

Zeitschrift:	Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène
Herausgeber:	Bundesamt für Gesundheit
Band:	86 (1995)
Heft:	2
Artikel:	Hygienische Sicherheit von mikrowellenerhitzten Lebensmitteln = Hygienic safety of microwave-heated food
Autor:	Teuber, Michael / Guillaume-Gentil, Olivier / Eggmann, Maja
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-983629

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Hygienische Sicherheit von mikrowellenerhitzten Lebensmitteln*

Hygienic Safety of Microwave-heated Food

Key words: Microwave-heating, Food, Survival of microorganisms,
Hot and cold spots

*Michael Teuber, Olivier Guillaume-Gentil, Maja Eggmann,
Susana Calzada und Franz Keel*

Eidg. Technische Hochschule Zürich, Institut für Lebensmittelwissenschaft,
Laboratorium für Lebensmittelmikrobiologie

Einleitung

Der Mikrowellenherd hat sich in der Lebensmittelindustrie, in der Gastronomie und im Haushalt in den letzten 20 bis 30 Jahren zu einem wichtigen Instrument der Lebensmittelverarbeitung entwickelt, so dass beispielsweise die Marktsättigung mit solchen Geräten etwa 90% der amerikanischen Haushalte umfasst, in der Schweiz immerhin bereits knapp ein Viertel. Dies ist der schnellen und für bestimmte Speisen besonders bekömmlichen Erhitzung auch kleiner Mengen durch Energieabsorption im Inneren der Speisen selbst zuzuschreiben (15, 17, 18). Andererseits führt die Mikrowellenerwärmung von Speisen aufgrund der physikalisch-chemischen Gegebenheiten zur Entstehung charakteristischer «hot spots» und «cold spots», also kalten und warmen/heissen Zonen nebeneinander im erhitzten Lebensmittel. Ein Temperaturausgleich zwischen diesen Extremen kann nur durch thermische Diffusion, also durch entsprechende Standzeiten im Anschluss an die Mikrowellenerhitzung erreicht werden, die in vielen Kochbüchern als Nachgarzeiten angegeben sind (z. B. 12).

Es ist die Entstehung der genannten «cold spots», die unter Umständen zu einem Hygienerisiko werden kann, wenn an diesen Stellen eventuell vorhandene pathogene Keime nicht abgetötet werden und sich anschliessend bei unsachgemässer Lagerung zu wirksamen Zahlen vermehren. Ein weiterer, in der Öffentlichkeit heiss

* Vortrag gehalten an der 27. Arbeitstagung der Schweiz. Gesellschaft für Lebensmittelhygiene und ETH, Zürich, 24. November 1994

diskutierter, wissenschaftlich aber bisher nicht fassbarer Vorwurf ist die Entstehung unbekannter, eventuell schädlicher und toxischer Substanzen durch thermische und athermische Einwirkungen der Mikrowellenenergie im erhitzten Lebensmittel (2). Zu beiden Fragestellungen haben wir in den letzten 5 Jahren im Rahmen mehrerer Diplom- und Doktorarbeiten experimentelle Untersuchungen durchgeführt, über deren wesentliche Ergebnisse hier berichtet werden soll (3, 5, 8, 9, 11).

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden mit haushaltsüblichen Mikrowellengeräten (2450 MHz) durchgeführt, die keinen Drehteller enthielten, aber in der Einwirkzeit genau programmierbar waren (Electrolux MA 6005 DV und Electrolux NF 4076). Die nominelle Leistungsabgabe beider Geräte betrug 650 Watt, was experimentell nachgeprüft wurde. Ein wesentlicher Bestandteil unserer Versuchsanordnung war das Luxtron 755-Mehrkanal-Temperaturmessgerät, das parallel vier fiberoptische Thermosonden bediente. Diese konnten durch entsprechende Bohrungen in der Wand des Gehäuses in den Innenraum der Mikrowellenherde und damit in die zu untersuchenden Proben eingeführt werden, ohne dass eine messbare Leckstrahlung ($< 0,1 \text{ mW}$) mit dem SAIREM Typ IFP 5 Monitor nachgewiesen werden konnte. Diese Thermosonden sind für Mikrowellen unempfindlich und sprechen auf Temperaturänderungen im Millisekundenbereich an. Die für Mikrowellen geeigneten tiefgefrorenen Fertigspeisen wurden im Supermarkt gekauft und nach den Angaben auf der Packung im Mikrowellenherd behandelt. Die detaillierten Versuchsanordnungen und mikrobiologischen Techniken sind in den zitierten Diplom- und Doktorarbeiten bzw. in den Legenden zu den Abbildungen genau beschrieben. Die Veröffentlichung dieser Arbeit ist in Vorbereitung.

Quantitative Bestimmung der thermischen Wirkung von Mikrowellen auf Mikroorganismen

In einer Reihe von Untersuchungen aus neuester Zeit wurde nachgewiesen, dass die thermischen dezimalen Abtötungswerte für typische Mikroorganismen in Lebensmitteln wie *Staphylococcus aureus* und *Escherichia coli* identisch sind mit D-Werten, wie man sie in konventionell erhitzten Medien bestimmt (6, 16). Ähnliche Erfahrungen haben wir mit *Enterococcus faecalis*, *Salmonella typhimurium* und *Escherichia coli* in unseren eigenen Untersuchungen gemacht (3, 9). Daraus lässt sich ganz klar ableiten, dass die thermische Wirkung von Mikrowellen, so die erreichte Temperatur im Lebensmittel bekannt ist, über die Temperatur-Zeit-Kombination z. B. als Pasteurisationswert berechnet werden kann (3). Wenn es also in einer hygienischen Bewertung darum geht, die typischen Risiken mikrowellener-

hitzer Speisen zu bewerten, dann ist es notwendig, die Temperaturverteilung in einem mikrowellenerhitzten Lebensmittel zu kennen und zu beschreiben.

Ungleichmässige Erhitzung von Fertigspeisen

Als Modell für derartige quantitative Untersuchungen haben wir im Handel erhältliche tiefgefrorene Fertigspeisen gewählt, weil sie der konkreten Anwendung im Haushalt sehr nahekommen. Dass wir diese Produkte gewählt haben, bedeutet nicht, dass wir ihnen *a priori* ein besonderes hygienisches Risiko unterstellen. Ganz im Gegenteil, auch diese Produkte haben in ihrem Keimgehalt den Vorschriften der eidgenössischen Lebensmittelverordnung zu entsprechen und tun dies auch. Für die Aufnahme von Temperaturprofilen haben wir uns dabei genau an die Vorschriften der Hersteller auf der Verpackung gehalten. Darüber hinaus wurde an spezifischen Stellen jeweils eine Temperatursonde vor Beginn der Mikrowellenerhitzung im Lebensmittel platziert, um den Temperaturverlauf genau zu beschreiben. Wie in Abbildung 1 dargestellt, haben wir das System zunächst an rohen Fleischwürfeln mit einem Durchmesser von 4 cm getestet, die von uns hergestellt und tiefgefroren waren. Die Sonden befanden sich in der Mitte und am Rand in 2 cm Tiefe. Es ist

