

Über die Anwendung der Hochfrequenzerwärmung in der Konserven-Industrie

Von J. Gutschmidt

(Mitteilung aus der Forschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung an der Technischen Hochschule Karlsruhe)

Die Hochfrequenz (HF)-Erwärmung hat sich in Form der induktiven Erwärmung zum Härten, Löten und Schweißen von Metallen mehr und mehr durchsetzen können. Ausführlicher noch als mit dieser Erwärmung von elektrisch leitenden Stoffen im magnetischen Wechsel- feld hat die Forschung der letzten Jahre sich mit der Erwärmung von elektrisch nicht leitenden Stoffen im elek- trischen Wechselfeld — der dielektrischen oder kapazi- tiven Erwärmung — beschäftigt. Während bei der induk- tiven Erwärmung je nach der Höhe der Frequenz in der erregenden Spule — sie liegt meist zwischen 5 und 500 kHz — in einer mehr oder weniger starken Randschicht des Werkstückes ein Strom induziert und eine dement- sprechende Erwärmung erzielt wird, liegt bei der kapazi- tiven Erwärmung das zu behandelnde Gut zwischen den Platten eines Kondensators, dessen meist zwischen 5 und 50 MHz liegendes Wechselfeld einen doppelt so schnellen Richtungswechsel der polaren Moleküle im Gut und in- folge der Reibungswiderstände eine Erwärmung bedingt. Als rechnerischen Ausdruck für den Reibungswiderstand im Nichtleiter kann man den Verlustfaktor — das Pro- dukt aus der Dielektrizitätskonstante E und dem $\tan \delta$ des Verlustwinkels δ — auffassen, der für den Stoff einen charakteristischen Wert hat. Je größer der Verlustfaktor, desto größer die im gleichen HF-Feld an einem Stoff gleichen Gewichts und gleicher spez. Wärme erzielte Er- wärmung. Die induktive Erwärmung hat den Vorteil, daß sich mit ihr auch bei guten Wärmeleitern engbegrenzte Bereiche erhitzen lassen; dagegen ist es bei der kapazi- tiven Erwärmung von nicht leitenden Stoffen möglich,

1. die Wärme in einem homogenen Stoff schnell und gleichmäßig im ganzen Querschnitt zu erzeugen,
2. in einem inhomogenen Gut den Teil mit dem höheren Verlustfaktor schneller zu erwärmen und dadurch die Erwärmung auf einen Teil des Gutes zu konzentrieren, d. h. eine selektive Erwärmung vorzunehmen.

Die Möglichkeit die Wärme im Innern des zu erhitzen- den Stoffes entstehen zu lassen, ließ die Anwendung der HF-Erwärmung besonders für die Behandlung von Stoffen, bei denen eine Überhitzung der Randschichten vermieden werden mußte, vorteilhaft erscheinen. Für die Kunststoffe verarbeitende Industrie werden z. Zt. die meisten HF-Generatoren gebaut. Sowohl das Vorwärmen der Preßlinge^{1, 2, 3)}, als auch das Schweißen von Kunst- stoffbehältern^{4, 5)} ergeben mit der HF-Erwärmung durch- geführt bessere Produkte, geringeren Ausschuß und eine wesentliche Zeitersparnis. Auch beim Vulkanisieren von Gummi unter Verwendung der HF-Erwärmung ist in- folge der gleichmäßigen Erhitzung das Gefüge gleich- mäßiger und die Zeitersparnis groß⁶⁾.

Eine selektive Erwärmung tritt z. B. beim Leimen von Sperrholz auf^{7, 8)}. Während beim Leimen in dampf- beheizten Formen die Wärme von außen durch das schlecht leitende Holz der Leimschicht zugeführt werden muß, ist beim Leimen im HF-Feld infolge des höheren Verlust- faktors von Leim eine Erhitzung des Leims ohne wesent- liche Erwärmung des Holzes und so besonders beim Her- stellen dicker Sperrholzplatten eine Zeit- und Wärme- ersparnis möglich.

