

Mikrowellenbehandlung von Lebensmitteln, insbesondere von Milch und Milchprodukten – eine Literaturübersicht

Microwave-treatment of foods, especially of milk and milk products – a review

R. Sieber, P. Eberhard, M. Rüegg

Forschungsanstalt für Milchwirtschaft
3097 Liebefeld-Bern

Die Mikrowellen als Teile des elektromagnetischen Spektrums umfassen Wellenlängen im mm- bis dm-Bereich und den Frequenzbereich von 300 000 bis 300 MHz. Für die Lebensmittelbe- und -verarbeitung im industriellen und Haushaltbereich finden vor allem die Frequenzen 915 und 2450 MHz Anwendung. Eingehend wird in dieser Literaturübersicht die Verwendung der Mikrowellen zum Auftauen und Erhitzen von Milch und Milchprodukten vorgestellt.

The microwaves as part of the electromagnetic spectrum have wavelengths in the mm to dm range, corresponding to frequencies between about 300 000 and 300 MHz. Frequencies of 915 or 2450 MHz are mainly used in commercial microwave ovens for foods. The present article reviews the literature about the use of microwaves in the preparation and processing of milk and dairy products, both in the home and in industry.

1. Einleitung

Der Einsatz von Mikrowellenherden in Haushalt und Gemeinschaftsverpflegung hat in den letzten Jahren auch in der Schweiz stetig zugenommen. So stieg beispielsweise der Verkauf von Mikrowellengeräten im Jahre 1987 um rund 77% auf 60 800 Stück (Berner Zeitung vom 24.2.1988). In den USA betrug 1988 der Anteil an Mikrowellengeräten in den Haushalten 76%, in England 40% sowie in Frankreich und Österreich 10% [36]. In England soll deren Anzahl bis 1990 auf 60% ansteigen [35]. Die steigende Beliebtheit dieser Geräte ist auf verschiedene Faktoren zurückzuführen: Erleichterung und Verkürzung der Mahlzeitenzubereitung, Bequemlichkeit, leichtes Reinigen, verminderte Elektrizitätskosten und Eignung zum Auftauen von gefrorenen Lebensmitteln. Diese steigende Bedeutung kann auch mit einer zunehmenden Auswahl an Kochbüchern zu diesem Thema dokumentiert werden.

Die Mikrowellentechnologie hat ihren Ursprung in Entwicklungen auf dem Gebiete der Radaranwendung während des Zweiten Weltkrieges. 1945 hat Spencer [44] den ersten Mikrowellenofen geschaffen und dafür ein Patent erhalten. Anfangs der 60er Jahre kam es dann zur industriellen Anwendung des Mikrowellenverfahrens [6].

Mikrowellen sind Teile des elektromagnetischen Spektrums. Dieses lässt sich in verschiedene Bereiche unterteilen: Gammastrahlen ($\lambda \sim 10^{-11} - 10^{-16}$ m), Röntgenstrahlen ($\lambda \sim 10^{-8} - 10^{-11}$ m), Ultraviolettstrahlen ($\lambda \sim 10^{-7}$ m), sichtbare Strahlen ($\lambda \sim 10^{-6}$ m) und die Radiowellen ($\lambda \sim 10^{-4} - 10^8$ m). Die Mikrowellen umfassen Wellenlängen von einem mm bis zu einem m oder den Frequenzbereich von 300 000 MHz bis 300 MHz. Verschiedene Mikro-

wellenfrequenzen sind international für industrielle, wissenschaftliche und medizinische Anwendungen zugelassen (Tabelle 1). In den USA werden die Frequenzen 915 und 2450 MHz vor allem für die Lebensmittelbe- und -verarbeitung im industriellen und Haushaltbereich, die beiden Frequenzen 5800 und 22 125 MHz dagegen nur für Forschungszwecke angewendet [6, 29].

Die beiden Mechanismen, bei welchen Mikrowellen in einem dielektrischen Material wie Lebensmittel Wärme erzeugen, sind die ionische Polarisation und die Dipolrotation [6]. Die ionische Polarisation, die sich vollzieht, wenn Ionen in Lösung auf ein elektrisches Feld antworten, ist beim Erhitzen von Lebensmitteln weniger bedeutsam als die Dipolrotation. Diese ist von der Existenz von polaren Molekülen abhängig, die in Lebensmitteln vor allem in Form des Wassers vorhanden sind. In einem elektrischen Feld orientieren sich die polaren Moleküle und die Moleküle mit induziertem Dipol nach dem Feld. Die Polarität des Feldes ändert sich mit der Geschwindigkeit der Mikrowellenfrequenz. Die Moleküle ihrerseits versuchen sich dem ändernden Feld anzupassen und als Resultat der Rotation und Schwingung der Moleküle (intermolekulare Reibung) entsteht Wärme.

Der Energiegehalt der elektromagnetischen Wellen ist proportional ihrer Frequenz. Die Energie kann nach der Planck'schen Gleichung

$$E = h \nu$$

(h = Planck'sche Konstante = 1.23×10^{-4} ;
E in Elektronenvolt; ν in Hz)

berechnet werden. Hohe Quantenenergie kann ionisieren und chemische Bindungen aufbrechen. Dabei muss die Quantenenergie diejenige der chemischen Bindung überschreiten. Die energiereichen ionisierenden Gamma- und Röntgenstrahlen treten mit den Atomkernen bzw. inne-

Tabelle 1: International festgelegte Mikrowellen-Frequenzbereiche für industrielle, wissenschaftliche und medizinische Anwendungen [42]

