

DAS MIKROWELLENGERÄT – EIN INTERESSANTER KÜCHENHelfER

Wenn Sie schon einmal Ihr Mittagessen in einem Mikrowellengerät erhitzt haben, dann ist Ihnen sicher aufgefallen, dass sich dieses Gerät in vieler Hinsicht von einem Herd unterscheidet und manchmal geradezu merkwürdige Eigenschaften hat. Wie kommt es zum Beispiel, dass die Wände des Mikrowellengeräts kalt bleiben, obwohl das Wasser in der Kaffeetasse bereits siedet? Wozu ist eigentlich der Drehteller da? Auf solche und ähnliche Fragen weiß die Physik eine Antwort.

Wie Sie wissen, machen die Physikerinnen und Physiker Experimente, um ihre Überlegungen zu testen. Vielleicht haben Sie zu Hause ein Mikrowellengerät. Dann können Sie selber experimentieren! Wichtig ist, dass Sie die Sicherheitsvorkehrungen beachten, auf die in der Beschreibung Ihres Mikrowellengeräts hingewiesen wird. Insbesondere muss man bei jedem Experiment dafür sorgen, dass sich eine Tasse mit Wasser im Gerät befindet. Denn wenn die Mikrowellen nichts zum Erwärmen haben, können sie das Gerät beschädigen. In der Tasse muss sich ein Löffel befinden, der den so genannten Siedeverzug verhindert. Denn sonst kann sich das Wasser auf über 100 Grad Celsius erhitzen und verdampft bei der geringsten Erschütterung, z.B. wenn Sie die Tasse herausnehmen. Solche Dampfexplosionen haben schon zu schweren Verletzungen geführt.

Vorsicht beim Experimentieren mit Mikrowellengeräten!

1 Was ist Mikrowellengeschirr?

Wenn Sie in Ihr Mikrowellengerät eine wassergefüllte Tasse stellen, die Sie vorher in Aluminiumfolie verpackt haben, so erwärmt sich das Wasser in dieser Tasse praktisch nicht. Woran liegt das? Die im Gerät erzeugten Mikrowellen gelangen offensichtlich nicht bis ins Wasser. Das kann zwei Gründe haben: Die Mikrowellen werden von der Alufolie absorbiert oder sie werden daran reflektiert. Die zweite Möglichkeit trifft zu, denn andernfalls müsste sich die Alufolie stark erwärmen. Mit diesem Wissen können Sie auch einsehen, dass die Ofenwände kalt bleiben, auch wenn das Hähnchen im Mikrowellengerät bereits sehr heiß ist. Denn die Wände des Mikrowellengeräts sind aus Metall und reflektieren die Mikrowellen genau so wie die Alufolie.

Mikrowellen werden von Metallen reflektiert.

Welche Eigenschaften müssen die Behälter haben, in denen ich meine Speisen erwärmen möchte? Sie dürfen nicht aus Metall sein, da die Mikrowellen sonst reflektiert würden. Sie dürfen die Mikrowellen aber

auch nicht selber absorbieren, da sonst der Behälter von den Mikrowellen erwärmt würde und nicht die Speise. Natürlich gibt der Behälter diese Wärme an die Speisen durch Wärmeleitung weiter. Das dauert aber viel länger und man hätte den Vorteil des Mikrowellengeräts gegenüber herkömmlichen Herden verschenkt. Der Vorteil der Mikrowellen ist ja gerade, dass sie nicht nur die Oberfläche erwärmen, sondern bis ins Innere der Speise vordringen können und auf dem Weg dorthin absorbiert und in Wärme umgewandelt werden. Beim Kochen auf der Herdplatte wird nur das Äußere z.B. eines Bratens erhitzt. Durch Wärmeleitung dringt die Wärme dann bis ins Innere vor. Da die Wärmeleitfähigkeit von Fleisch relativ klein ist, dauert dies aber vergleichsweise lange. Geschirr ist dann für den Mikrowellenofen geeignet, wenn es die Mikrowellen weder absorbiert noch reflektiert. Die meisten Stoffe lassen die Mikrowellen einfach durch. Sie können mit Ihrem Geschirr selber den Test auf Mikrowellentauglichkeit machen: Stellen Sie das Gefäß kurz in das eingeschaltete Mikrowellengerät. Wenn es kalt bleibt absorbiert es die Mikrowellen also nicht und ist daher Mikrowellengeschirr. Häufig ungeeignet sind auch unbehandelte poröse Keramikgefäße, denn Wasser kann sich in den Poren ansammeln und das Gefäß daher erhitzen.