Lebensmittel sind schlechte Wärmeleiter. Auch bei einem Teil der Wärmebehandlungen, denen einige von ihnen unterworfen werden, ist man darauf bedacht, eine möglichst gleichmäßige Erwärmung durchzuführen. Bei Produkten, bei denen die Wärmeübertragung durch Kon- vektion, Strahlung und Leitung und das dadurch bedingte Temperaturgefälle von außen nach innen sich besonders nachteilig auswirkt, bietet die Anwendung der H. F.-Er-

wärmung Vorteile. Nur mit ihrer Hilfe war es möglich, Roggenmehl schnell und gleichmäßig im H. F.-Feld auf 150° C zu erwärmen und damit die Quellfähigkeit wesent- lich zu verbessern⁹⁾. In den USA verwendet man die H. F.-Erwärmung zum Kochen, Braten und Backen. Wenn auch die gleichmäßige Erwärmung beim Braten und Backen unerwünscht ist — das Fleisch wird im eigenen Saft gekocht anstatt gebraten, das Gebäck erhält keine Kruste —, so wird doch gegenüber den bisher üblichen Zubereitungsarten sehr viel Zeit gespart. Die Nachteile versucht man durch besondere Vorrichtungen auszuschal- ten; so verwenden z. B. Brockhuizen und Schui- lenburg¹¹⁾ bei ihren Backversuchen Formen, deren Material einen größeren Verlustfaktor als der Teig hat, so daß durch die im H. F.-Feld mit erwärmte Form eine dünne Kruste gebildet wird. Trotz der Vorteile scheint die Anwendung der H. F.-Erwärmung zum Kochen, Bra- ten und Backen nur in besonderen Fällen vorteilhaft und wirtschaftlich zu sein¹²⁾.

Auch die selektive Erwärmung wird in der Lebens- mittelindustrie angewendet. Schon beim Erhitzen der Backform handelt es sich um eine solche. Ein weiteres Bei- spiel ist die Vernichtung von Schädlingen, wie Kornkäfern und Mehlmotten im Korn bzw. Mehl, ohne daß eine Schä- digung der Keim- und Backfähigkeit auftritt¹⁰⁾. Uner- wünscht ist die selektive Erwärmung beim in den USA angewendeten Auftauen von Gefrierprodukten¹³⁾. Was- ser hat einen sehr viel größeren Verlustfaktor als Eis, so daß bei etwas ungleicher Erwärmung des Gefrier- gutes die Stelle der ersten Schmelzwasserbildung der Herd einer stärkeren Wärmeentwicklung wird. Es ist möglich, daß beim Auftauen einer Packung Gefrierware lokal Tempe- raturen von 80—90° C auftreten, während 2 cm davon ent- fernt das Produkt noch gefroren ist.

Wenn wir die Anwendungsmöglichkeiten der H.F.-Er- wärmung in der Konserven-Industrie betrachten, so könnte daran gedacht werden, folgende wesentliche Wärmebe- handlungen mit ihrer Hilfe durchzuführen:

1. Das Blanchieren (Inaktivierung von Enzymen),
2. Das Trocknen und Konzentrieren (Wasserentzug),
3. Das Pasteurisieren und Sterilisieren (Vernichtung von Mikroorganismen).

Für alle diese Behandlungsarten ist die HF-Erwärmung versuchsweise angewendet worden. Es soll im folgenden kurz über die Eignung des neuen Verfahrens für die ein- zelnen Behandlungsarten berichtet und am Beispiel des Blanchierens im HF-Feld auf die vielen mit der Anwen- dung verbundenen Schwierigkeiten eingegangen werden.

Die HF-Erwärmung beim Blanchieren

Die im Obst und Gemüse enthaltenen Enzyme werden bei einem Teil der heute gebräuchlichen Konservierungs- verfahren, so z. B. durch den Gefrier- und Trockenprozeß, nicht vernichtet und rufen in den Produkten mehr oder weniger starke biochemische Veränderungen hervor, die eine merkliche Geschmacks- und Geruchsverschlechterung zur Folge haben können. Diese unerwünschten Veränderun- gen durch Inaktivierung der Enzyme auszuschalten ist eine der wichtigsten Aufgaben des Blanchierprozesses. Da besonders bei Gefrierprodukten, aber auch beim Trocken- gut und sterilisierten Konserven der beim Blanchieren auftretende Qualitätsverlust nicht vernachlässigt werden kann, hat man immer wieder versucht, den Blanchier- vorgehens zu verbessern oder durch andere Verfahren zu er- setzen¹⁴⁾. Amerikanische Arbeiten^{15, 16, 17, 18)} und eigene Untersuchungen zeigen, daß es für das Blanchieren opti- male Temperaturen und Zeiten gibt, wobei die Tempera- tur — um den nachteiligen Einfluß einer zu langen Blan-