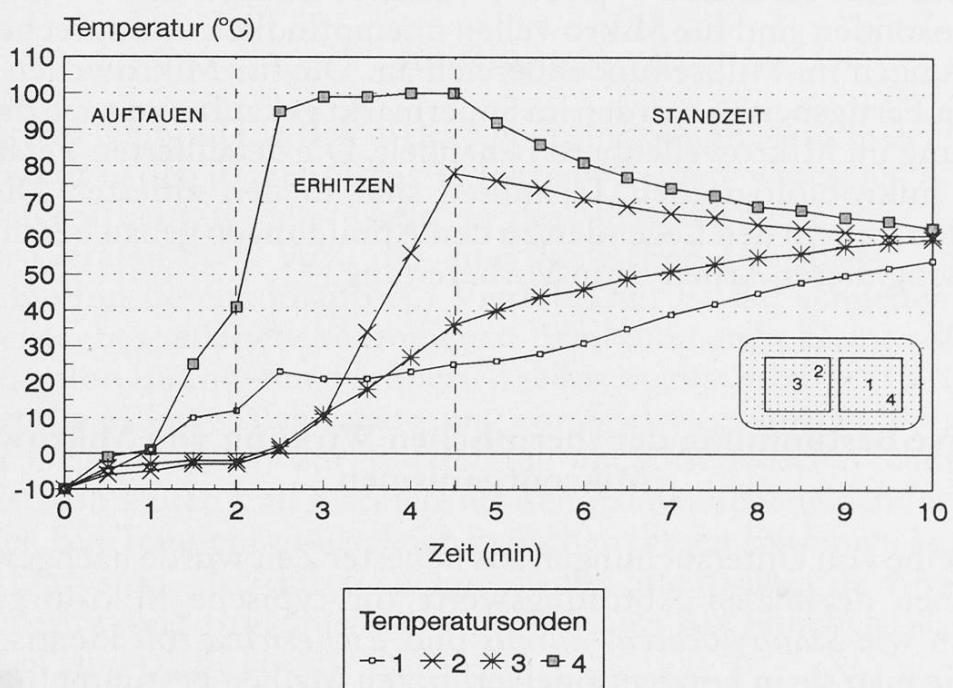


Abb. 1. Temperaturverlauf in 2 Rindfleischwürfeln von 4 cm Kantenlänge während Erhitzung in einem Mikrowellenofen. Die tiefgefrorenen Stücke (-18°C) wurden im Zentrum des Herdes platziert. Die Thermosonden (No. 1 bis 4) wurden wie angegeben von oben her 2 cm tief eingesetzt. In der Auftauphase gibt das Gerät 50% Leistung ab, während des Erhitzens 100%. In der Standzeit ist das Magnetron nicht im Betrieb. Das Fleischstück, das die Sonden 1 und 4 enthielt, wurde auf der Oberfläche mit Salz bestreut.

klar ersichtlich, dass die Erhitzung dieser Fleischwürfel in der Randzone am schnellsten abläuft, am langsamsten jedoch in der Mitte. Das hängt unter anderem damit zusammen, dass gefrorenes Wasser für Mikrowellen praktisch «durchsichtig» ist, also Mikrowellenenergie nicht absorbieren kann (17, 18). Durch Bestreuen mit Kochsalz erfolgt eine zusätzliche starke Mikrowellenabsorption und damit Erhitzung bereits auf der Oberfläche (4), was zu einer Verlangsamung der Erwärmung im Inneren führt (Abb. 1, Sonde 1). Eine Erhitzung gefrorener Lebensmittel erfolgt also beim Auftauen im wesentlichen von der Oberfläche her. In der angegebenen Standzeit von 5,5 Minuten kommt es jedoch zu einem weitgehenden Temperaturausgleich, so dass sich der ursprüngliche maximale Temperaturunterschied von 100 °C, in diesem Stück Fleisch auf ca. 5 bis 10 °C reduziert, der kälteste Punkt also etwa 55 °C, der wärmste Punkt dann noch etwa 65 °C hatte. Aus Abbildung 2 geht hervor, dass ein 5 cm grosses Fleischstück ein noch extremeres Verhalten dieser Art zeigte als das 4 cm grosse Fleischstück. Im Zentrum begann dieses erst am Ende der Erhitzungsphase aufzutauen, während der Rand bereits nach 2 Minuten Auftauphase aufgetaut war und sich erwärmt. Auch hier fand ein Temperaturausgleich während der Standzeit statt, der sich bei ca. 65 bis 70 °C eingependelte. Diese beiden Experimente belegen bereits die Wichtigkeit der Standzeit bzw. Nachgarzeit, auf die man nicht ausdrücklich genug hinweisen kann. Kleinere Fleischwürfel von 1 bis 3 cm zeigten den bekannten Linseneffekt einer punktförmigen Erhitzung im Zentrum (15, 17, 18).

Als erstes Fertiggericht haben wir ein homogenes Lebensmittel gewählt, einen Kartoffelstock, dessen Erhitzungsverhalten in Abbildung 3 dargestellt ist. Auch hier zeigt sich das Phänomen, dass das Lebensmittel im Zentrum nicht mehr richtig

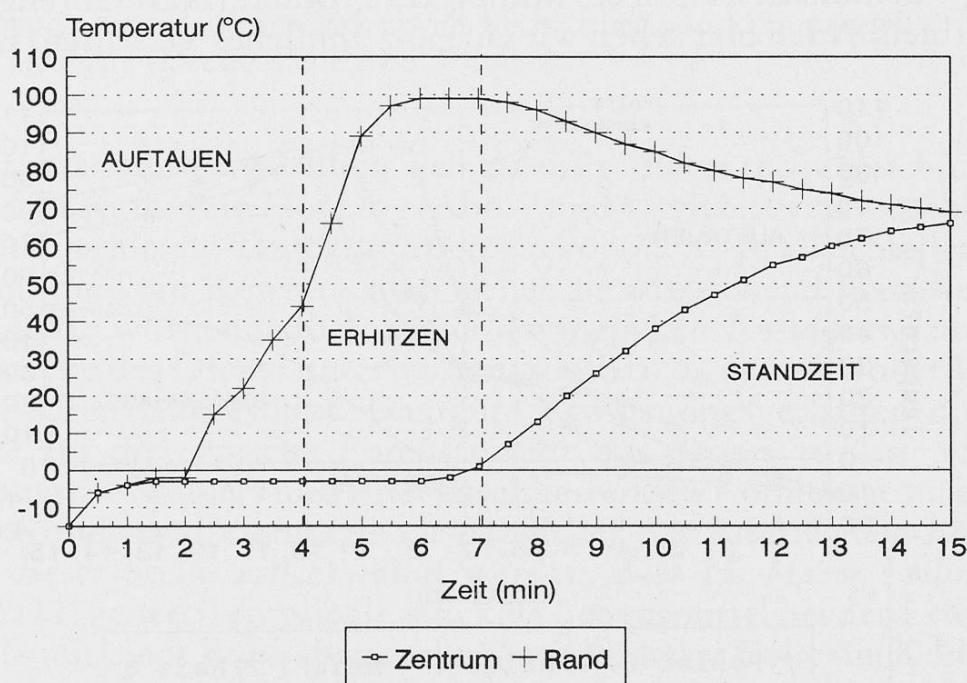


Abb. 2. Temperaturverlauf in einem Rindfleischwürfel von 5 cm Kantenlänge.
Die Versuchsanordnung entsprach ansonsten der von Abbildung 1

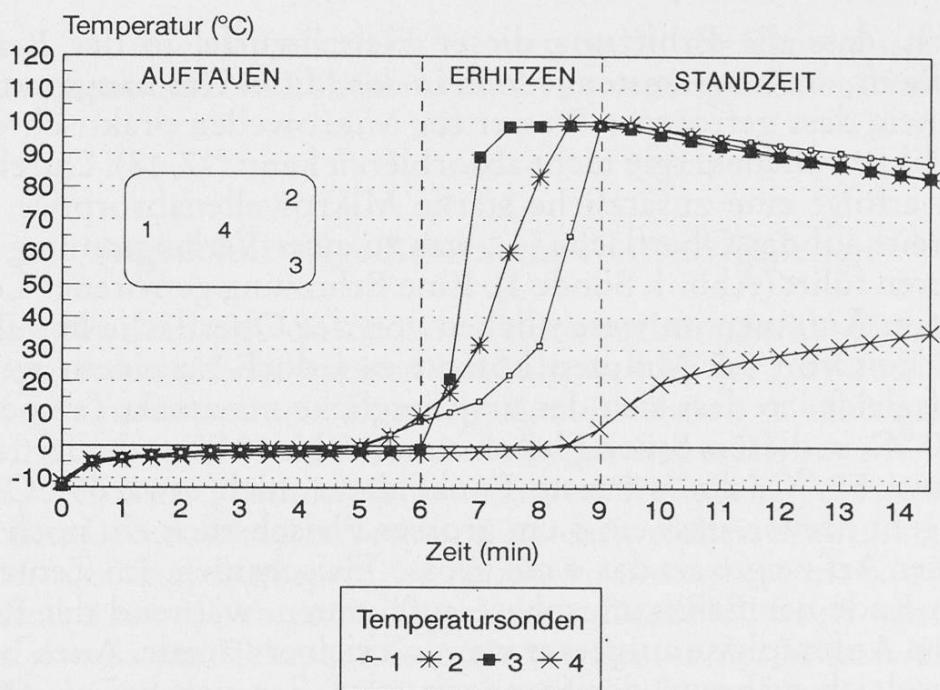


Abb. 3. Temperaturverlauf in einem kommerziell erhältlichen Kartoffelstock während der vom Hersteller vorgeschlagenen Mikrowellenerhitzung. Die Temperatursonden wurden an den angezeigten Stellen in vorgebohrte (2 mm) Löcher auf ca. die halbe Produkthöhe eingeführt. Für die Definition vom Auftauen, Erhitzen und Standzeit siehe Abbildung 1

warm wird und selbst nach einer Standzeit von über 5 Minuten nur knapp 40 $^{\circ}\text{C}$ erreicht. So ein Ergebnis wird vom Konsumenten sicher nicht gustiert werden.