Materialien, die Mikrowellen weder nennenswert absorbieren noch reflektieren sind für das Mikrowellengerät geeignet („Mikrowellengeschirr“).

2 Warum werden nur manche Stoffe heiß?

Wasser und damit wasserhaltige Speisen werden im Mikrowellengerät sehr effektiv erhitzt, die meisten anderen Stoffe bleiben dagegen kalt. Dazu gehören alle wasserfreien Lebensmittel. Stellen Sie zum Test eine Packung Zucker oder Salz in das Mikrowellengerät. Mikrowellen werden von Wasser sehr stark absorbiert. Woran liegt das? Dazu müssen wir verstehen, was die Mikrowellen mit den Wassermolekülen machen. Wir erinnern uns an den Chemieunterricht: Wasser besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom (daher die chemische Formel H_2O). Abb. 1 zeigt die Form des Moleküls: es sieht aus wie die Ohren von Mickey Mouse.

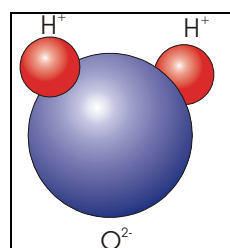


Abb. 1: Das Wassermolekül. Das Sauerstoffatom (O) zieht die Elektronen des Wasserstoffs etwas zu sich herüber, so dass es einen leichten negativen Ladungsüberschuss erhält. Die Wasserstoffatome (H) haben einen entsprechenden positiven Ladungsüberschuss. Das Wassermolekül besitzt daher ein permanentes elektrisches Dipolmoment.

Das Sauerstoffatom zieht die Elektronen der Wasserstoffatome an, so dass ein Überschuss an negativer Ladung auf der Sauerstoffseite und entsprechend ein Überschuss an positiver Ladung auf der Wasserstoffseite des Moleküls entsteht. Man sagt: Wassermoleküle sind elektrisch polar. Schematisch lassen sie sich wie in Abb. 2 zeichnen.

In der Regel sind die Wasserdipole in alle möglichen Richtungen orientiert (Abb. 2 a.). Bringt man sie aber in ein elektrisches Feld (z.B. in einem Plattenkondensator), so richten sie sich entsprechend der Feldrichtung aus (Abb. 2 b. und c.), da das positive Ende von der negativen Kondensatorplatte angezogen wird und das negative Ende des Wassermoleküls von der positiv geladenen Platte. Polt man die Platten des Kondensators um, so drehen sich die Wassermoleküle um 180 Grad. Die mit der Rotation verbundene Energie kann durch Stöße an umliegende Wassermoleküle abgegeben werden. Diese bewegen sich daher mit größerer Geschwindigkeit. Sie erinnern sich: schnellere Bewegung von Atomen äußert sich in einer höheren Temperatur.