chierzeit auf die Randschichten zu vermeiden — möglichst im ganzen Fruchtteil gleichzeitig erreicht werden muß. Perry et al. ¹⁹⁾ haben die in Abb. 1 dargestellte Temperaturverteilung in einer Pfirsichhälfte beim Blanchieren in Dampf von Atmosphärendruck gemessen. Wir sehen im Versuch A, daß nach einer Blanchierzeit von 4 Minuten nahe der Oberfläche eine Temperatur von 88° C erreicht ist, während — wie Versuch C zeigt — bei einem ungefähr gleich langen Dampfneiß 9 Minuten benötigt werden, um eine Kerntemperatur von 63° C zu erreichen. Ungefähr 11 Minuten lang muß die Behandlungszeit einer größeren Pfirsichhälfte sein, wenn eine Kerntemperatur von 93° Celsius erzielt werden soll. Beim Abkühlen hinkt die Kerntemperatur ähnlich stark nach wie beim Erwärmen. Diese Meßergebnisse zeigen eindeutig, daß ein Überblanchieren der Randzonen bzw. ein Unterblanchieren des Kerns beim Erwärmen großstückigen Guts in Dampf und Wasser nicht zu vermeiden ist.

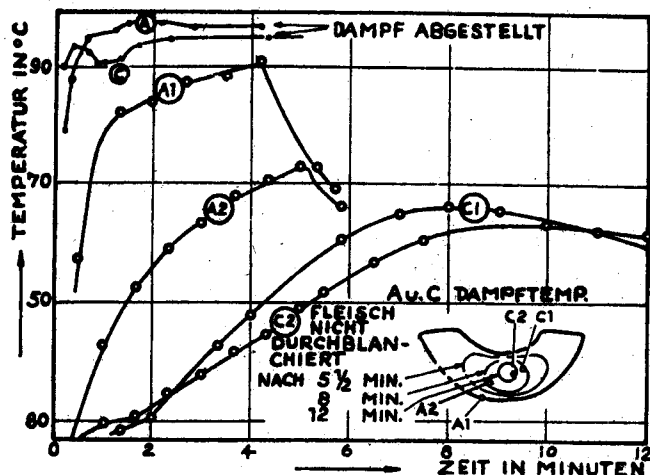


Abb. 1

Temperaturverlauf in einer Pfirsichhälfte beim Blanchieren in einem Laboratorium-Blanchier nach Perry et al. Kurven A und Kurven C gelten für getrennte Versuche. Die Meßstellen können der Skizze in der unteren rechten Ecke des Bildes entnommen werden.

Da bei der HF-Erwärmung die Wärme im behandelten Gut gleichmäßig im Innern erzeugt wird, schien es mit ihrer Hilfe möglich zu sein, das Blanchieren mit gleicher Temperatur im ganzen Querschnitt des Fruchtteils vom Anfang bis zum Ende des Vorgangs durchzuführen und so mit einer sehr kurzen, genau zu bestimmenden Blanchierzeit auszukommen. Das Nachhinken der Kerntemperatur beim Abkühlen bliebe allerdings auch bei der HF-Erwärmung bestehen.

Während in Deutschland das Blanchieren von Gemüse und Obst im HF-Feld kaum untersucht wurde, ist in den USA im Laufe der letzten Jahre auch nach dieser Seite hin gearbeitet worden. Von Moyer und Stotz ^{20, 21)} wurde die Qualitätsänderung von Gemüse beim Übergang vom Blanchieren in Wasser und Dampf zum Blanchieren im HF-Feld untersucht. Da der späteren Arbeit ²¹⁾, in der die Ergebnisse bei der Behandlung von Erbsen der Sorte Thomas Laxton mitgeteilt werden, dem Umfang und der Sorgfalt nach die größere Bedeutung bezumessen sein dürfte, soll sie hier kurz diskutiert werden, umso mehr als sie die einzige uns bekannte Arbeit mit ausführlichen Versuchswerten über das Blanchieren durch HF-Erwärmung darstellt.