Abbildung 4 demonstriert nun ein komplexes Produkt (Nasi Goreng), das Reis und Poulet enthielt. Auch hier sehen wir ein ganz ähnliches Verhalten. Ein Poulet-

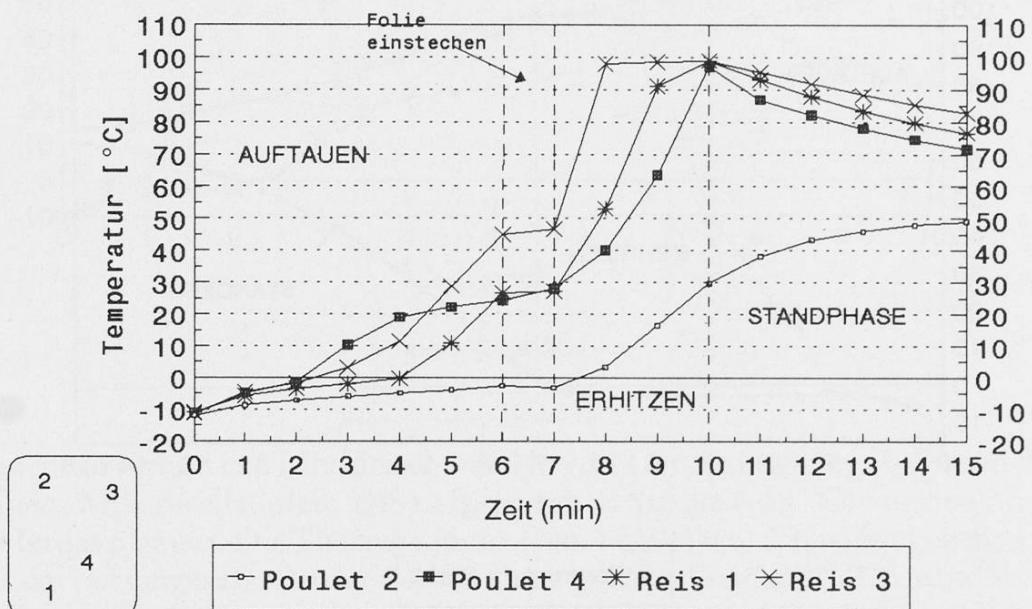


Abb. 4. Temperaturverlauf der Mikrowellenerhitzung von kommerziell erhältlichem Nasi Goreng (Details siehe Abbildungen 1 und 3)

stück im Inneren des Produktes hatte nach der Standzeit erst knapp 50 °C erreicht, während der Reis und ein anderes Pouletstück die 100 °C-Grenze durchliefen und dann wieder auf 70 bis 80 °C abkühlten. In Penne all'arrabiata (einem italienischen Nudelgericht) kam es sogar im Inneren nach der angegebenen Erhitzungs- und Standzeit nicht zu Temperaturen oberhalb von 5 °C (Abb. 5). Auch ein Gericht, das Fisch, Broccoli und Sauce enthielt, zeigte dieses ungleichmässige Erwärmungsverhalten (Abb. 6).

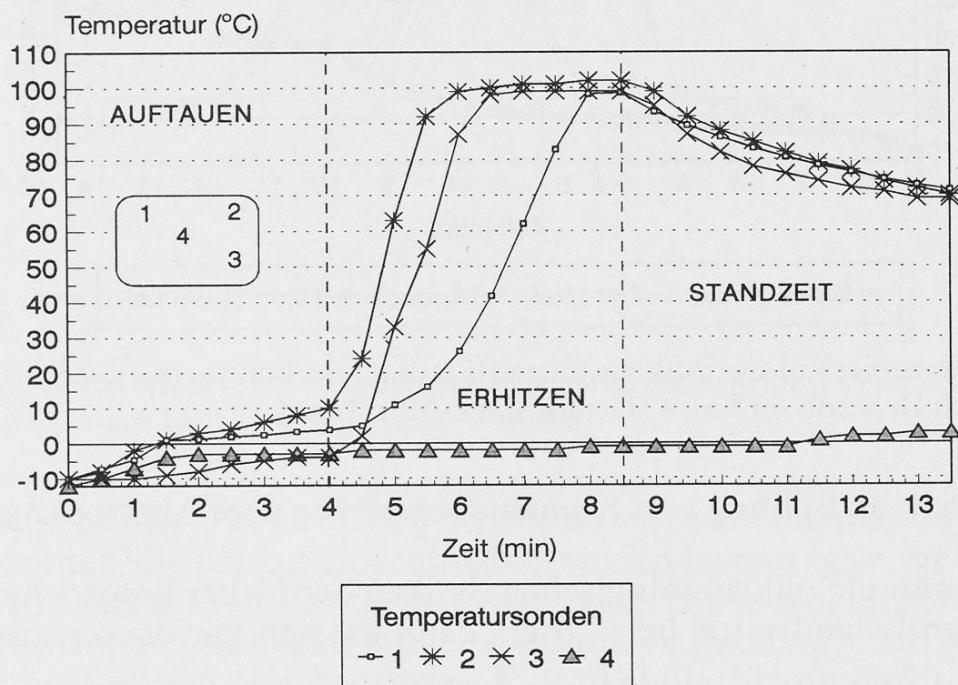


Abb. 5. Temperaturverlauf der Mikrowellenerhitzung von kommerziell erhältlichen Penne all'arrabiata (Details siehe Abb. 1 und 3)

Interessanterweise erwärmten sich zwei Produkte recht gleichmäßig, nämlich ein Cheeseburger und ein Hot Dog (Abb. 7 und 8). Nach der angegebenen Standzeit war dann immerhin ein Temperaturbereich von 70 °C an allen Stellen erreicht, eine Temperatur, die vom Konsumenten sicher als ausreichend heiss betrachtet wird. Diese Produkte wurden jedoch keiner anfänglichen Auftauerwärmung (bei 50% Leistungsstärke des Ofens) unterworfen, sondern direkt mit voller Leistung zweieinhalb Minuten lang erhitzt. Das gute Erwärmungsverhalten dieser Produkte führen wir auf die typische Porenstruktur des Brotes zurück, wo es zu einer Verdampfung des Wassers und einer anschliessenden Kondensation kommen kann, wobei die Kondensationsenergie gleich wieder zur zusätzlichen Erwärmung beiträgt. An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass *H. Maier-Leibnitz* in seinem Kochbuch (12) generell empfiehlt, stückige Lebensmittel bei der Erwärmung in der Mikrowelle mit einer Folie abzudecken, um an dieser Folie die Kondensation von Dampf, der aus dem Lebensmittel stammt, zu erreichen und damit diese Energie für die Erwärmung der Lebensmittel zu nützen. Eine Folie hat auch den Vorteil, dass die an der Oberfläche stärker erwärmten Lebensmittel bei der Mikrowellen-

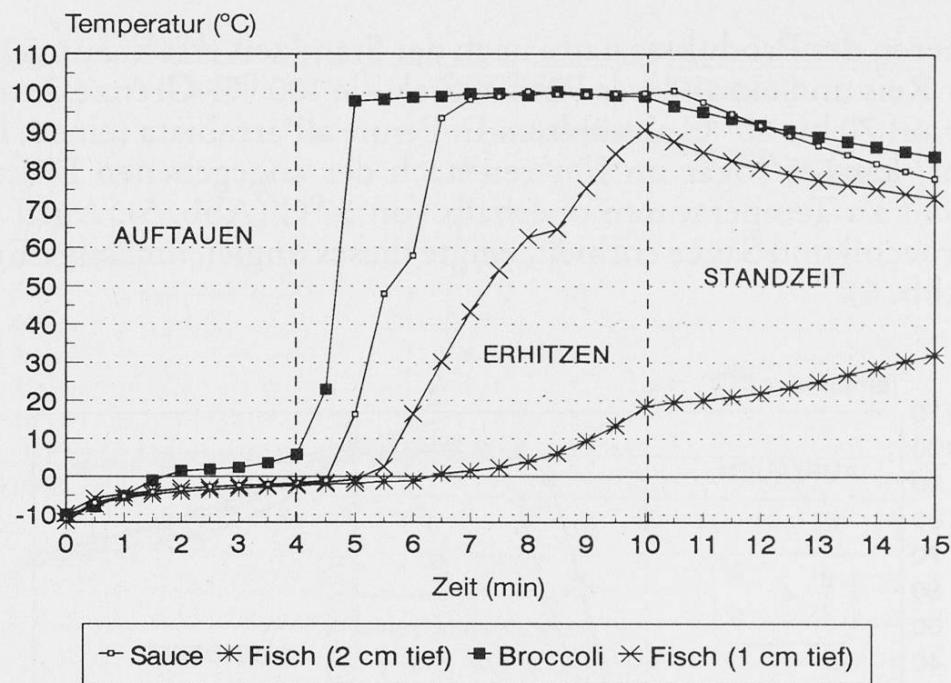


Abb. 6. Temperaturverlauf der Mikrowellenerhitzung von kommerziell erhältlichem Goldbutt mit Broccoli in Sauce (Details siehe Abb. 1 und 3)

erhitzung durch die Bildung von Kondenswasser vor dem Austrocknen geschützt werden.