Frequenz	Toleranz	Wellenlänge
13,560 MHz	± 0,05 %	2212,4 cm
27,120 MHz	± 0,6 %	1106 cm
40,68 MHz	± 0,05 %	737,46 cm
461,040 MHz ^a	± 0,2 %	65,07 cm
493,920 MHz ^b	± 0,2 %	68,137 cm
915,0 MHz ^c	± 25 MHz	32,79 cm
2450 MHz	± 50 MHz	12,25 cm
5800 MHz	± 75 MHz	5,172 cm
22125 MHz	± 125 MHz	1,356 cm

^a ausgenommen USA und einige europäische Länder

^b einige europäische Länder

^c USA

Tabelle 2: Elektromagnetische Wellen und ihre Wechselwirkung

Bezeichnung	Wellenlänge m	Frequenz Hz	Wechselwirkung
Kosmische Strahlung	< 10 ⁻¹³	> 3 · 10 ²¹	
Gammastrahlen	10 ⁻¹³ – 10 ⁻¹¹	3 · 10 ²¹ – 3 · 10 ¹⁹	Atomkerne
Röntgenstrahlen	10 ⁻¹¹ – 10 ⁻⁸	3 · 10 ¹⁹ – 3 · 10 ¹⁶	Innere e-Hülle
Licht			
fernes UV	10 ⁻⁸ – 2 · 10 ⁻⁷	3 · 10 ¹⁶ – 2 · 10 ¹⁵	Äussere e-Hülle
nahes UV	2 · 10 ⁻⁷ – 4 · 10 ⁻⁷	2 · 10 ¹⁵ – 8 · 10 ¹⁴	Äussere e-Hülle
sichtbar	4 · 10 ⁻⁷ – 8 · 10 ⁻⁷	8 · 10 ¹⁴ – 4 · 10 ¹⁴	Äussere e-Hülle
nahes IR	8 · 10 ⁻⁷ – 3 · 10 ⁻⁶	4 · 10 ¹⁴ – 1 · 10 ¹⁴	Molekülschwingungen
fernes IR	3 · 10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁴	1 · 10 ¹⁴ – 2 · 10 ¹²	(Rotationen, Streck-, Biegeschwingungen)
Hochfrequenz			
Mikrowellen	10 ⁻⁴ – 10 ⁻¹	3 · 10 ¹² – 3 · 10 ⁹	
Ultrakurzwellen	10 ⁻¹ – 10	3 · 10 ⁹ – 3 · 10 ⁷	
Kurzwellen	10 – 10 ²	3 · 10 ⁷ – 3 · 10 ⁶	
Mittelwellen	10 ² – 10 ³	3 · 10 ⁶ – 3 · 10 ⁵	
Langwellen	10 ³ – 10 ⁴	3 · 10 ⁵ – 3 · 10 ⁴	
Niederfrequenz			
	> 10 ⁴	< 3 · 10 ⁴	

ren Elektronen in Wechselwirkung und vermögen chemische Reaktionen auszulösen. UV- und sichtbares Licht regen die äusseren Elektronen an und können ebenfalls chemische Reaktionen auslösen. Die energieärmeren IR-Wellen versetzen Moleküle in Schwingungen und vermögen noch Wasserstoffbrückenbindungen zu spalten. Elektromagnetische Wellen mit höherer Wellenlänge dagegen, also auch die Mikrowellen, sind nicht mehr in der Lage, chemische Bindungen aufzubrechen (**Tabelle 2**). (Theoretisch wäre eine Molekülsplaltung durch Mikrowellen nur unter extremsten Bedingungen in der Gasphase denkbar.) Die Quantenenergien der Mikrowellenstrahlung unterscheiden sich von den Bindungsenergien homöopolarer und Wasserstoffbrückenbindung um den Faktor 3 bis 5 und reichen also bei weitem nicht aus, diese zu spalten. Es ist bis heute auch nicht bekannt, dass andere chemische Reaktionen ausgelöst werden, die nicht indirekt durch die Erwärmung induziert werden. Hinweise über athermische Effekte an biologischen Systemen sind noch widersprüchlich [28, 42].

2. Anwendung der Mikrowellen in der Lebensmitteltechnologie und im Haushalt

Die Literatur über die Anwendung der Mikrowellen im Lebensmittelbereich ist relativ umfangreich; unter den tierischen Lebensmitteln wurde vor allem beim Fleisch

Tabelle 3: Mikrowellenanwendung in der Lebensmittelherstellung [2, 6]

Verfahren	Installationen	Produkte
Auftauen	I 200	Fleisch, Fisch, Butter, Beeren
Kochen	I 16	Speck, Fleisch, Kartoffeln, Pasteten, Fisch, Geflügel
Trocknen	I 30	Teigwaren, Zwiebeln, Reiskuchen, Meerespflanzen (Kelp), Snacks, Eigelb
Vakuumtrocknen	P/I 5	Zitrussäfte, Körner, Samen
Gefriertrocknen	P 2	Fleisch, Gemüse, Früchte
Pasteurisation	I 3	Brot, Joghurt, Kartoffeln
Sterilisation	P 2	Milch, Nahrungsmittel in Beuteln
Backen	P	Gehenlassen von Teig, Brot, Pfannkuchen
Rösten	P 2	Nüsse, Kaffeebohnen, Kakaobohnen
Blanchieren	P	Getreide, Kartoffeln, Früchte
Auslassen	P 1	Schmalz, Rindertalg
Koagulieren		Fleischemulsionen
Abtöten von Insekten		Trockenprodukte, Getreide

P = Pilot plant-Verfahren
I = industrielles Verfahren

verschiedene Arbeiten unternommen [7, 8]. Eine eingehende Übersicht über die Anwendung der Mikrowellen bei Lebensmitteln wurde von Knutson et al. [24] und vom amerikanischen Institute of Food Technologists [37] publiziert.