Zur dielektrischen Erwärmung von Kunststoffen, Sperrholz, Roggen und zum Abtöten von Schädlingen werden in der Regel Generatoren mit einer Frequenz von 2 bis 30 MHz (150 bis 10 m Wellenlänge) benutzt. Auch der erste von Moyer und Stotz für die HF-Erwärmung benutzte Generator hatte eine Frequenz von 10 MHz. Es zeigte sich jedoch, daß bei dieser Frequenz die Spannung zwischen den einzelnen Gemüseteilen bzw. oberer Kon-

densatorplatte und dem Gemüse so hoch wurde, daß eine Funkenbildung auftrat. Die Frequenz wurde erhöht und damit bei der gleichen Leistung die Spannung vermindert. Die Funkenbildung wurde erst bei einer Frequenz von 150 MHz und darüber vollkommen vermieden. Die einer Arbeit von Brown, Hoyle und Bierwirth ²²⁾ entnommene Tabelle 1 zeigt, wie bei der Behandlung einer Packung Spinat mit einer Temperatur von 20° C bei gleicher Leistung die Elektroden-Spannung mit zunehmender Frequenz abnimmt. Da die Wärmeentwicklung im Quadrat der Feldstärke abnimmt, aber nur — wenn man von einer geringen Änderung des Verlustfaktors absieht — linear mit der Frequenz wächst, arbeitet man umso wirtschaftlicher, je höher die Spannung gewählt werden kann. Die obere Spannungsgrenze, die für das Arbeiten in der Industrie (Kunststoffe, Sperrholz) mit 100 Volt/mm angenommen wird ²³⁾, ist für das Blanchieren zu hoch.

Tabelle 1

Elektroden-Spannung in Abhängigkeit von der Frequenz bei der Bestimmung des Verlustfaktors einer 400 g-Packung Spinat bei 20° C.

Frequenz	Elektroden-Spannung V	Verlustfaktor %
1,5	13850	3,19
10.	5420	3,14
20.	3860	3,1
30.	3140	3,1
40.	2740	3,05
50.	2440	3,12
200.	1195	3,22

Leistung des Generators während der Behandlung = 1 kW
 Elektroden-durchmesser = 153 mm, Elektrodenabstand = 54 mm
 Packungsabmessungen = 127 x 102 x 41 mm

Bei der Untersuchung von Erbsen wurde von Moyer und Stotz ein HF-Generator mit einer Frequenz von 150 MHz bei einer Leistung von 750 Watt verwendet. Die Elektroden des Geräts waren, um den bei den ersten Versuchen in den Randschichten aufgetretenen Wärmeverlust zu vermeiden, in einem Wärmeschrank untergebracht, der während der Behandlung auf 100° C gehalten wurde. Das Blanchieren der sehr einheitlichen Erbsen im HF-Feld wurde in offenen Packungen durchgeführt, die gleich nach der Behandlung in Kaltluft von -24° C abgekühlt wurden. Die Vergleichsproben wurden auf normale Weise im Dampf bzw. Wasser blanchiert. Außer einer subjektiven Bewertung nach einer Lagerung von sechs Monaten bei -24° C wurde der Gehalt an Ascorbinsäure und Karotin nach einer Lagerzeit von zwei Tagen bei der gleichen Temperatur bestimmt und die Katalase-Peroxydase-, Lipoxydase- und Ascorbinsäureoxydase-Aktivität gleich nach der Behandlung gemessen. Die für jede Behandlungsart gefundenen Bestwerte einiger Analysen sind in Tab. 2 zusammengestellt.

Wie bei früheren Versuchen mit Kohl ²⁰⁾ konnte auch beim Blanchieren von Erbsen im HF-Feld eine bessere Erhaltung der Ascorbinsäure beobachtet werden als beim Blanchieren in Wasser und Dampf. Die Unterschiede im Karotingehalt waren geringfügig. Die Katalase, Ascorbinsäureoxydase und Lipoxydase waren — wie auch Kiermeier ²⁴⁾ fand — hitzeempfindlicher als die Peroxydase. Die letztere zeigte sich bei der HF-Erwärmung resistenter als beim Blanchieren in Wasser und Dampf. Obgleich nur die drei Minuten in Wasser bzw. Dampf blanchierten Proben eine negative Reaktion der Peroxydase zeigten, war der Abfall des Ascorbinsäuregehalts während der anschließenden sechsmonatlichen Lagerung bei allen Proben gleich gering. Die subjektive Bewertung nach dieser Zeit ergab jedoch, daß die im HF-Feld blanchierten Erbsen gegenüber den in Wasser und Dampf blanchierten im Genußwert stark abgefallen waren. Als Ursache für den

Tabelle 2

Ergebnisse beim Blanchieren von Erbsen, Sorte Thomas Laxton, bei optimalen Behandlungstemperaturen und -zeiten nach Moyer und Stotz.