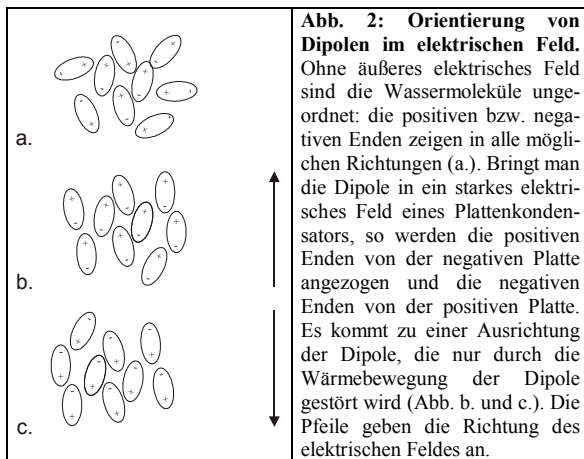


Abb. 2: Orientierung von Dipolen im elektrischen Feld. Ohne äußeres elektrisches Feld sind die Wassermoleküle ungeordnet: die positiven bzw. negativen Enden zeigen in alle möglichen Richtungen (a.). Bringt man die Dipole in ein starkes elektrisches Feld eines Plattenkondensators, so werden die positiven Enden von der negativen Platte angezogen und die negativen Enden von der positiven Platte. Es kommt zu einer Ausrichtung der Dipole, die nur durch die Wärmebewegung der Dipole gestört wird (Abb. b. und c.). Die Pfeile geben die Richtung des elektrischen Feldes an.

Wir haben somit einen Heizmechanismus für Wasser gefunden: Wir legen an den Plattenkondensator eine möglichst hochfrequente Wechselspannung, so dass die Wassermoleküle dauernd hin und her gedreht werden und durch Stöße Energie an die Umgebung abgeben, was sich in einer Temperaturerhöhung äußert. Besonders effektiv ist die Umwandlung in Wärme bei einer Frequenz von 20 Milliarden (!) Umpolungen pro Sekunde (20 Giga-Hertz, 20 GHz). Das ist mit einem Kondensator technisch nicht möglich. Hier kommen uns aber die Mikrowellen zu Hilfe. Denn Mikrowellen sind wie das Licht oder die Röntgenstrahlung elektromagnetische Wellen. Sie unterscheiden sich nur in ihrer Wellenlänge.

Was schwingt bei elektromagnetischen Wellen? Bei Wasserwellen bewegen sich die Wasserteilchen auf und nieder, bei Schallwellen wird die Luft periodisch zusammengedrückt und expandiert. Elektromagnetische

Wellen sind dagegen nicht an Materie gebunden: Röntgenstrahlung, Licht und Mikrowellen sind auch im luftleeren Weltall zu finden und dienen den Astronomen zur Beobachtung des Kosmos. Bei den elektromagnetischen Wellen schwingt der elektrische Feldvektor senkrecht zur Ausbreitungsrichtung hin und her. (Außerdem schwingt das Magnetfeld, was für unsere Anwendung aber nicht direkt interessiert). Das elektrische Feld ändert also dauernd seine Richtung und das ist genau das, was wir für unser Mikrowellengerät brauchen. Wir müssen jetzt noch eine geeignete Frequenz auswählen: 20 GHz sind zuviel. Denn dort absorbiert das Wasser derartig effizient, dass die elektromagnetischen Wellen nur in die Oberfläche der zu erwärmenden Speise eindringen können. Wir wollen aber gerade erreichen, dass sie die ganze Speise durchdringen und ihre Energie somit auch an das Innere abgeben. Als günstig haben sich dafür etwa 2 GHz erwiesen: Hier ist die Absorption durch Wasser gerade so, dass die Wellen einige Zentimeter eindringen können.

Das elektrische Feld einer Mikrowelle klappt die Wassermoleküle aufgrund ihrer polaren Eigenschaft 2,45 Milliarden Mal in der Sekunde um. Durch Stöße wird die damit verbundene Rotationsenergie an die Umgebung abgegeben und äußert sich als Temperaturerhöhung.

Jetzt verstehen wir auch, warum wasserfreie Substanzen (Salz, Mikrowellengeschirr etc.) kalt bleiben. Außerdem können wir einsehen, warum sich Mikrowellengeräte nur schlecht zum Auftauen eignen: Im Eis sind die Wassermoleküle fest eingebunden, so dass sie vom elektrischen Wechselfeld der Mikrowelle nicht umgeklappt werden und somit auch keine Energie aufnehmen und anschließend an die Umgebung abgeben können. Die eisigen Stellen einer Tiefkühlpizza bleiben daher gefroren. Stellen an denen Wasser in flüssiger Form vorhanden ist werden dagegen sehr heiß. Diese Temperaturunterschiede verhindern, dass eine solche Pizza wirklich schmeckt. In vielen Mikrowellengeräten behilft man sich daher notdürftig mit einem Trick: Im Auftaubetrieb wird das Mikrowellengerät kurz eingeschaltet und das vorhandene flüssige Wasser erhitzt. Danach wird es abgeschaltet und das heiße Wasser taut die umgebenden vereisten Zonen der Pizza durch Wärmeleitung auf und kühlt selber dabei ab. Dieser Vorgang wird dann genügend oft wiederholt und somit große Temperaturunterschiede verhindert.