Wenn wir nun die mikrobiologischen Risiken der bisher besprochenen mikrowellenerhitzten Lebensmittel betrachten, dann müssen wir davon ausgehen, dass

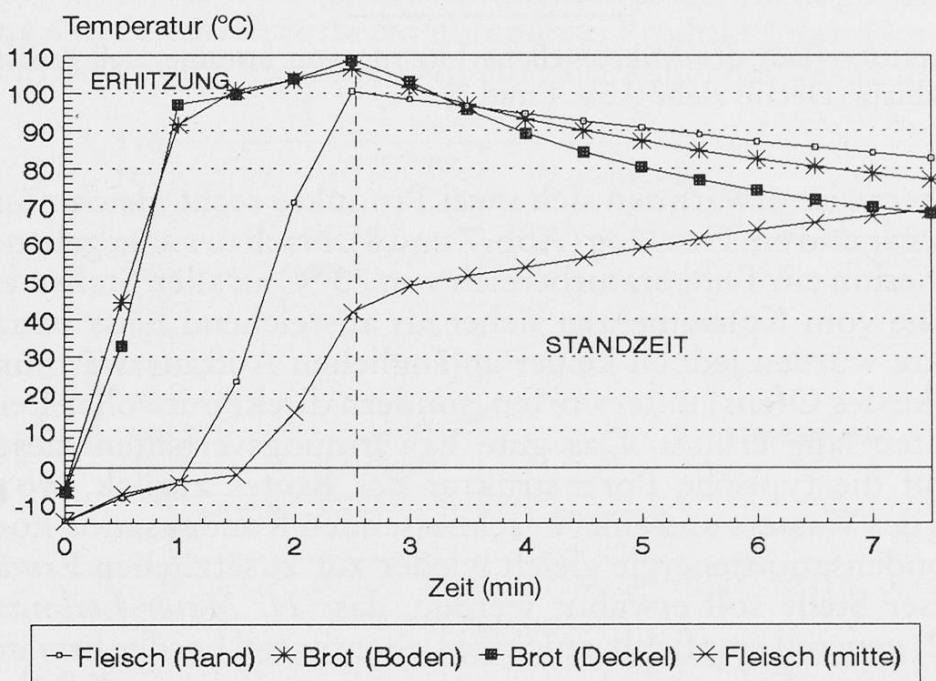


Abb. 7. Temperaturverlauf der Mikrowellenerhitzung eines kommerziell erhältlichen Cheesburgers. Die Position der Sonden ist angegeben. Beachte die fehlende Auftauphase (weitere Details siehe Abb. 1 und 3)

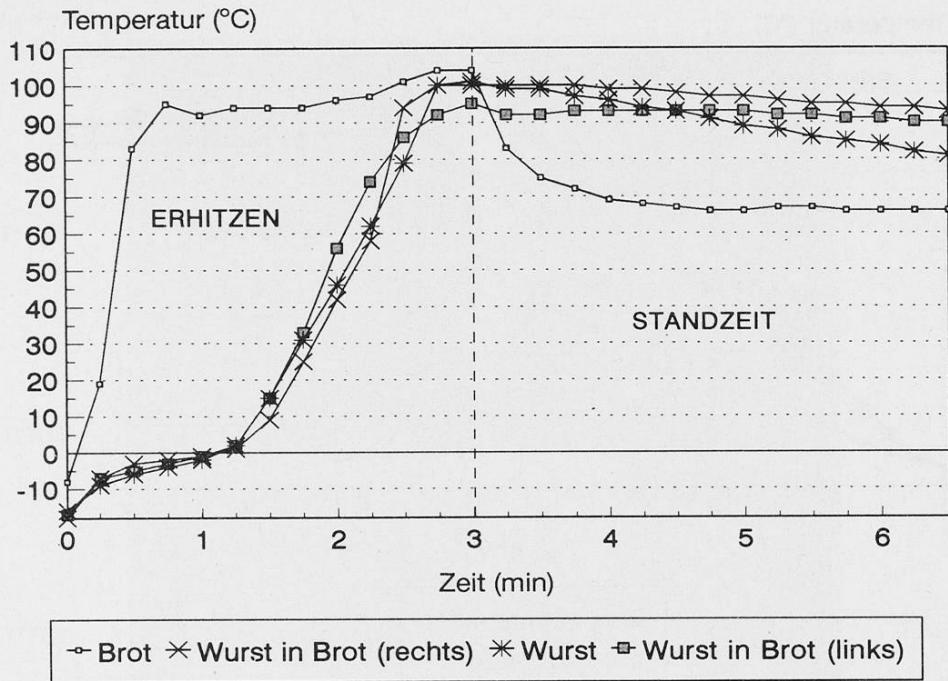


Abb. 8. Temperaturverlauf der Mikrowellenerhitzung eines kommerziell erhältlichen Hot Dogs (weitere Details siehe Abb. 1, 3 und 6)

alle Bereiche, die nicht über 60 °C erwärmt wurden, noch lebende, vegetative Keime enthalten könnten, die sich bei einer anschliessenden Lagerung vermehren könnten. Derartige Produkte dürfen also nicht weiter gelagert werden, um ein hygienisches Risiko zu vermeiden. Das gilt unabhängig davon, ob die erwärmten Speisen vorher gefroren, roh oder vorgekocht waren. Eine Abhilfe für dieses ungleichmässige Erhitzungsproblem könnte das Verfahren sein, wie es auch von *Anne und Gilbert Golay* (7) vertreten wird, nämlich keine kontinuierliche Erhitzung durchzuführen, sondern ein Gerät zu verwenden, das intermittierende Erhitzung erlaubt. Ein Beispiel dieser Art zeigt Abbildung 9. Man sieht, dass nach einer intermittierenden Standzeit von 1 Minute zwischen zwei Erhitzungsphasen praktisch innerhalb von 4,5 Minuten dann in einem Nudelgericht (Knöpfli) eine recht gleichmässige Temperaturverteilung zwischen 90 und 100 °C innerhalb von 5 Minuten erreicht werden kann. Wir haben ähnliche Erfahrungen auch mit anderen homogenen und weniger homogenen Lebensmitteln, wie z. B. Kartoffelstock, gemacht.

Direkter Nachweis der Keimabtötung in mikrowellenerhitzten Lebensmitteln

Die Berechnung des Keimabtötungspotentials eines thermischen Verfahrens mit Hilfe von dezimalen Abtötungswerten ist eine Sache, deren Realisierung in der Praxis eine andere. Wir haben daher die Abtötung eines Leitkeims, in unserem Fall von *Enterococcus faecalis*, direkt untersucht. Dieser Keim hat einen relativ hohen D-Wert, wie ihn z. B. auch *Listeria monocytogenes* aufweist ($D_{65} = \text{ca. } 2 \text{ min}$). Wenn