		H. F. Er-wärmung	Blanchieren		
			Wasser	Dampf	
Behandlungstemperatur	°C	93	99	99	
Behandlungsdauer	min	0	1	3	
Ascorbinsäuregehalt ¹⁾	mg %	22	19	19	
Katalaseprobe		negativ	negativ	negativ	
Peroxydaseprobe		leicht positiv	leicht positiv	negativ	
Subj. Bewertg. nach 6 Monaten	Geschmack u. Geruch	Noten ²⁾	2,6	1,6	1,4 ³⁾
	Farbe	Noten ²⁾	2,1	1,0	1,0 ³⁾

¹⁾ Ausgangswert nicht angegeben

²⁾ 1 = sehr gut, 2 = gut, 3 = genügend, 4 = schlecht

³⁾ Behandlungszeit 1,5 min bei 99° C

größeren Qualitätsabfall der im HF-Feld blanchierten Proben wird die verhältnismäßig lange Abkühlzeit in der Packung angegeben. Ergänzende Versuche mit gewürfelten Kartoffeln ergaben beim Abkühlen in der Packung (Abkühlungszeit drei Stunden bis auf 5° C) einen Ascorbinsäureverlust von 64% und beim Abkühlen unter den gleichen Bedingungen ausgebreitet auf einem Blech (Abkühlungszeit 1/2 Stunde auf 0° C) keinen Verlust an Ascorbinsäure. Wenn jedoch bei der langsamen Abkühlung der Erbsen ein Abfall des Ascorbinsäuregehalts gegenüber den blanchierten Proben aufgetreten sein sollte, so was doch der Gehalt sowohl direkt nach der Behandlung als auch noch nach der Lagerung höher als der der blanchierten Proben. Ob für den größeren Qualitätsabfall der HF-behandelten Proben während der Lagerung die Abkühlung verantwortlich gemacht werden kann, ist also fraglich. Der ergänzende Versuch zeigt aber wiederum deutlich, daß die Abkühlung bei der Wärmebehandlung insbesondere von verpackten Lebensmitteln aufmerksam beachtet werden muß. Bei einer Verwendung der HF-Erwärmung zur Vorbehandlung im Konservenbetrieb müßte das Gut lose auf einem Förderband durch das HF-Feld laufen und gleich anschließend mit Kaltluft²⁶⁾ abgekühlt werden.

Mit einem von der Siemens-Schuckert-Werke A.-G. der Firma Bronner & Heuß in Wiesloch zur Verfügung ge-

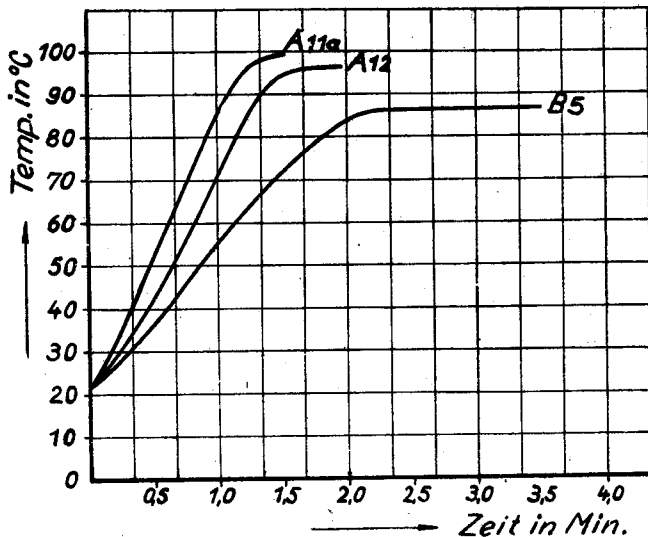


Abb. 2

Temperaturverlauf im Gut beim Blanchieren im H.F.-Feld.