2.1. Lebensmittelindustrie

Der Einsatz der Mikrowellenenergie in industriellen Verfahren hat sich aufgrund der ungünstigen Ausrüstung und Energieko-

sten nur langsam entwickelt. Inzwischen sind verschiedene Anwendungen des Mikrowellenverfahrens in der Lebensmitteltechnologie bekannt (**Tabelle 3**). Nach Decareau und Peterson [6] sowie Bengtsson und Ohlsson [2] waren 1986 in der Lebensmittelindustrie insgesamt nicht über 300 Mikrowellenerhitzungsanlagen installiert. Der grösste gegenwärtige Einsatzbereich im grosstechnischen Massstab liegt im Auftauen und Temperieren von Fleisch,

Butter und Früchten. Unter Temperieren versteht man die Annäherung der Temperatur des tiefgefrorenen Gutes an den Schmelzpunkt; Temperaturen im Bereich von -4 bis -2 °C sind aus verschiedenen Gründen optimal und für die Weiterverarbeitung von Lebensmitteln oft sogar vorteilhaft. Im nahezu grosstechnischen Massstab werden das Sterilisieren von Lebensmitteln in Beuteln, das Expandieren bei der Herstellung von Knabberartikeln und die Stärkequellung angewendet [2].

2.2 Haushalt

Für den Haushalt werden verschiedene Typen von Mikrowellengeräten angeboten. Bei den reinen Mikrowellengeräten kann zwischen Kompakt- (klein; zum Aufwärmen von Speisen und Auftauen von Kühlgut geeignet) und Standardgeräten (genügend gross für Familienportionen, erlauben noch andere Anwendungen) unterschieden werden. Weiter gibt es noch Kombinationsgeräte, bei denen das Mikrowellengerät zusätzlich mit einem Backofen, mit Heissluft oder Grill ausgestattet ist.

Mikrowellengeräte eignen sich im Haushalt vor allem zum schnellen Auftauen von tiefgefrorenen Produkten, zum raschen Aufwärmen von vorgekochten Gerichten in kleinen Portionen, zum schnellen Garen von Fisch und Gemüse, zum Schmelzen von Butter und Käse sowie zum Verflüssigen von Honig, nicht aber zum Backen, Bräunen, Grillieren und Fritieren. Empfehlungen, die beim Wiedererwärmen gekühlter Lebensmittel und Speisen mittels Mikrowellen zu beachten sind, finden sich bei Ohlsson und Thorsell [38].

3. Anwendung des Mikrowellenerhitzens in der Milchwirtschaft

Auch die Milchwirtschaft hat sich der Entwicklung auf dem Gebiete der Mikrowellen nicht verschlossen. Bereits sind einige Studien über den Einfluss der Mikrowellen bei der Pasteurisierung der Milch erschienen.

3.1. Industrielle Verfahren

Nach Decareau [5] existieren bis heute keine kommerziellen Installationen zur Pasteurisierung von Milch mit Hilfe der Mikrowellen. Vor mehr als 10 Jahren wurde von Bach [1] eine Anlage zur Haltbarkeitsverlängerung von sauren Milchprodukten entwickelt [40]. Bei diesem Mehrfrequenzverfahren wird ein horizontal angeordnetes elektromagnetisches Wechselfeld mit niedriger Frequenz (27,12 MHz) und ein vertikal angeordnetes Feld mit höherer Frequenz (2450 MHz) angewendet; mit der ersten Frequenz wird die Masse des Gutes im Becher und mit der zweiten die Oberfläche des Füllgutes erwärmt [1]. Dieses Verfahren kommt einem Nachpasteurisieren

gleich und kann deshalb in der Schweiz für die Haltbarkeitsverlängerung von Joghurt nicht eingesetzt werden.

Nach Rosenberg und Bögl [42] existiert auch ein Anlage zur UHST-Erhitzung von Milch, wobei die Milch unter einer Stickstoffatmosphäre auf 190 – 200 °C während $0,15$ s erhitzt wird. Sale [43] hat Studien zur Milchpasteurisierung durchgeführt, wobei er eine Quelle mit 5 kW und 2450 MHz verwendete, um die Milch in einem freifallenden Strom auf 200 °C zu erhitzen. Da das Verfahren zu komplex und zu kostspielig war, wurde die Entwicklung nicht weitergeführt. Stenström [47] hat bereits 1972 ein Patent für einen Mikrowellen-Hitze-Austauscher erhalten, mit dem Milch in einem freifallenden Strom dem Mikrowellenfeld ausgesetzt war.

In England wurden neue Mikrowellen-Temperiergeräte (Firma: APV Jackstone Limited und APV Magnetronics Limited) mit einer Arbeitsfrequenz von 896 bis 915 MHz und einer Leistung zwischen 30 und 120 kW entwickelt, die zum Temperieren von Butter eingesetzt werden können. Damit können beispielsweise $1,5$ bis 7 t Butter pro Stunde behandelt werden. Bereits drei solcher Geräte wurden bis 1987 in einem grossen Lebensmittelverarbeitungsbetrieb aufgestellt, die bis zu 21 t Milchprodukte pro Stunde vorbereiten [33].

In der Beschreibung einer neuen französischen Mikrowellen-Pasteurierungsanlage (MOT, Firma: Société Francaise d'Application des Micro-Ondes) wurden kürzlich folgende Beispiele für weitere Anwendungsmöglichkeiten der Mikrowellen in der Milchwirtschaft beschrieben [34]:

- Pasteurisation (oder Sterilisation?) von verpacktem Käse;
- Trocknen von Käsen, wobei ein Kochgeschmack vermieden wird;
- Behandlung von Rahm bei tiefen Temperaturen (ungefähr 30 °C);
- Behandlung von allen pastösen Produkten (Fruchtjoghurt, gezuckerte Früchte vor der Mischung mit Joghurt, Flans);
- Konservierung von kleinen Aperitif-Käsen;
- Behandlung von Käsen zweiter Qualität für die Fabrikation anderer Produkte.