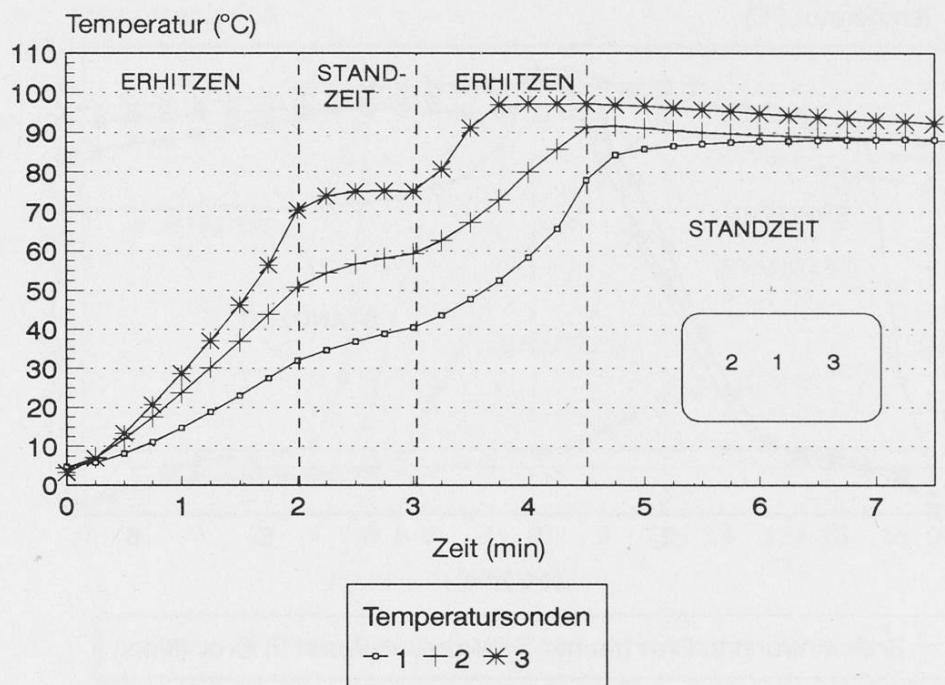


Abb. 9. Temperaturverlauf der Mikrowellenerhitzung einer kommerziell erhältlichen Mehlspeise (Knöpfli) mit zwischengeschalteter Standzeit (weitere Details siehe Abb. 1 und 3)

also dieser Keim im Experiment abgetötet ist, werden auch weniger hitzeempfindliche Mikroorganismen wie Salmonellen und *Escherichia coli* nicht überleben. Ein Kartoffelstock, der mit $1,6 \times 10^8$ koloniebildenden Einheit *Enterococcus faecalis* pro Gramm kontaminiert war, wurde 4 Minuten bei 70 bzw. 80% Leistung erhitzt. An der kältesten Stelle in der Mitte beider Proben trat dabei eine Keimreduktion auf ca. 8×10^5 koloniebildende Einheiten pro Gramm ein (die Ränder waren keimfrei). Das ist eine Keimreduktion, die nur knapp 3 Zehnerpotenzen beträgt und die ganz klar belegt, dass die Mikrowellen-Erhitzung in sogenannten «cold spots» keine genügende Hygienisierung von Speisen zulässt. Man kann nun in der Regel nicht immer ganze Lebensmittelchargen gleichmäßig mit Modellkeimen kontaminieren. Um die Keimabtötung in Lebensmitteln verfolgen zu können, haben Holyoak et al. (10) eine einfache Methode vorgeschlagen, bei der *Enterococcus faecalis* in Alginatkügelchen eingepolymerisiert wird. Diese Kügelchen werden an definierten Stellen im Lebensmittel platziert und können nach der Mikrowellenerhitzung dem Lebensmittel entnommen und auf ihren Keimgehalt analysiert werden. Da die quantitative Keimzahlbestimmung der Verdünnungsreihen sehr aufwendig ist, haben wir dieses Verfahren modifiziert und den Kügelchen gleich einen Nährboden beigegeben, der das Wachstum von *Enterococcus faecalis* ermöglicht und gleichzeitig die Keimvermehrung durch einen Indikator anzeigt. Wir haben dazu die Schwarzfärbung durch die Spaltung von Aesculin in Anwesenheit von Eisenionen benutzt. Damit lässt sich, wie aus Abbildung 10 ersichtlich ist, sehr gut z. B. das ungleichmäßige der Mikrowelleneinwirkung in einem Mikrowellenherd anschaulich zeigen. Plazierte man diese Kügelchen z. B. in Kartoffelstock, der so wie in

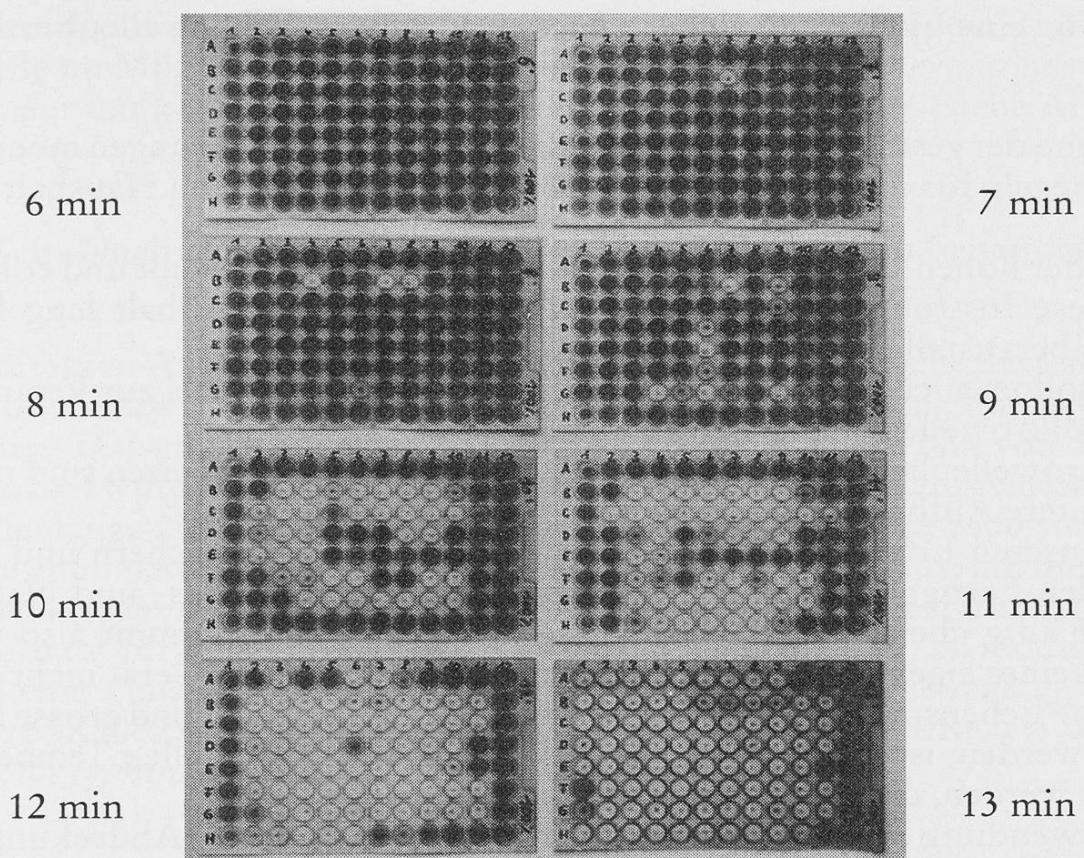


Abb. 10. Demonstration der ungleichmässigen Mikrowellenverteilung am Boden eines kommerziell erhältlichen Mikrowellenherdes. Je ca. 0,5 cm grosse Na-Alginat-Kügelchen mit einpolymerisierten Keimen der Art *Enterococcus faecalis* (ca. 10^6 bis 10^7 koloniebildenden Einheiten pro Kügelchen) wurden gleichmässig in 8 parallel zur Rückwand und 12 senkrecht zur Rückwand laufenden Reihen auf der geräteeigenen Glasplatte ausgelegt und bei 100% Leistung 6 bis 13 Minuten lang bestrahlt, anschliessend auf Eis sofort gekühlt und 24 Stunden bei 37°C bebrütet. Alle Kügelchen, die noch lebende Keime enthielten, färbten sich durch die Spaltung von Aesculin durch die lebenden Enterokokken schwarz.

Abbildung 3 erwärmt wurde, kann man damit eindeutig zeigen, dass an den Stellen, die eine ungenügende Erhitzung aufwiesen, die Alginatkügelchen noch lebende Enterokokken enthielten, andererseits an den Stellen am Rand, die ausreichend erhitzt waren, alle Enterokokken abgetötet waren. Allerdings ist die hier gezeigte Indikatormethode abhängig vom Gehalt des Lebensmittels an Antioxidantien (z. B. Ascorbinsäure und schwefelige Säure im Fall des verwendeten Kartoffelstocks, der aus einem entsprechenden Pulver hergestellt wurde). Wenn also mit einem erhöhten Gehalt an Antioxidantien zu rechnen ist, muss die Menge an Eisenionen im Medium vermehrt werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die ungleichmässige Erwärmung von Lebensmitteln im Mikrowellenherd auch zu einer ungleichmässigen Keimabtötung führt, wie das ja theoretisch und aus der praktischen Erfahrung heraus auch vorausgesagt werden kann.