- A 11a beim Blanchieren von Erbsen ohne Wasser,
- A 12 " " " " mit Wasser,
- B 5 " " " " einer Apfelscheibe.

stellten HF-Generator „Ultratherm“ konnten in Wiesloch einige orientierende Versuche zur Klärung der Qualitätserhaltung beim Blanchieren im HF-Feld im Vergleich zum Blanchieren in Wasser durchgeführt werden. Das von der Firma Siemens-Reiniger für die Kurzwellentherapie gebaute Gerät hat eine Leistung von etwa 400 Watt bei einer Frequenz von 50 MHz bzw. einer Wellenlänge von 6 m. Für die Blanchierversuche wurden mehrere Gemüsearten und Äpfel verwendet. Für die Versuche mit Erbsen wurde die Markerbse Lincoln gewählt. Die Erwärmung erfolgte in einer Petrischale von 60 mm Durchmesser und 20 mm Höhe. Der Abstand der Kondensatorplatten betrug 40 mm, ihr Durchmesser 80 mm. Die Heizspannung der Röhre während der Versuche war 23 bis 22 Volt, die Elektrodenspannung wurde nicht gemessen. Die Kurven A in Abb. 2 zeigen den Temperaturverlauf während des Blanchierens und zwar die Kurve A 11 a für 30 g Erbsen ohne Flüssigkeit und die Kurve A 12 für 15 g Erbsen in 15 ccm Leitungswasser.

Nach den Angaben von Moyer und Stotz ist in ihren HF-Blanchierversuchen die Behandlungszeit bei allen Proben sehr klein gewesen; sie wurde in der Tabelle mit 0 Minuten angegeben. Vielleicht ist nicht wie beim Blanchieren in Wasser und Dampf die gesamte Behandlungszeit, sondern nur die Behandlungsdauer nach dem Erreichen der vorgeschriebenen Temperatur angegeben. Auch bei einer Probengröße von nur 30 g Erbsen waren die von uns gemessenen Aufheizzeiten bis auf 90° C stets größer als 1 Minute.

Schon Moyer und Stotz weisen auf die Schwierigkeiten der Temperaturmessung beim HF-Blanchieren hin. Obgleich die Anzeigen der Guttemperatur nachhinken, wurde mit einem Thermometer, dessen Flüssigkeitskugel im Kern der Packung lag, gemessen. Die Temperaturanzeigen eines Thermoelements mit einer dem Galvanometer vorgeschalteten Drosselspule²⁶⁾ erwiesen sich als sehr schwankend und unzuverlässig. Wir benutzten für die Temperaturmessungen Toluolthermometer von 5 mm Durchmesser. Das Einbetten der Toluolkugel des Thermometers in den kleinen Proben war nicht einfach. Auch bei unseren Messungen hinkten die Anzeigen des Thermometers Guttemperaturen von 60 bis 100° C beträchtlich nach.

Die Erfahrung von Moyer und Stotz, daß unter einer Frequenz von 150 MHz, bei der zum schnellen Aufheizen erforderlichen Feldstärke eine Lichtbogenbildung zwischen den einzelnen Teilen des Versuchsguts und zwischen Kondensatorplatte und Versuchsgut auftritt, wurde durch unsere Versuche bestätigt. Beim Anlegen der vollen Heizspannung zeigten sich bei der von uns verwendeten Frequenz von 50 MHz schon bei mäßiger Dampfentwicklung starke Überschläge. An den Überschlagsstellen traten häufig Verbrennungen auf. Um die Lichtbogenbildung zu vermeiden, wurde z. T. in Wasser liegend erhitzt. Der Vorteil gegenüber dem normalen Blanchieren in Wasser war, daß infolge der Erwärmung von innen her eine kürzere Blanchierzeit angewendet werden konnte. Die Proben wurden sofort nach der Erhitzung in Kaltluft von -18° C gekühlt.

Einige Ergebnisse der im Anschluß an die Abkühlung durchgeführten qualitativen Katalase- und Peroxydasebestimmungen zeigt die Tabelle 3. Die Werte lassen sich mit den von Moyer und Stotz gefundenen nicht vergleichen, da die Behandlungszeiten verschieden sind. Bei unseren Versuchen waren erst nach einer Gesamtbehandlungsdauer von 2,5 Minuten bei einer Endtemperatur von 96° Katalase und Peroxydase inaktiviert. Die drei Minuten lang in Wasser blanchierten Proben zeigten auch bei uns keine Katalase- und Peroxydase-Aktivität mehr. Die nach einer Lagerdauer von neun Monaten vorgesehene subjektive Bewertung konnte nicht durchgeführt werden.