3 Warum sollen keine Gegenstände aus Metall in das Mikrowellengerät?

Vielleicht ist Ihnen in der bisherigen Argumentation ein Widerspruch aufgefallen: Einerseits hatten wir

festgestellt, dass Metalle (z.B. Alufolie oder die Wände des Mikrowellengeräts) Mikrowellen ähnlich wie Licht praktisch vollständig reflektieren. Andererseits wissen wir, dass das elektrische Feld der Mikrowellen Kräfte auf Ladungen ausüben kann. In Metallen gibt es aber eine große Zahl von frei beweglichen Ladungen, nämlich die Elektronen (darauf beruht ja ihre gute elektrische Leitfähigkeit). Wenn diese durch das elektrische Feld der Mikrowellen beschleunigt werden, so müssten sie ihre kinetische Energie durch Stöße an das Metallgitter abgeben und so das Metall erwärmen. Das ist ja gerade die Grundlage des elektrischen Widerstands. Tatsächlich ist dies aber kein Widerspruch: Die freien Elektronen an der Oberfläche des Metalls absorbieren die Mikrowellen sogar so stark, dass diese nur etwa einen Mikrometer (!) eindringen können. Die Absorption ist insgesamt gesehen aber schwach, da aufgrund dieser geringen Eindringtiefe nur wenige Elektronen die Welle überhaupt „sehen“. Der geringe in Wärme umgewandelte Anteil der elektromagnetischen Energie wird in dicken Metallen durch deren gute Wärmeleitung rasch verteilt, so dass oft praktisch keine Temperaturerhöhung zu beobachten ist. In dünnen Metallen ist die Temperaturerhöhung aber schon relevant. Dies lässt sich beobachten, wenn man eine Glühbirne in das Mikrowellengerät legt: Das dünne Glühdrähtchen erwärmt sich derartig, dass die Lampe kurz aufglüht bevor der Glühfaden durchschmilzt. Man sollte daher z.B. Geschirr mit einem dünnen Goldrand nicht in den Mikrowellenofen stellen. Außerdem kann es einen weiteren Effekt geben, der problematisch sein kann: werden die Elektronen im Metall vom elektrischen Feld der Mikrowellen hin und her bewegt, so führt eine Anhäufung z.B. in einer Gabelspitze zu hohen elektrischen Feldern, die zu Funkenüberschlägen führen können. Aus diesen Gründen wird allgemein von der Einbringung von metallischen Gegenständen in das Mikrowellengerät abgeraten.

Die in einer sehr dünnen Metallschicht von den elektromagnetischen Feldern beschleunigten Elektronen geben ihre Energie an das Metallgitter ab. Eine beträchtliche Erwärmung findet dann statt, wenn diese Wärmeenergie nicht abgeführt werden kann.

4 Ist Nahrung aus dem Mikrowellengerät ungesund?

In der Öffentlichkeit kursieren eine Reihe von Befürchtungen, was eine Änderung der Lebensmittel durch Erwärmung mit Mikrowellen betrifft. Zunächst ist festzuhalten, dass Mikrowellen im Gegensatz zur Röntgenstrahlung nicht ionisierend wirken, chemische Bindungen also nicht direkt aufbrechen können.

Es können daher keine so genannten Radikale, also reaktionsfreudige Wasserbruchstücke wie H^+ , OH^- , Elektronen etc. entstehen, die mit anderen Zellen (z.B. im Körper) reagieren und diese somit schädigen können.