Regeln für eine hygienisch sichere Anwendung von Mikrowellenherden im Haushalt

Aufgrund der geschilderten Experimente und unserer Erfahrungen möchten wir folgende Regeln für die Anwendung von Mikrowellenherden im Haushalt aufstellen:

1. Wegen der hohen Inhomogenität der Mikrowellenwirkung (hot und cold spots) sind diese Instrumente nicht geeignet, um damit im Haushalt lang haltbare Speisen herzustellen.
2. Daher sollten auch keine schon stark verkeimten Lebensmittel zur Verarbeitung in der Mikrowelle genommen werden.
3. Im Mikrowellenherd einmal aufgetaute und aufgewärmte Speisen sind nicht für eine weitere Aufbewahrung geeignet.
4. Nach unseren Erfahrungen sind die in Mikrowellenkochbüchern und auf Mikrowellen-Fertiggerichten angegebenen Auftau-, Erhitzungs- und Nachwirktzeiten häufig eher zu kurz als zu lang angegeben. Man kommt also um den Aufbau eines eigenen Erfahrungsschatzes mit dem eigenen Gerät nicht herum.
5. Wenn die Lebensmittelschicht 3 bis 4 cm Dicke überschreitet und grosse Mengen erhitzt werden, ist damit zu rechnen, dass nicht an allen Stellen Temperaturen erreicht werden, die eine Pasteurisierung erlauben.
6. Die Verwendung einer für Mikrowellen geeigneten Folie zur Abdeckung des zu erhitzen Lebensmittels erlaubt eine rationellere und bessere Erhitzung, da die Kondensationsenergie des entstehenden Wasserdampfes zusätzlich genutzt werden kann und das gebildete Kondenswasser einer Austrocknung entgegenwirkt.
7. Mit entsprechender Erfahrung und der nötigen Sorgfalt lassen sich jedoch auch mit Mikrowellenherden Speisen so zubereiten, dass sie den aus hygienischer Sicht konventionell gekochten Gerichten in keiner Weise nachstehen. Das gilt besonders für Speisen, wo die erreichte Temperatur anhand des Zustandes der Speise (z. B. keine roten Stellen im Fleisch) auch vom Laien zweifelsfrei beurteilt werden kann.

Gibt es über die Hygienerisiken hinaus andere schädliche Wirkungen mikrowellenerhitzter Speisen?

Um derartige Vorstellungen, wie sie in den letzten Jahren zum Teil in der Öffentlichkeit aufgetaucht sind, zu widerlegen oder nachzuweisen, haben wir versucht, sehr sensitive mikrobiologische Systeme der Mikrowellenbestrahlung, wie sie in Haushaltsherden auftritt, auszusetzen um festzustellen, ob besondere mutagene, erbmaterialschädigende Wirkungen auftreten, die nicht auf die thermische Wirkung der Mikrowelle zurückzuführen sind (9).

Da die inhomogene Wärmeverteilung, wie oben gezeigt, zu Temperaturgradienten im erhitzen Material führt, wurde für die folgenden Untersuchungen ein Probevolumen von 0,4 ml gewählt bei einer Wasserlast von 0,4 Litern. Darüber-

hinaus wurden die methodischen Voraussetzungen geschaffen, die Zeit-Temperatur-Profile im Mikrowellenofen in einem Thermal Cycler (thermisches Referenzsystem), der mit konventioneller Hitze arbeitet, zu simulieren (siehe Abb. 10).

Kein Nachweis von Mutagenität in mit Mikrowellen behandelten Salmonellen mit dem Ames- und Umu-Test

Die direkten Auswirkungen von Mikrowellen auf biologische Systeme wurden mit Hilfe von zwei international anerkannten empfindlichen Mutagenitätstests, dem Ames-Test und dem *Umu*-Test analysiert (1, 14). Die DNA von *Salmonella typhimurium* wurde in Kontrollexperimenten mit mutagener Ultraviolettstrahlung der Wellenlänge 254 nm bzw. mit mutagenem Mitomycin C *in vivo* stark geschädigt. Die applizierte Mikrowellenenergie reicht jedoch nicht aus, um die DNA der *Salmonella typhimurium*-Stämme bei Subletal- und Letaltemperaturen (von 20 °C bis 60 °C bzw. für Behandlungszeiten zwischen 0,5 und 4 min) zu modifizieren: Es erfolgt keine Zunahme der β-Galactosidaseaktivität von *Salmonella typhimurium* TA1535/pSK1002 im *Umu*-Test sowie keine mutationsbedingte Reversionsrate von *Salmonella typhimurium* TA102/pAQ1 im Ames-Test.

Mikrowelleneinfluss auf isolierte Plasmid-DNA

Die Empfindlichkeit der Untersuchungen wurde im Vergleich zum *Umu*- und Ames-Test erhöht, indem isolierte pUC18-Plasmid-DNA in bidestilliertem Wasser mit Mikrowellen *in vitro* behandelt wurde. In Transformationsexperimenten nimmt die Anzahl Transformanten über 60 °C ab, weil die ccc-Form der Plasmid-DNA durch Hitzeeinwirkung in oc- und lineare Formen überführt wird. Diese Formen werden von *Escherichia coli*-Zellen nur schlecht aufgenommen. Außerdem schmilzt oder denaturiert die pUC18-Plasmid-DNA bei Temperaturen über 80 °C, und daraus resultiert eine Trennung der Einzelstränge durch die thermische Wirkung der Mikrowellen- bzw. der konventionellen Hitze, was die Transformationsrate absinken lässt. Es wurde im lacZ-Gen, das auf der pUC18-Plasmid-DNA liegt, und der auf diesem Gen kodierten β-Galactosidase keine Zunahme der Mutagenität nachgewiesen: Die Mikrowellenerhitzung wirkt auf die pUC18-Plasmid-DNA im ganzen Bereich (25 °C bis 90 °C bzw. für Behandlungszeiten zwischen 2 min und 44 min) gleich wie die konventionelle Hitze.

Kein schädlicher Einfluss von Mikrowellenbehandlung auf Enzymaktivitäten und Lebensfähigkeit von *Thermus thermophilus*

Mit Mikrowellen behandelte *E. coli*- und extrem thermophile *Thermus thermophilus*-Zellen zeigten keinen Unterschied in bezug auf Veränderungen der Zellen,

der Lebendkeimzahlen, des Wachstums und von bestimmten Enzymaktivitäten bei Subletal- und Letaltemperaturen im Vergleich mit der konventionellen Behandlung im Thermal Cycler (siehe Abb. 11 und 12). Die β -Galactosidaseaktivität variiert zwischen 110 E/l und 120 E/l. Dies wurde auch durch die ATPase- und Isocitrat-Dehydrogenase-Aktivität bei verschiedenen Temperaturen (40°C , 60°C , 80°C) der *Thermus thermophilus*-Zellen bestätigt: Die Enzymaktivität lag für ATPase zwischen 71 E/l und 80 E/l, für Isocitrat-Dehydrogenase zwischen 70 E/l und 88 E/l (Abb. 13).