In der Patentliteratur sind verschiedene Anwendungen der Mikrowellen bei der Herstellung von Milch und Milchprodukten beschrieben. Eine Vorrichtung wird vorgeschlagen, bei der Mikrowellen zur Sterilisierung von Lebensmitteln, auch Milch, zum Einsatz gelangen; dabei sollen die Mikroorganismen abgetötet werden, auch wenn die Endtemperatur der Milch nicht 70 °C erreicht hat [17]. Zur Eliminierung von Schaum auf der Oberfläche von Milch wird ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem unter anderem Mikrowellen angewendet werden [22]. Für die Herstellung von eingesottener Butter mit Hilfe einer Mikrowellenbehandlung wurde der Firma Entremont [16] ein Patent erteilt, wobei

kontinuierlich das Butterfett vom Wasser getrennt wird. Im weiteren wurde ein Verfahren patentiert, bei dem ein Gemisch aus Rahmquark und einem Blau- oder Grünschimmelkäse hergestellt wird; dabei wird der Käse mit Hilfe von Mikrowellen sterilisiert [3]. Mikrowellen werden als letzter Verfahrensschritt bei der Herstellung von Fruchtzubereitungen ohne Konservierungsmittel eingesetzt, die in Joghurt, Quark oder anderen Süssspeisen Verwendung finden [45].

3.2. Einsatz der Mikrowellen zur Erhitzung der Milch unter haushaltsähnlichen Bedingungen

Verschiedene Studien haben sich mit dem Einfluss der Mikrowellenerhitzung auf die Milch befasst (Tabelle 4). Dabei beschränkten sich diese auf haushaltsübliche Mikrowellenherde mit der Frequenz von 2450 MHz; die Leistungsaufnahmen werden mit $0,7$ [25, 31], $1,2$ [20] und 0 – $1,5$ kW [23] angegeben. Diese Untersuchungen unterscheiden sich zudem in der verwendeten Milchmenge (weniger als 1 Liter, in zwei Fällen kontinuierliches Verfahren), den Zeit/Temperatur-Bedingungen (den Pasteurisationsbedingungen vergleichbar) und in den ausgewählten Untersuchungsparametern. Unter den letzteren stand vorwiegend die Überlebensfähigkeit der Mikroorganismen (Gesamtkeimzahl, Coliforme und Psychrotrophe) im Vordergrund, wobei der Keimgehalt in der Ausgangsmilch recht unterschiedlich war. Bei der Mehrzahl der Arbeiten wurde rohe Kuh- oder Büffel-Milch verwendet, und das Verhalten der originären Milchflora studiert. Einzig in der Arbeit von Knutson et al. [25] wurde die rohe Milch zuerst während 30 min mit Dampf erhitzt und dann die Keime *S.typhimurium*, *E.coli* und *Ps.fluorescens* inokuliert; in einer weiteren Arbeit wurde überprüft, ob durch die Anwendung von Mikrowellen die Lagerfähigkeit von pasteurisierter Milch verlängert werden kann [4].

Der Einfluss verschiedener Verfahrensparameter beim Mikrowellenerhitzen auf die Milch soll an einigen Beispielen aufgezeigt werden.

Menge – Temperatur – Zeit: Das Mikrowellenerhitzen von 76 ml Milch ergab folgende abgeleitete Beziehung zwischen Temperatur (°C) und der Zeit (s):

$\text{Temperatur} = 1,16 \times \text{Zeit} + 3,36$ (Korrelationskoeffizient $0,998$). Für eine Menge von 125 ml konnte folgende Gleichung erstellt werden: $\text{Temperatur} = 0,86 \times \text{Zeit} + 6,38$ (Korrelationskoeffizient $0,999$).

Aus diesen Daten liess sich für eine Pasteurisierung bei $71,7$ °C eine Zeit von 59 s resp. 76 s berechnen [25].

Leistung – Menge – Zeit – Temperatur: Bei einer Leistung von 700 W und einer Milchmenge von 605 g wurde mit einer Zeit von $4,5$ Minuten eine Temperatur von $67,5$ bis $71,5$ °C (7 Versuche) erreicht, wäh-

Tabelle 4: Zusammenstellung der Studien zur Mikrowellenerhitzung von Milch

Ausgangsprodukt	Menge ml	Zeit s	Temp. °C	Untersuchte Parameter	Bemerkungen	Ref.
Rohmilch	16	5	50,0	GKZ ^a	Batch	[20]
		8	62,2			
		10	74,4			
		12	79,4			
		14	88,9			
	0,7 ml/s	82,2	GKZ	kontinuierlich		
Rohmilch		15	72	GKZ Coliforme Psychrotrophe	Durchflussrate: 200, 300, 400 ml/min	[23]
Rohmilch	400	1800	65	GKZ, Coliforme, Psychrotrophe, Phosphatase, Zusammensetzung		[31]
Rohmilch	50	0-90		GKZ, Coliforme		[46]
Rohmilch inokuliert	200	180	70-80	Campylobacter jejuni		[11]
Milch dampf- behandelt 30' inokuliert	76	60	72,8	S.typhimurium		[25]
	76	65	78,6	E.coli		
	125	80	75,2	Ps.fluorescens		
Pastmilch	200	85	45	GKZ	8 resp. 11 Tage gelagert	[4]
		97	50	Psychrotrophe		
		108	55			
		120	60			
Büffelmilch	50	120	86	GKZ, Stickstoff, Säure, pH, Koagulation		[15]
		130	94			
		140	96			
		150	98			

^a GKZ = Gesamtkeimzahl

rend bei niedrigerer Leistung und Milchmenge (550 W und 454 g) eine Zeit von 5 Minuten für eine ähnliche Endtemperatur notwendig war [25].