Auf dem Herd erhitztes Wasser unterscheidet sich in nichts von Wasser, welches im Mikrowellenherd erhitzt wurde. Die Vorstellung, dass sich nach dem Herausholen der Tasse aus dem Gerät Mikrowellen in der Tasse gefangen wurden, ist falsch. Die Mikrowellen wurden genau so vernichtet wie sichtbare elektromagnetische Wellen nach dem Auftreffen auf ein schwarzes T-Shirt. Elektromagnetische Wellen werden dabei jeweils vollständig in Wärme umgewandelt. Somit bleibt die Frage, ob die Behandlung von Lebensmitteln mit Mikrowellen zu anderen Effekten als die konventionelle Hitzebehandlung führt, die sich nicht mehr allein als Wärmeeffekte erklären lassen. Das Bundesamt für Strahlenschutz (Salzgitter) erklärt dazu¹:

Die Frage nach möglicherweise gesundheitlich bedenklichen Veränderungen in Lebensmitteln durch Mikrowellenbehandlung ist Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen gewesen. Nach heutigem Erkenntnisstand ist - verglichen mit konventionellen Zubereitungsverfahren - die Mikrowelle nicht mit speziellen Risiken behaftet. Praktisch alle bisher vorliegenden Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass sowohl hinsichtlich des ernährungsphysiologischen Wertes als auch hinsichtlich der hygienischen Qualität der erhitzten Lebensmittel die Sorgfalt bei der Erhitzung entscheidender ist als die Wahl des Erhitzungsverfahrens.

Bei der Erwärmung im Mikrowellengerät werden Zellen der Speise zerstört. Dies ist aber beim herkömmlichen Kochen auch der Fall. Es ist auch deshalb nicht weiter aufregend, da bei der Verdauung die Zellen ohnehin zerstört werden. Die Erwärmung in Mikrowellenöfen ist in gewisser Hinsicht sogar schonender: Da Wasser von den Mikrowellen nur in flüssiger Form erhitzt werden kann, übersteigt die Temperatur der Speise die Siedetemperatur von Wasser nicht. Dadurch bleiben die aus flüchtigen organischen Molekülen bestehenden Aromastoffe weitgehend erhalten. Die Verluste an Vitamin C sind z.B. bei Spinat mit ca. 20% nur ein Drittel so groß wie beim Kochen im Topf. Man braucht im Mikrowellengerät auch kein Fett, denn das Fleisch gart im eigenen Wasserdampf.

Mikrowellen können aufgrund ihrer geringen Energie chemische Bindungen nicht aufbrechen. Zellveränderungen können (wie beim herkömmlichen Kochen) nur durch die Temperaturerhöhung entstehen.

¹ http://www.bfs.de/service/faq/a_hfs.htm

5 Bleibt die Mikrowellenstrahlung im Gerät?

Vielleicht haben Sie sich auch schon gewundert: Die Vorderseite des Mikrowellengeräts besteht aus einem Metallgitter. Können denn die Mikrowellen nicht durch die Löcher durch? Wir wollen ja nicht selber gekocht werden! Tatsächlich ist die Abschirmung trotz der Löcher praktisch perfekt. Das wundert Sie vielleicht, denn andere elektromagnetische Wellen können offensichtlich durch: Licht! Und deshalb können wir in den Garraum schauen und den Kochfortschritt überprüfen. Elektromagnetische Wellen im sichtbaren Bereich und Mikrowellen unterscheiden sich nur in einer Eigenschaft, nämlich ihrer Wellenlänge. Die liegt im sichtbaren Bereich je nach Farbe zwischen 0,4 und 0,8 Mikrometer. Wie groß ist die Wellenlänge der Mikrowellen? Wir können sie mit der bekannten Formel über den Zusammenhang zwischen Frequenz f , Ausbreitungsgeschwindigkeit c und Wellenlänge λ leicht berechnen: $\lambda = c/f$. Wie groß ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit? Sie ist gleich der Lichtgeschwindigkeit c ! Dies ist allen elektromagnetischen Wellen gemeinsam. c hat den Betrag $3 \cdot 10^8$ m/s. Sie können der Bedienungsanleitung entnehmen, dass Ihr Mikrowellengerät mit einer Frequenz von 2,45 GHz (2450 Millionen Schwingungen pro Sekunde) arbeitet. Die Wellenlänge dieser Wellen berechnet sich demnach zu 12,2 cm. Wellen mit der Wellenlänge zwischen ungefähr 1 m und 1 mm werden als Mikrowellen bezeichnet. Diese Überlegungen führen zu folgendem Ergebnis:

Elektromagnetische Wellen können Öffnungen nicht durchdringen, die wesentlich kleiner als ihre Wellenlänge sind. Mikrowellen können daher durch die kleinen Öffnungen des Metallgitters nicht austreten.

6 Wozu dient der Drehteller?

Mikrowellen werden auf der einen Seite in den Garraum geschickt und auf der anderen Seite reflektiert. Damit kommt es zur Überlagerung der nach links und der nach rechts laufenden Wellen. Dies führt zu einem Phänomen, welches uns bereits von den Wasserwellen her bekannt ist: zwei einander entgegenlaufende Wellen überlagern sich (man sagt: sie interferieren) und bilden eine stehende Welle. Diese stehende Welle hat so genannte Knoten und Bäuche. Das Interferenzmuster in einem Mikrowellenherd ist recht kompliziert. Denn die Mikrowellen werden ja nicht nur links und rechts reflektiert, sondern auch vorne (am Metallgitter!), hinten sowie oben und unten. Das Interferenzmuster kann man leicht sichtbar machen. Legen Sie ein nasses Papierhandtuch auf eine Unterlage (z.B. Styropor). Auf das Papierhandtuch drücken Sie ein Blatt Thermofaxpapier. Wenn Sie den Mikrowellenherd anschalten sehen Sie, dass das Thermo-

faxpapier an einigen Stellen rasch dunkel wird (Abb. 3). An diesen Stellen ist das Wasser heiß geworden und hat die Farbreaktion auf dem Thermofaxpapier ausgelöst. Die anderen Stellen wurden nicht so heiß. So können wir das Muster der heißen und weniger warmen Stellen im Mikrowellengerät direkt abbilden. Bringen wir ein Schnitzel in das Mikrowellengerät, so wird es an einigen Stellen rasch erhitzt und bleibt an anderen Stellen kühl.

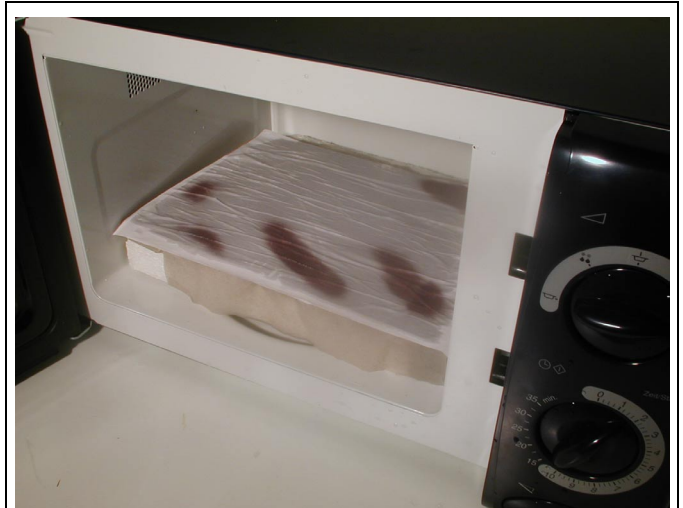


Abb. 3: Nachweis der stehenden Welle mit nassem Thermofaxpapier.

Um diese ungleichmäßige Erwärmung zu verhindern, ist in den meisten Mikrowellenöfen ein Drehteller vorhanden, der dafür sorgt, dass alle Teile einigermaßen gleichmäßig erwärmt werden. In manchen Modellen ist statt des Drehtellers ein Metallpropeller zu finden. Dieser reflektiert die Mikrowellen in verschiedene Richtungen und führt damit zu einer permanenten Änderung des Interferenzmusters. So kann auch verhindert werden, dass einige Stellen kühl bleiben.