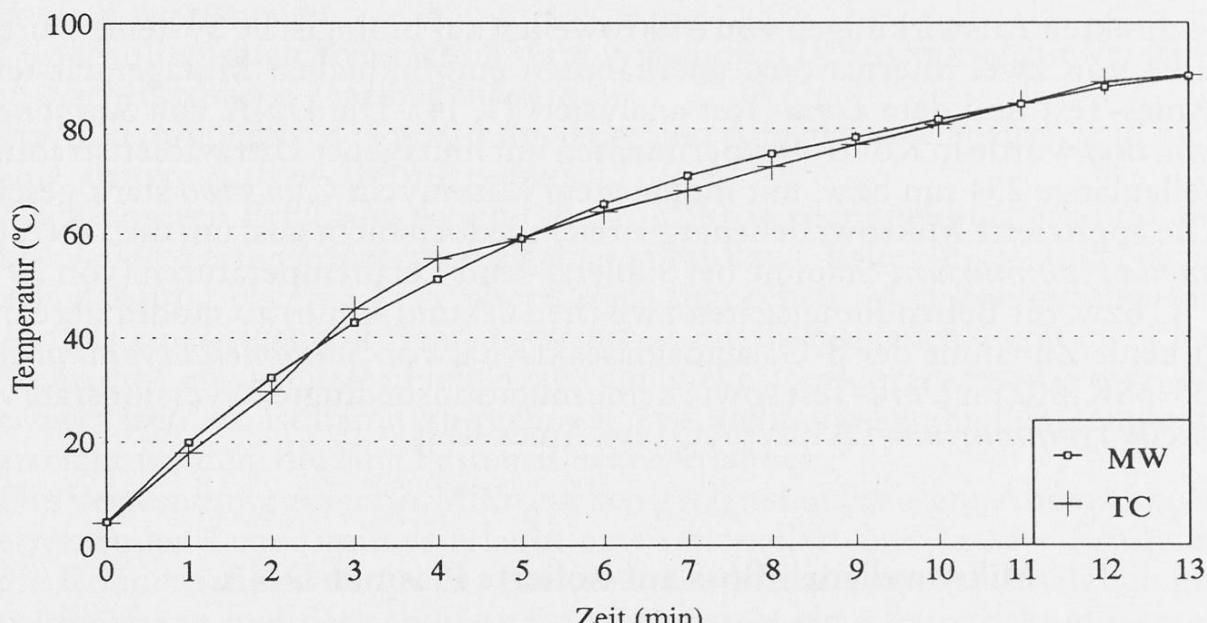


Abb. 11. Simulation des Temperaturverlaufs einer *Thermus thermophilus*-Suspension (0,4 ml in Eppendorfröhrchen) während Mikrowellenerhitzung (0,4 Liter Wasserlast, volle Leistung, Symbol MW) durch Programmierung in einem kommerziell erhältlichen Thermal Cycler (Perkin Elmer Cetus P-9941 DNA Thermal Cycler 480), wie er für die Polymerase-Kettenreaktion in der Molekularbiologie verwendet wird. Mit Hilfe dieser Simulation können biologische Proben mit demselben «Erhitzungsschicksal» unabhängig von der Wärmequelle verglichen werden. Mit dieser Methode lassen sich somit im Rahmen der gegebenen Versuchsschwankung «athermische» Effekte auf die untersuchten mikrobiologischen Prozesse (Ames-Test, *Umu*-Test; Enzymaktivitäten, Wachstumsverhalten, Lebendkeimzahl usw.) ausschliessen.

Berechnung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) für Mikrowellen-Haushaltsgeräte

Die induzierte spezifische Absorptionsrate (SAR) oder die effektiv absorbierte Mikrowellenleistung wurde am Anfang der Mikrowellenbehandlung bestimmt. Hier steigt die Temperatur noch linear zur Erhitzungszeit an. Sie betrug für *Escherichia coli* und *Salmonella typhimurium* in Luria-Bertani-Medium 1,16 W/g, für *Thermus thermophilus* in *Thermus thermophilus*-Medium 0,92 W/g, für pUC-18-Plasmid-DNA (gelöst in bidestilliertem Wasser) 0,71 W/g. Da die Temperatur nach ca. anderthalb Minuten nicht mehr linear zur Zeit stieg, wurden die inneren

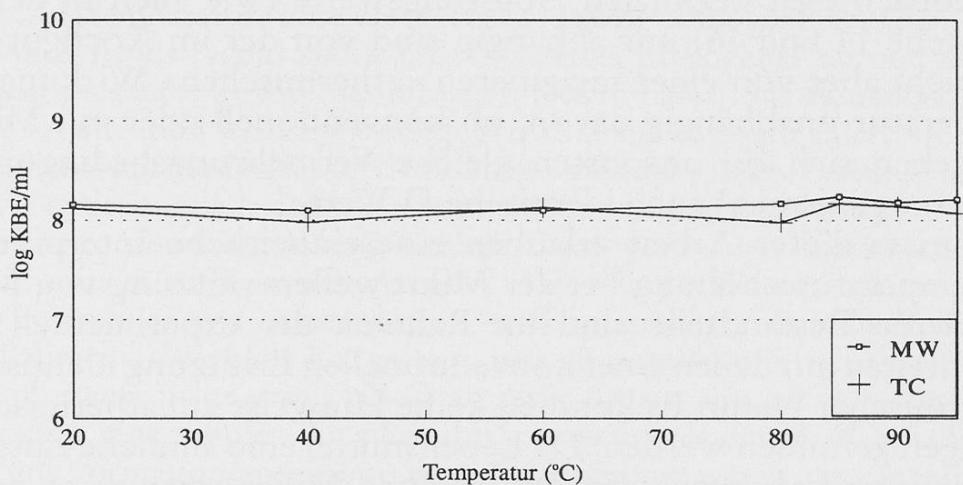


Abb. 12. Lebendkeimzahl in *Thermus thermophilus*-Suspensionen, die in der Mikrowelle (MW) bzw. Thermal Cycler (TC) mit identischer Zeitkinetik auf die angegebenen Temperaturen erhitzt wurden (siehe Abb. 11). Ein so komplexer Vorgang wie der Teilungs- und Fortpflanzungsmechanismus des thermophilen Bakteriums, das aus einer heißen Quelle im Yellowstone National Park in den USA stammt, lässt sich offensichtlich selbst durch eine intensive Mikrowellenerhitzung bis auf 95 °C nicht stören! Eine «athermische» Wirkung ist nicht sichtbar.

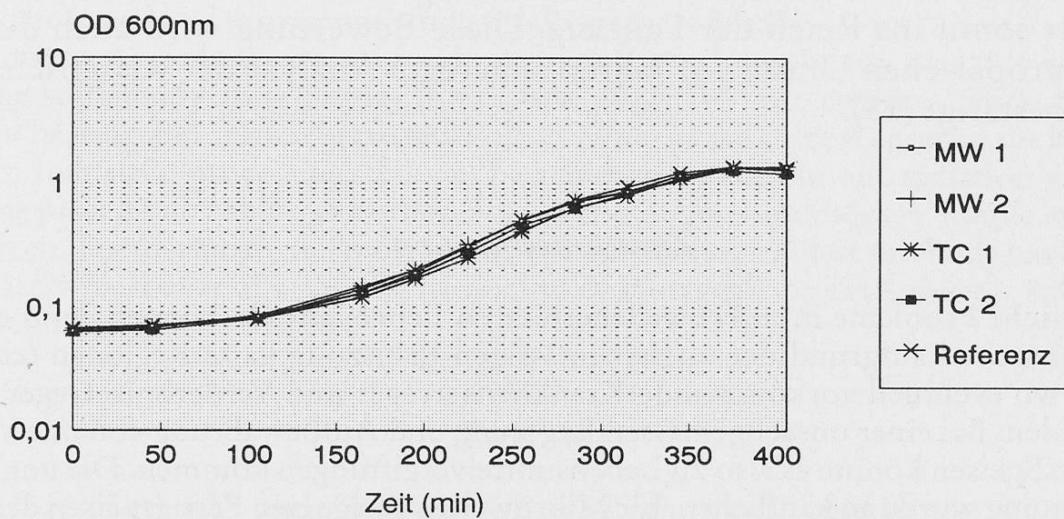


Abb. 13. Wachstumskurven von *Thermus thermophilus*-Zellen (bei 75 °C), die einer konventionellen Erhitzung im Thermal Cycler (TC) bzw. in der Mikrowelle (MW) nach identischen Bedingungen auf jeweils 80 °C ausgesetzt worden waren. Es werden absolut identische Kurven erhalten wie für Zellen, die nicht erhitzt worden waren (Referenz)

und äusseren Faktoren (innerhalb und ausserhalb der Probe) analysiert und in eine neue Gleichung eingesetzt. Die SAR-Abnahme über die Behandlungszeit korreliert mit der Abnahme der Leitfähigkeit. Die SAR-Verteilung in den Proben wurde mit

einer Simulation (MMP-Methode) dargestellt und die simulierten SAR-Werte den gemessenen SAR-Werten gegenübergestellt. Die errechneten SAR-Werte erklären, warum die beobachteten dezimalen Abtötungswerte (wie auch in der Literatur beschrieben, siehe 14 und 16) nur abhängig sind von der im Kochgut erreichten Temperatur, nicht aber von einer imaginären «athermischen» Wirkung. D. h. bei gleicher Temperatur unabhängig davon, ob konventionell oder mit Mikrowellen appliziert, ergeben sich für ansonsten gleiche Vermehrungsbedingungen (Zeit, Medium, Mikroorganismen) auch identische D-Werte.

Alle Ergebnisse dieser Arbeit erlauben eine einheitliche Interpretation. Die Effekte der Temperaturerhöhung bei der Mikrowellenerhitzung von Mikroorganismen und deren Bestandteile sind im Rahmen der experimentell bedingten Schwankungsbreiten mit denen einer konventionellen Erhitzung identisch. Sie sind somit rein thermischer Natur. Es konnten keine Hinweise auf athermische Mikrowellenwirkungen gefunden werden. Da Lebensmittel eine ähnliche Zusammensetzung ihrer Biomasse haben wie die untersuchten Mikroorganismen müssten bei Bestrahlung lebender Organismen induzierte schädliche Substanzen in den lebenden Zellen selbst entstehen, könnten somit direkt in den lebenden Zellen ihre Wirkung ausüben. Dies wurde jedoch mit den derzeit sensitivsten mikrobiellen Systemen (Ames-Test, Umu-Test) nicht beobachtet. Das thermophile Bakterium *Thermus thermophilus* konnte sogar bei Temperaturen, die zum Garen von Fleisch oder Gemüse genügen (10 bis 20 Minuten bei 80 °C bis 90 °C), in der Mikrowelle selbst voll am Leben und vermehrungsfähig erhalten werden. Die Entstehung spezifischer, mikrowelleninduzierter krebserregender Substanzen in Lebensmitteln gehört somit ins Reich der Fantasie. Diese Bewertung wird auch durch eine von der Europäischen Union vor Jahren angeregte Analyse der wissenschaftlichen Literatur bestätigt (13).