Haltezeit nach der Mikrowellenbehandlung: Änderungen der Haltezeit nach der Behandlung können zu unterschiedlichen Keimzahlen in der Milch führen. Wurde die Haltezeit von 15 auf 20 s erhöht (Bedingungen: Rühren, Abkühlung in beiden Fälen in einem Eiswasserbad), war die Anzahl an P.fluorescens nach 15tägiger Lagerung bei 6 °C ungefähr 20 KbE/ml, während sie nach einer Haltezeit von 15 s bereits nach 11 Tagen 10⁸ KbE/ml erreichte (KbE = Kolonie bildende Einheiten) [25].

Keimzahl: Da das Mikrowellenerhitzen schneller ist als das konventionelle Kochen, stellt sich die Frage, ob der Keimabtötungseffekt genügend gross ist. Deshalb wurde wie bei anderen Lebensmitteln [18, 41] auch bei Milch vor allem dieser Frage grosse Bedeutung beigemessen, wie bereits in **Tabelle 4** dargestellt wurde.

Aus diesen Arbeiten wurden in **Tabelle 5** die Resultate in bezug auf die Keimreduktion zusammengestellt. Es zeigt sich, dass in Milch eine ausreichende Keimreduktion im Mikrowellengerät prinzipiell erreicht werden kann. Doch bestehen grosse Unterschiede, die auf die verwendeten Temperatur/Zeit-Bedingungen, auf den Keimgehalt im Ausgangsprodukt wie auch auf die eingesetzte Milchmenge zurückgeführt werden können.

Chiu et al. [4] haben sich die Frage gestellt, ob die Haltbarkeit einer 8 oder 11 Tage gelagerten pasteurisierten Milch durch eine Mikrowellenbehandlung verlängert werden kann. Zu diesem Zwecke haben sie 200 ml Milch, die bei 6,7 °C gelagert wurde, während 85, 97, 108 und 120 Sekunden den Mikrowellen ausgesetzt; die Endtemperatur betrug dabei 45, 50, 55 und 60 °C. Die Zahl der Psychrotrophen liess sich bei einer Behandlung der 8 Tage alten Milch während 120 Sekunden vollständig reduzieren, nicht aber bei der 11 Tage gelagerten Milch. Nach diesen Auto-

ren müssen sich die Psychrotrophen in der lag-Phase befinden, damit durch die Mikrowellenbehandlung eine Verlängerung der Haltbarkeit erreicht werden kann. Über den Einfluss der Mikrowellenerhitzung auf den Nährwert der Milch liegen nur wenige Angaben vor. Merin und Rosenthal [31] haben den Kasein- und Molkenproteingehalt in roher, dauerpasteurisierter und mikrowellenerhitzter Milch miteinander verglichen und stellten ein leicht erhöhtes Kasein/Molkenprotein-Verhältnis in der mikrowellenerhitzten Milch fest, was auf eine stärkere Denaturierung hinweist (**Tabelle 6**).

Es wurden unseres Wissens noch keine Untersuchungen über den Einfluss der Mikrowellen auf die Vitamine in der Milch durchgeführt. Einzig Lotz [30] vermerkt ohne Angabe einer Literaturstelle, dass Milchprodukte bei der Behandlung mit Mikrowellen sehr an ihrem Gehalt an Vitaminen verlieren. Beim Garen von Gemüsen im Mikrowellengerät fallen jedoch Unterschiede im Grad des thermischen Abbaus

Tabelle 5: Einfluss verschiedener Behandlungsmethoden auf die Keimreduktion im Milch

Produkt	Art ^a Erh.	Keim	Anfangs- keimzahl pro ml	Zeit sec	Anf. temp. °C	End- temp. °C	Keimred. um den Faktor	Ref.	
Magermilch	M K	E.coli	1 × 10 ⁶		4,4	60 60	alle alle	[12]	
Magermilch	M KE	Asp.niger (Sporen)	1 × 10 ⁶		4,4	60 60	30 100	[12]	
Rohmilch	M	GKZ	1,0 × 10 ⁶	15	5	72	240	[23]	
			4,5 × 10 ⁴				480		
			1,2 × 10 ⁴				2		
			8,4 × 10 ⁴				930		
		KW	2,0 × 10 ⁴				31		
			1,0 × 10 ⁶	1800		62,8	290		
			4,5 × 10 ⁴				98		
			1,2 × 10 ⁴				2,9		
Rohmilch	M	Coliforme	2,9 × 10 ³	15	5	72	2900	[23]	
			2,0 × 10 ²				200		
			3,0 × 10 ¹				30		
			1,5 × 10 ³				1500		
			7,0 × 10 ¹				70		
		K	wie M	1800		62,8	wie M		
Milch	MB	GKZ	2,0 × 10 ⁸	5	18,6	50,0	770	[20]	
			2,0 × 10 ⁸	8	18,6	62,2	0,13 Mio		
			2,0 × 10 ⁸	10	74,4	0,77 Mio			
			2,0 × 10 ⁸	12	17,5	79,4	10 Mio		
	MD	GKZ	2,0 × 10 ⁸	14	18,6	88,9	alle		
			1,8 × 10 ³		17,8	81,7	18		
			1,8 × 10 ³		17,8	82,2	1800		
			1,8 × 10 ³		17,8	81,1	0,7		
			1,8 × 10 ³		17,8	83,3	1800		
			1,8 × 10 ³		17,8	80,0	0,4		
			1,8 × 10 ³		17,8	85,0	1800		
			1,8 × 10 ³		17,8	82,2	1800		
Rohmilch	M	GKZ	1,6 × 10 ⁸	1800		65	0,4 Mio	[31]	
	K		1,6 × 10 ⁸	1800		65	0,34 Mio		
	M	Coliforme	1,8 × 10 ⁶	1800		65	1,8 Mio		
	K		1,8 × 10 ⁶	1800		65	1,8 Mio		
	M	Psychrotrophe	1,9 × 10 ⁶	1800		65	0,19 Mio		
	K		1,9 × 10 ⁶	1800		65	48000		
Rohmilch	M	GKZ				65	> 99,9%	[46]	
Pastmilch 8 Tage alt	M	Psychrotrophe	1,8 × 10 ⁶	85		45	0	[4]	
Pastmilch 11 Tage alt	M	Psychrotrophe	1,7 × 10 ⁸	85		45	0		
				120		60	1,8 Mio		
				120		60	< 1 Mio		
Milch dampfbehandelt inokuliert	M	S.faecalis	2,6 × 10 ⁶	270		68–72	0,26 Mio	[25]	
			2,7 × 10 ⁶	270	0,54 Mio				
			3,0 × 10 ⁶	270	5400				
			4,6 × 10 ⁶	285	0,25 Mio				
	KW		4,1 × 10 ⁶	300		66,3	0,25 Mio		
			10 ⁶	1800		68,8	68000		
						62,8	< 1000		
Rohmilch inokuliert	M	Campylobacter jejuni	10 ⁵ –10 ⁶	180		70–80	10000	[11]	
Magermilch inokuliert	M	Campylobacter jejuni	10 ⁶	50		92	alle	[10]	

