller ihren Kunden Infrarot-Grille oder Heißluft-Heizungen an, mit denen sich die Speisen kross backen lassen.

Dr. Katja Bammel,  
science & more  
redaktionsbüro,  
E-Mail: kb@science-  
and-more.de



**Aufbau einer gängigen Haushaltsmikrowelle (nach L. A. Bloomfield, *How Things Work*, Wiley & Sons, New York 1997)**

Lebensmittel, also ihrer Absorption durch die Wassermoleküle ab. Die Resonanzfrequenzen für Wasser liegen im Bereich um 22 GHz. Allerdings können Mikrowellen dieser Größenordnung – da ihre Absorption im Millimeterbereich liegt – lediglich die Oberfläche und nicht das Innere der Speisen erwärmen. Aus diesem Grund hat sich für die Mikrowelle eine Betriebsfrequenz von 2,45 GHz etabliert: Diese Mikrowellen können, bevor sie vollständig absorbiert werden, einige Zentimeter in die Materie eindringen und sorgen deshalb für die notwendige, tiefergehende Erwärmung der Speisen.

### Vom Hohl- zum Garraum

Ein Qualitätskriterium für Mikrowellengeräte ist ein möglichst gleichmäßiges Mikrowellenfeld im Innenraum (Garraum). Da Metalle mit einer hohen elektrischen Leitfähigkeit die Mikrowellenstrahlung an ihrer Oberfläche reflektieren, ist der Garraum mit Metallwänden verkleidet. Dies verhindert zum einen nach dem Prinzip des Faradayschen Käfigs, dass die in hohen Konzentrationen gesundheitsschädlichen Mikrowellen nach außen dringen, und gewährleistet zum anderen eine homogene Verteilung der Mikrowellen im Innenraum, um die Speisen gleichmäßig von allen Seiten zu erwärmen.

Da der Innenraum mit seinen Metallwänden einen Hohlraumresonator für die Mikrowellen darstellt, ist es allerdings noch nötig, ortsfeste Moden zu unterbinden. Dies geschieht mit Hilfe eines Propellers, der oberhalb des Garraumes unter einer Abdeckung angebracht wird und an dessen drehenden Flügeln die Mikrowellen reflektiert werden. Die meisten Geräte besitzen zusätzlich einen Drehteller am Boden, der ebenfalls eine gleichmäßige Erwärmung der Lebensmittel fördert. Das dient der Bekömmlichkeit und schließt Gesundheitsrisiken aus, wie z. B. durch nicht abgetötete Keime.

Die Tür des Garraumes besteht aus einem mehrschichtigen Sichtfenster, das wie die Glühbirne zur Innenraumbeleuchtung mit einem engmaschigen Metallgitter geschützt ist. Dies dient der Abschirmung der in hohen Dosen gefährlichen Mikrowellenstrahlen, die vom Auge nicht wahrgenommen werden und Verbrennungen unter der Haut verursachen können. Sicherheitsschalter sorgen dafür, dass die Mikrowelle nur bei korrekt geschlossener Tür in Betrieb genommen werden kann.

Die Leistung der Mikrowelle wird den unterschiedlichen Erwärmungsprozessen angepasst. Da aber nur die volle Mikrowellenleistung zur Verfügung steht, wird diese getaktet, d. h., das Gerät schaltet sich selbstständig ein- und aus und erwärmt so die Speisen optimal. Da z. B. im Eis die Bewegung der Wassermoleküle stark eingeschränkt ist, absorbieren sie trotz eines vergleichbaren Dielektrizitätskoeffizienten die Mikrowellen wesentlich schlechter. Um tiefgefrorene Speisen dennoch schnell auftauen zu können, arbeitet die Mikrowelle in einem Auftaumodus: Bei niedriger Leistung wird die Mikrowelle periodisch ein- und ausgeschaltet und in den schon aufgetauten Bereichen führt die erhöhte Absorption der Mikrowellen zur Erwärmung des dort befindlichen Wassers. Durch Wärmeleitung werden dann in den Schulpausen angrenzende Eisschichten aufgetaut.<sup>#)</sup>

### Kniffe und Pfiffe

Die Mikrowelle hat sich als praktisches Haushaltsgerät etabliert und den Weg zur warmen Mahlzeit oft entscheidend verkürzt. Keinesfalls sollten Sie jedoch versuchen, in der Mikrowelle ein schnelleres Frühstücksei zu kochen, denn der sich im Ei bildende Wasserdampf lässt die Schale explosionsartig platzen. In diesem Fall verbringen Sie den Vormittag mit der mühseligen Komplettreinigung Ihrer Mikrowelle!

KATJA BÄMMEL