Letztlich ist die Entstehung des Interferenzmusters für die Hersteller von Mikrowellenöfen sehr unerwünscht. Für uns ist dieses Phänomen aber ein schöner Nachweis der Wellennatur von Mikrowellen.

Im Mikrowellenofen entsteht aufgrund der Reflexion der Wellen an den Metallwänden eine stehende Welle. An deren Bäuchen wird die Speise heiß, an den Knoten bleibt sie kühl.

Die ungleichmäßige Erwärmung von Lebensmitteln kann eine Gefahrenquelle darstellen. Ein Fläschchen mit Babynahrung kann sich kühl anfühlen, da das Innere aufgrund des Interferenzmusters der Mikrowellen ungleichmäßig erwärmt wurde. Ein gewisser Ausgleich wird durch die Wärmeleitung herbeigeführt. Er findet aber vergleichsweise langsam statt, so dass Temperaturunterschiede nicht ohne weiteres verschwinden. Bei flüssiger Babynahrung kann man aber durch Schütteln des Fläschchens oder Umrühren

nachhelfen. Ein anderes Problem kann bei der Zubereitung von Geflügel auftreten. Da Salmonellenerreger erst bei Temperaturen über 70°C zuverlässig abgetötet werden, kann die inhomogene Erwärmung zu einer Vergiftung führen.

7 Ist ein Mikrowellengerät Energie sparend?

Um diese Frage zu klären, müssen wir für uns erst einmal überlegen, was das heißt. Man kann sich z.B. fragen, welcher Bruchteil der elektrischen Energie als Wärmeenergie in der Speise auftaucht und das Ergebnis mit dem Befund bei einem normalen Herd vergleichen. Die von den Geräten aufgenommene elektrische Energie lässt sich aus der vom Hersteller angegebenen Leistung bestimmen. Bei vielen Mikrowellenöfen sind das 1200 Watt. Die z.B. in fünf Minuten vom Mikrowellengerät aufgenommene Energie beträgt dann $E = 1200 \text{ W} \cdot 300 \text{ s} = 360 \text{ kJ}$ (Sie erinnern sich: Leistung ist Energie pro Zeit). Stellen wir ein Gefäß mit z.B. einem Liter Wasser in das Mikrowellengerät, so können wir außerdem die Temperaturzunahme nach dieser Heizzeit messen. Aus der Temperaturänderung lässt sich dann auf die zugeführte Wärme schließen. Dazu erinnern wir uns, dass die Wärme das Produkt aus der spezifischen Wärmekapazität, der Masse und der Temperaturerhöhung $\Delta\vartheta$ ist: $Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta = 4190 \text{ J/kg K} \cdot 1 \text{ kg} \cdot \Delta\vartheta$. Der Wirkungsgrad ergibt sich zu $Q/E \approx 50\%$.

Mikrowellenöfen erwärmen Wasser im Vergleich zu Herdplatten sehr effektiv.

8 Wie werden Mikrowellen erzeugt?

Die Mikrowellen werden in einem so genannten Magnetron erzeugt. Dieses besteht im Wesentlichen aus elektromagnetischen Schwingkreisen. Diese bestehen jeweils aus einer Spule und einem Kondensator (Abb. 4).

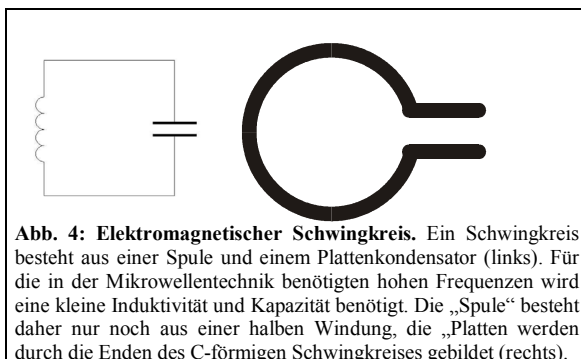


Abb. 4: Elektromagnetischer Schwingkreis. Ein Schwingkreis besteht aus einer Spule und einem Plattenkondensator (links). Für die in der Mikrowellentechnik benötigten hohen Frequenzen wird eine kleine Induktivität und Kapazität benötigt. Die „Spule“ besteht daher nur noch aus einer halben Windung, die „Platten“ werden durch die Enden des C-förmigen Schwingkreises gebildet (rechts).