^aM = Mikrowellen: B Batch = eingesetzte Menge 16 ml

D = Durchfluss 0.7 ml pro s

K = konventionell: E Elektroherd W Wasserbad

der Ascorbinsäure weniger ins Gewicht [9].

Zur Überprüfung der Pasteurisierung wird der Phosphatsetest herbeigezogen. In den Untersuchungen von Merin und Rosenthal [31] wie auch in denjenigen von Jaynes [21] war dieser Test in allen erhitzten Milchen negativ.

Bei einer sensorischen Beurteilung konnten von 27 Panelteilnehmern deren 10 zwischen der mikrowellenerhitzten (72 °C) und der konventionell pasteurisierten (62,8 °C, 30 min) Milch einen Unterschied feststellen. Die mikrowellenerhitzte Milch wurde von acht Degustatoren bevorzugt. Drei stellten in beiden Proben einen Kochgeschmack fest [23].

3.3 Mikrowellenerhitzung von Käse

Es wurden sehr wenige Arbeiten über den Einsatz der Mikrowellen auf den Käse publiziert.

Die Anwendung eines Mikrowellenofens wurde von Husain et al. [21] bei der Herstellung von Hallum-Käse eingesetzt. Bei diesem Käse wird der gepresste Bruch bei 80 °C in der Molke erhitzt. Mit einer Mikrowellenbehandlung (2 min bei 1,5 kW, 2450 MHz, 80 °C) vor und nach dem Pressen konnte eine Reduktion der Gesamtkeimzahl auf $2,2 \times 10^5/g$ und $7,2 \times 10^5/g$ gegenüber $2,8 \times 10^9/g$ in rohem Käse erreicht werden, während in konventionell hergestelltem Käse $3,4 \times 10^4/g$ vorhanden waren.

Pizza, mit Mozzarella hergestellt, wurde sowohl in einem konventionellen wie auch in einem Mikrowellenofen gebacken. Die Zeit, um eine Temperatur von 100 °C zu erreichen, war im ersten Falle 12 Minuten und im zweiten Falle 3 Minuten; doch wurde der Käse in beiden Fällen während 2 bis 2½ Minuten über 90 °C gehalten. In der Mikrostruktur waren die Auswirkungen dieser beiden Erhitzungsverfahren vergleichbar [39].

In Cheddar veränderte sich der Gehalt an Malonaldehyd, einem Reaktionsprodukt von Hydroperoxiden, nach einer Mikrowellenbehandlung bei 650 Watt während 12 Minuten nicht [32].

4. Schluss

Die Literatur zeigt, dass die Milch mit Hilfe von Mikrowellen unter Beachtung verschiedener Parameter erhitzt werden kann. Unter den Verfahrensparametern sind Frequenz, Milchmenge, Endtemperatur, Heisshaltezeit und Abkühlrate zu beachten. Für den grosstechnischen Einsatz in der Milchindustrie liegen erst Anlagen zum Auftauen von Butter vor. Ob das Bach'sche Mehrfrequenzverfahren zur Pasteurisierung von sauren Milchprodukten heute noch im praktischen Einsatz ist, kann nicht beurteilt werden.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten liegen im analytischen Bereich: Bestimmung der Trockenmasse [13, 14, 26, 27] und Dichte

Tabelle 6: Einfluss der Erhitzung auf den Gehalt an Kasein und Molkenproteinen in Milch [31]

Behandlung	Kasein %	Molkenproteine %
unbehandelt	2,32	0,90
Dauerpasteurisierung (65 °C, 30')	2,48	0,74
Mikrowellenerhitzung (65 °C, 30')	2,56	0,65

von Milchprodukten [27] sowie im Anschluss von Proben in druckfesten Kunststoffgefässen. Dzurec und Baptié [14] sind von 1-g-Proben ausgegangen und haben diese mit 520 Watt während 10 Minuten getrocknet. Bei 100 untersuchten Proben verschiedener Milchprodukte waren die Resultate mit dem Mikrowellenofen praktisch gleich wie diejenigen der Kontrollen (Heissluftofen). Neben dem Wassergehalt kann mit Mikrowellen gleichzeitig auch die Dichte von Milchpulver bestimmt werden [27]. Auch bei der Bestimmung des Wassergehaltes in Schmelzkäse wird der Mikrowellenofen mit Erfolg eingesetzt.