Zusammenfassung

Hygienische Probleme in mikrowellenerhitzten Lebensmitteln können dann entstehen, wenn Lebensmittel aufgrund der ungleichmässigen Erhitzung kalte Regionen (cold spots) aufweisen, wo eventuell vorkommende Krankheitserreger und Verderbniserreger nicht abgetötet werden. Bei einer unsachgemässen Lagerung und Aufbewahrung von mit Mikrowellen gegarten Speisen könnte es also zu Lebensmittelvergiftungen kommen. Die ungleichmässige Erwärmung wurde an käuflichen, für Mikrowellen geeigneten Fertigspeisen des Handels umfassend und eindeutig nachgewiesen. Mit Mikrowellen gegarte Speisen eignen sich dabei nicht für eine längere Aufbewahrungszeit. Auf alle Fälle muss durch genügend lange Primärerhitzung und entsprechende Standzeiten (Nachgarzeiten) sichergestellt werden, dass eine möglichst optimale Erhitzung mit ausreichenden Pasteurisationswerten auch an den kältesten Stellen des erhitzten Gutes gewährleistet ist. Dies kann in industriellen Anlagen durch kontinuierliche Bestrahlung mit mehreren hintereinander plazierten Magnetronen erreicht werden. Für die Anwendung im Haushalt werden einfache Regeln aufgestellt. Darüber hinaus kann in Mikrowellenöfen selbst mit sehr empfindlichen mikrobiologischen Testmethoden keine spezifische Bildung mutagener, d. h. erbgutschädigender oder cancerogener Substanzen nachgewiesen werden.

Résumé

Des problèmes d'ordre hygiénique peuvent se présenter dans les aliments échauffés par micro-ondes, si la température obtenue n'est pas répartie homogènement dans l'aliment. Dans les endroits plus froids («cold spots»), des bactéries pathogènes ou une flore d'altération éventuellement présentes ne sont pas inhibées. Des intoxications alimentaires peuvent alors se produire à la suite d'un stockage inadéquat d'aliments cuits aux micro-ondes. Des températures irrégulières ont été décelées et démontrées dans des plats précuisinés mis sur le marché par l'industrie et destinés à la cuisson aux micro-ondes. Les repas cuits aux micro-ondes ne prêtent pas à une conservation de longue durée. Dans tous les cas, il est nécessaire d'appliquer des durées de cuisson suffisamment longues et des durées d'après-cuisson adéquates pour assurer une cuisson et une pasteurisation suffisantes même dans les endroits les moins chauffés de l'aliment. Ceci peut être garanti dans les installations industrielles à radiation en continu par plusieurs magnetrons placés en série. Quant aux cuisines familiales, les règles pour l'usage sont plus simples. En plus, il n'y a aucune évidence, d'après les tests les plus sensibles, d'une formation spécifique de substances mutagènes ou cancerogènes dans les aliments cuits dans les fours à micro-ondes.

Summary

Hygienic problems in microwave ovens can occur, if there are «cold spots» within the food products owing to irregular heating-temperatures within the oven. Potentially present pathogenic and spoilage bacteria may not be inactivated. Food poisoning can therefore be caused through unsafe storage of foods cooked in a microwave. Irregular cooking temperatures could be found and proved with industrially prepared ready-to-eat-meals. It is therefore advisable not to store these cooked food products for too long. In any case it is necessary to provide for sufficiently long heating times, and adequate post-cooking times, in order to secure even heating and sufficient pasteurisation values at the coldest spots of the heated food product. In industrial processing, this can be achieved by continuous radiation with several magnetrons placed one behind the other. For the use in households, very simple rules for the user are given. Furthermore, the most sensitive microbiological test methods have not given any evidence whatsoever of a specific formation of mutagenic or cancerogenic substances in foods heated in microwave ovens.

Literatur

1. Ames, B.N., Lee, F.D. and Durston, W.E.: An improved bacterial test system for the detection and classification of mutagens and carcinogens. Proc. Natl. Acad. Sci. USA **70**, 782–786 (1973).
2. Bundesamt für Gesundheitswesen: Gesundheitliche Risiken durch Mikrowellenkochgeräte im Haushalt? Bulletin des BAG, Nr. 10, 138–147 (1992).
3. Calzada, S.: Glasfberoptische Messung von Temperaturprofilen in Mikrowellen-erhitzten Lebensmitteln und Ableitung der daraus resultierenden Abtötungskinetiken für Mikroorganismen. Diplomarbeit, Institut für Lebensmittelwissenschaft, ETH Zürich 1993.
4. Dealler, S.F. and Lacey, R.W.: Superficial microwave heating. Nature **344**, 486 (1990).

5. Eggmann, M.: Einwirkung von Mikrowellen auf Mikroorganismen in Lebensmitteln: Verhalten von *Thermus thermophilus* als Modell für hitzeresistente Keime. Diplomarbeit, Institut für Lebensmittelwissenschaft, ETH Zürich 1993.
6. Fujikawa, H., Ushioda, H. and Kudo, Y.: Kinetics of *Escherichia coli* destruction by microwave irradiation. *Appl. Environ. Microbiol.* **58**, 920–924 (1989).
7. Golay, A. und Golay, G.: Die rationelle Anwendung der Mikrowellen in der Küche. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **85**, 120–127 (1995).
8. Guillaume-Gentil, O.: Abtötung von Mikroorganismen in festen und halbfesten Lebensmitteln in handelsüblichen Mikrowellengeräten. Diplomarbeit, Institut für Lebensmittelwissenschaft, ETH Zürich 1991.
9. Guillaume-Gentil, O.: Quantitative Bestimmung der thermischen Einwirkung von Mikrowellen (2,450 Ghz) auf sensitive mikrobiologische Systeme: Lebensfähigkeit, Mutagenese, DNA-Reparatur, Enzymaktivitäten und Plasmidtransformation. Dissertation ETH Nr. 10871, Zürich 1994.
10. Holyoak, C.D., Tansey, F.S. and Cole, M.B.: An alginate bead technique for determining the safety of microwave cooking. *Letters Appl. Microbiol.* **16**, 62–65 (1993).
11. Keel, F.: Kinetik der mikrowellenbedingten Keimabtötung in Lebensmitteln. Diplomarbeit, Institut für Lebensmittelwissenschaft, ETH Zürich 1994.
12. Maier-Leibnitz, H. und Cless-Bernert, T.: Mikrowellen-Kochkurs für Füchse. Piper-Verlag, München/Zürich 1986.
13. Leonard, A., Berteaud, A.J. and Bryere, A.: An evaluation of the mutagenic, carcinogenic and teratogenic potential of microwaves. *Mut. Research* **123**, 31–46 (1983).
14. Oda, Y., Nakamura, S.I., Oki, I., Kato, T. and Shinagawa, H.: Evaluation of the new system (umu-test) for the detection of environmental mutagens and carcinogens. *Mut. Research* **147**, 219–229 (1985).
15. Reuter, H.: Charakteristika der Erhitzung von Lebensmitteln durch Mikrowellen und industrielle Anwendungen. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **85**, im Druck (1995).
16. Rosenberg, U. und Sinell, H.J.: Untersuchungen zum Einfluss der Hochfrequenzbehandlung auf einige lebensmittelhygienisch bedeutsame Mikroorganismen. *Zbl. Hyg.* **188**, 271–283 (1989).
17. Schubert, H., Grüneberg, M. und Walz, E.: Erwärmung von Lebensmitteln durch Mikrowellen: Grundlagen, Messtechnik, Besonderheiten. *Z. Lebensm.-Technol.-Verfahrenstechn.* **42**, 14–21 (1991).
18. Windhab, E.: Physikalische Grundlagen und Konstruktionsprinzipien von Mikrowellenherden. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **85**, 89–100 (1995).

Prof. Dr. Michael Teuber
 Laboratorium für Lebensmittelmikrobiologie
 Institut für Lebensmittelwissenschaft
 ETH Zürich-Zentrum
 Schmelzbergstrasse 9
 CH-8092 Zürich