Die einzelnen Phasen der Schwingung sind in Abb. 5 dargestellt und beschrieben.

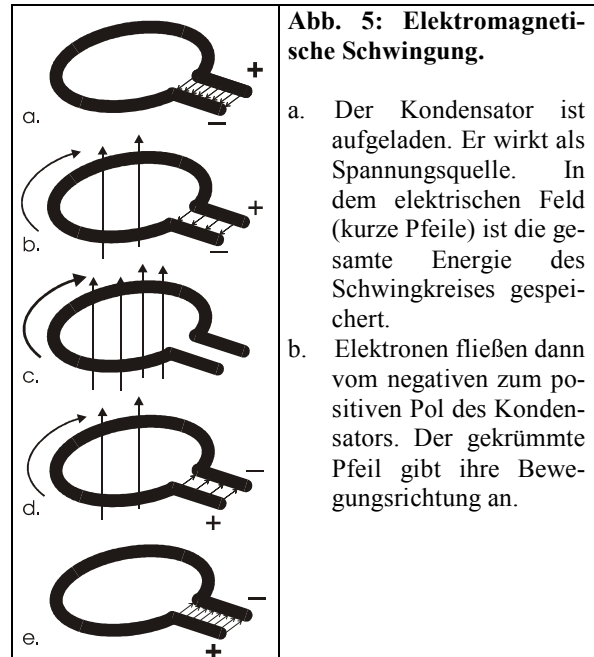


Abb. 5: Elektromagnetische Schwingung.

- Der Kondensator ist aufgeladen. Er wirkt als Spannungsquelle. In dem elektrischen Feld (kurze Pfeile) ist die gesamte Energie des Schwingkreises gespeichert.
- Elektronen fließen dann vom negativen zum positiven Pol des Kondensators. Der gekrümmte Pfeil gibt ihre Bewegungsrichtung an.

Mit der Linke-Hand-Regel können Sie sich überlegen, dass das vom Strom erzeugte Magnetfeld in der durch lange Pfeile angegebenen Richtung orientiert ist. Das elektrische Feld nimmt ab, da Elektronen von der linken Kondensatorplatte abfließen. Das Magnetfeld nimmt zu, da der Strom größer wird.

- Schließlich ist der Kondensator entladen. Da keine Energie verloren geht, muss in diesem Augenblick die Energie, die am Anfang im elektrischen Feld gespeichert war, jetzt im Magnetfeld sein. Der elektrische Strom hat daher sein Maximum erreicht. Die Elektronen bewegen sich in Richtung des gekrümmten Pfeils, obwohl die Spannung am Kondensator Null ist! Die Energie, die zur Aufrechterhaltung des Stromes notwendig ist stammt jetzt aus dem Magnetfeld. Sie hält den Stromfluss eine zeitlang aufrecht.
- Durch diesen Stromfluss wird der Kondensator wieder aufgeladen. Die Energie im elektrischen Feld nimmt auf Kosten der Energie des Magnetfeldes zu.
- Die Stromstärke ist schließlich wieder Null. Der Kondensator ist gegenüber dem Anfangszustand a. umgekehrt aufgeladen. Die gesamte Energie ist jetzt wieder im elektrischen Feld des Kondensators gespeichert. Die Richtung des elektrischen Feldes hat sich im Vergleich zu a. umgedreht. Damit ist eine halbe Schwingungsperiode des Schwingkreises beendet. Der beschriebene Vorgang wiederholt sich nun in umgekehrter Richtung. Der ganze Vorgang dauert hat nur etwa 0,4 milliardenstel Sekunden gedauert!

Die Mikrowellen werden mit Hilfe elektromagnetischer Schwingkreise erzeugt.