Es ist hier noch anzufügen, dass die Entwicklungen in der näheren Zukunft in Richtung «microwaveable» Nahrungsmittel gehen werden [19]. 1988 kamen in den USA 471 solche neue Produkte auf den Markt [36]. So berichtet Levitt [29] über verschiedene Entwicklungen in der amerikanischen Milchindustrie. Ein gefrorener Milchshake («MicroShake») aus Magermilch, Zucker, Fruchtsirup, Rahm, Molke und natürlichen pflanzlichen Gummis kann mit Hilfe des Mikrowellenofens regeneriert werden. Ein anderes Produkt («MicroMagic») besteht aus Milch, Rahm, Zucker, Fruchtsirup und Emulgiermittel. Solche Produkte sind bequem zu verwenden und beanspruchen weniger Zeit als im Haushalt hergestellte. Kraft hat eine Käse-Zubereitung (Käse-Whiz) entwickelt, die eine rasche Käsesauce ergibt. Auch «microwaveable» Desserts und Ice-cream-Shakes existieren bereits.

Nach Bengtsson und Ohlsson [2] wird die schnelle Entwicklung und Ausbreitung von industriellen Anwendungsbereichen für das Mikrowellenerhitzen durch Forderungen der Telekommunikation bedroht; deren Absicht geht darin, Störungen, die durch die Anwendung in Industrie und Haushalt verursacht werden, einzuschränken sowie eine Zuteilung von weiteren Frequenzen zu erhalten.

Literatur

[1] Bach J.: Hochfrequenzanlage zum Haltbarmachen von Joghurt und sauren Milchprodukten. *Molk. Ztg. Welt Milch* 31, 1273–1274 (1977)

- [2] Bengtsson N., Ohlsson T.: Industrielles Erhitzen mit Mikrowellen und seine Bedeutung für gefrier- und hitzebehandelte Lebensmittel. *Int. Z. Lebensm. Technol. Verfahrenstechn.* 37, 392–399 (1986)
- [3] Cailar P. A. E. du: Verfahren zur Herstellung von gemischtem Käse. *Offenlegungsschrift BRD 19 32 476* (1970)
- [4] Chiu C. P., Tateishi K., Kosikowski F. V., Armbruster G.: Microwave treatment of pasteurized milk. *J. Microwave Power* 19, 269–272 (1984)
- [5] Decareau R. V.: Microwave food processing equipment throughout the world. *Food Technol.* 40, 99–105 [6] (1986)
- [6] Decareau R. V., Peterson R. A.: Microwave processing and engineering. VCH Verlagsgesellschaft Weinheim (1986)
- [7] Dehne L., Bögl W., Grossklaus D.: Einfluss der Mikrowellenerwärmung auf den Nährwert tierischer Lebensmittel. Eine Übersicht. Teil I. *Fleischwirt.* 63, 231–237 (1983)
- [8] Dehne L., Bögl W.: Einfluss der Mikrowellenerwärmung auf den Nährwert tierischer Lebensmittel. Eine Übersicht. Teil II. *Fleischwirt.* 63, 1206–1211 (1983)
- [9] Dehne L., Bögl W.: Über die Ascorbinsäureerhaltung (Vitamin C) beim Garen von Gemüse im Mikrowellengerät. *Ernährungs-Umschau* 32, 366–371 (1985)
- [10] Deibel K. E.: A study of *Campylobacter jejuni*. *Diss. Abstr. Int.* 46, 1812-B (1985)
- [11] Deibel K. E., May R. N. M., Banswart G. J.: Destruction of *Campylobacter jejuni* by microwave heating. *zit. nach* [24]
- [12] Delany E. K., Zante H. van, Hartmann P.: Microbial survival in electronically heated foods. *Microwave Energy Appl. Newsletters* 1, 11–14 (1968); *zit. nach* [41]
- [13] Dobos G., Binder W., Hoffer H., Lorenz W.: Fettbestimmung im Käse durch Kernresonanzmessung mit dem Newport Analyser MKIII und Bestimmung der Trockenmasse mittels Mikrowellenherd. *Milchwirt. Ber.* 219–226 [68] (1981)

- [14] Dzurec D. J., Baptie P.: Rapid, inexpensive microwave oven method for total solids determination in fluid dairy products. *J. Dairy Sci.* 71, 102 (Suppl. 1) (1988)
- [15] El-Shibiny S., Sabour M. M., El-Alamy J. A., Alam S.: Effect of microwaves on buffalo's milk. *Egypt. J. Dairy Sci.* 10, 29-34 (1982)
- [16] Entremont SA: Procédé et dispositifs pour la séparation en continu de la matière grasse du beurre, et produits ainsi obtenus. Brevet d'invention BE 888 232 (1981)
- [17] Fritz K.: Verfahren und Vorrichtung zur Sterilisierung von Lebensmitteln durch Erhitzung mittels Mikrowellen. Offenlegungsschrift BRD P 27 12 448 (1978)
- [18] Fung D. Y. C., Cunningham F. E.: Effect of microwaves on microorganisms in foods. *J. Food Protect.* 43, 641-650 (1980)
- [19] Gaynor M.: The 1990s: Waving in a fresh decade. *Food Business* (January 23), (1989)
- [20] Hamid M. A. K., Boulanger R. J., Tong S. C., Gallop R. A., Pereira R. R.: Microwave pasteurization of raw milk. *J. Microwave Power* 4, 272-275 (1969)
- [21] Husain A. M. H., Al-Omar M. E., Al-Rawi A. T., Rafo S. S.: [The use of microwave oven for cooking Hallum cheese]. *Iraqi J. Agric. Sci. Zanco* 4, 107-118 (1986), zit. *Dairy Sci. Abstr.* 49, 170 (1987)
- [22] Jagenberg-Werke AG: Procédé et dispositif pour éliminer l'écume formée à la surface d'un liquide, en particulier d'un produit de remplissage liquide, par exemple du lait. Brevet d'invention BE 880 721 (1979)
- [23] Jaynes H. O.: Microwave pasteurization of milk. *J. Milk Food Technol.* 38, 386-387 (1975)
- [24] Knutson K. M., Marth E. H., Wagner M. K.: Microwave heating of food. *Lebensm. Wiss. Technol.* 20, 101-110 (1987)
- [25] Knutson K. M., Marth E. H., Wagner M. K.: Use of microwave ovens to pasteurize milk. *J. Food Protect.* 51, 715-719 (1988)
- [26] Kohn R. M.: Die Anwendung dielektrischer Messmethoden in der Lebensmittelanalytik. *Fette Seifen Anstrichm.* 72, 895-898 (1970)
- [27] Kress-Rogers E., Kent M.: Microwave measurement of powder moisture and density. *J. Food Eng.* 6, 345-376 (1987)
- [28] Leuthold P.: Beeinflussung der Umwelt durch elektromagnetische Felder. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (1986)
- [29] Levitt A.: The microwave revolution. *Dairy Foods* 89, 21, 24, 26 [7] (1988); zit. *Dairy Sci. Abstr.* 51, 68 (1989)
- [30] Lutz K. E.: Gefahren der Mikrowellen und der Mikrowellenherde. *Vita Sana Magazin* 20, 12-15 [5] (1988)
- [31] Merin U., Rosenthal I.: Pasteurization of milk by microwave irradiation. *Milchwissenschaft* 39, 643-644 (1984)
- [32] Newburg D. S., Concon J. M.: Malonaldehyde concentrations in food are affected by cooking conditions. *J. Food Sci.* 45, 1681-1683, 1687 (1981)
- [33] NN: Mit Mikrowellen schonend temperieren. *Molk. Ztg. Welt der Milch* 41, 382, 391 (1987)
- [34] NN: Pasteurisation par micro-ondes une technique qui répond à des produits spécifiques. *Techn. Lait.* 38-40 [1026] (1988)
- [35] NN: Microwave ownership among U. K. homes to reach 60% by 1990. *Food Business* (January 9) (1989)
- [36] NN: Microwave market picks up power. *Food Business* 36-38 (May 8) (1988)
- [37] NN: Microwave food processing. *Food Technol.* 43, 117-126 [1] (1989)
- [38] Ohlsson T., Thorsell U.: Wiedererwärmen gekühlter Lebensmittel und Speisen mittels Mikrowellen. *Ernährungs-Umschau* 32, 104-108 (1985)
- [39] Paquet A., Kalab M.: Amino acid composition and structure of cheese baked as a pizza ingredient in conventional and microwave ovens. *Food Microstruct.* 7, 93-103 (1988)
- [40] Reuter H.: Das Bach'sche Mehrfrequenz-Verfahren zur Haltbarkeitsverlängerung von sauren Milchprodukten. *Molk. Ztg. Welt Milch* 31, 1278-1280 (1977)
- [41] Rosenberg U., Bögl W.: Keimreduktion in Lebensmitteln durch Mikrowellenbehandlung. Eine Übersicht. *Bundesgesundheitsbl.* 27, 206-214 (1984)
- [42] Rosenberg U., Bögl K. W.: Mikrowellenanwendung bei Lebensmitteln im industriellen, gewerblichen und häuslichen Bereich. Schweiz. Gesellschaft Lebensmittelhygiene Schriftenreihe Nr. 17, 139-156 (1987)
- [43] Sale A. J. H.: A review of microwaves for food processing. *J. Food Technol.* 11, 319 (1976); zit. nach [6]
- [44] Spencer P. L.: Method of treating foodstuffs. US Patent 2 495 429 (1950)
- [45] Stamer H.: Verfahren zur Herstellung von lagerfähigen, ganze Früchte enthaltenden Fruchtzubereitungen ohne Konservierungsstoffe und deren Verwendung. PCT/EP87/00555 (1987)
- [46] Stearns G., Vasavada P. C.: Effect of microwave-processing on quality of milk. *J. Food Protect.* 49, 853 (1986)
- [47] Stenström L. A.: Apparatus for electromagnetic heating of liquids. US Patent 3 668 358 (1972); zit. nach [6]

RATA-STOP 875
by **ELECTRONICASA**

Umweltfreundlich mit Ultraschall gegen:

Mäuse - Ratten - Marder usw.

- kaum hörbar für den Menschen
- 220 V-Netzbetrieb oder 12 - 24 V =/~
- vertreibt Schädlinge sicher und für immer
- Wirkungsbereich bis 350 m² auf freiem Raum

WUNDERLI
ELECTRONICS AG

9413 OBEREGG
Telefon 071/91 36 43
Telefax 071/91 36 21

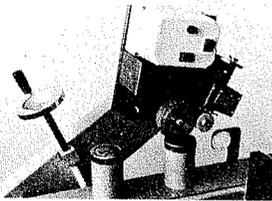
inkl. Wusi
1 Jahr
Garantie

FT-380-
SWISS MADE

SIGNIERTECHNIK SIGNIERTECHNIK

Patronen-Signiergerät
ANZO 2000

zum Signieren von Dosen, Boxen usw. in kontinuierlich laufenden Abfüll- oder Verpackungsstrassen



Anliker & Co.

Altmattweg 57
4600 Olten
☎ 062 / 32 31 50