Von den verschiedenen Produkten, die außer Erbsen im HF-Feld erwärmt wurden, seien noch einige Ergeb-

Tabelle 3

Ergebnisse der Enzymbestimmungen von Erbsen, Sorte Lincoln nach dem Blanchieren im HF.-Feld

Proben-Nr.	Gesamte Behandlungsdauer min	Erwärmungszeit über 90° min	Höchsttemperatur °C	Analysen	
				Katalase	Peroxydase
A 7	3,0	1,5	96	negativ	negativ
A 11a	1,5	0,5	98	leicht positiv	positiv
A 12	1,9	0,7	96	negativ	leicht positiv

nisse über die Behandlung von Äpfeln erwähnt. In der Gefrierindustrie werden nur wenige Obstarten einer Wärmebehandlung vor dem Gefrieren unterworfen. Dazu gehören die Äpfel, die auch jetzt noch gern zur Verhinderung der Bräunung blanchiert werden, da sich die Behandlung mit Antioxydantien als schwierig und z. T. nicht wirksam erwiesen hat. Es wäre eine wesentliche Verbesserung, wenn die mit dem Blanchieren verbundenen Auslaugverluste und damit ein Abflachen des Geschmacks bzw. das Auftreten eines Kochgeschmacks durch ein Blanchieren im HF.-Feld vermieden werden könnten. Für uns waren die Untersuchungen an Äpfeln auch deshalb wertvoll, weil die Veränderungen hauptsächlich während des Auftauens und kurz nach dem Auftauen eintreten, so daß durch das Gefrieren und anschließende Auftauen gleich nach dem Blanchieren schnell Ergebnisse über die Güte des Verfahrens gewonnen werden konnten.

Blanchiert wurden sorgfältig aus dem Fruchtfleisch verschiedener Apfelsorten herausgeschnittene, gleichmäßig 15 mm starke Scheiben mit einem Durchmesser von 60 bis 70 mm. Die Erwärmung erfolgte in einer Quarzschale, der Abstand der Kondensatorplatten betrug 20 mm, die Heizspannung der Röhre 23 bis 22 Volt. Die Spannung wurde kurz vor dem Erreichen der gewünschten Höchsttemperatur auf 20 Volt herabgesetzt. Als Höchsttemperaturen wurden 85, 90 und 95° C gewählt. Den typischen Kurvenverlauf bei der Erwärmung der Apfelscheiben zeigt die Kurve B-5 in Abb. 2. Die Proben wurden, wie die Erbsen, gleich nach dem Blanchieren in Kaltluft von -18° C abgekühlt und anschließend bei dieser Temperatur eingefroren. Für die nach 24 Stunden durchgeführte Bewertung der Apfelscheiben nach dem Auftauen wurde das Karlsruher Bewertungsschema in der neueren Fassung mit zehn Noten verwendet²⁷⁾.

Einige Ergebnisse der Bewertung, in die zum Vergleich auch normal 2 bis 3 Minuten in kochendem Wasser blanchierte und frische Apfelscheiben einbezogen wurden, sind in Tabelle 4 wiedergegeben. Die Qualitäten sowohl der im HF.-Feld als auch der in Wasser blanchierten Proben waren gegenüber der der frischen z. T. erheblich abgefallen. Obgleich die Farbe der im HF.-Feld und der im Wasser behandelten Äpfel gleich benotet wurde, war sie doch unterschiedlich. Der Notenabfall der HF-behandelten Proben war, wie auch die eingeklammerten Noten zeigen, zur Hauptsache darauf zurückzuführen, daß trotz der gleichen Scheibenstärke eine sehr ungleichmäßige Erwärmung auftrat. So gab es an einigen Scheiben durchgehende braune Teile und Teile, die sich kaum verfärbt hatten; an anderen Proben waren gebratene Stellen neben braunen, während wieder andere auf der einen Seite eine helle, auf der anderen Seite eine braune Farbe hatten. Während die Farbnoten bei den HF-blanchierten Proben den Eindruck dieser ungleichmäßigen Färbung ausdrücken, gelten die Noten der in Wasser blanchierten für eine gleichmäßige Verfärbung gegenüber den frischen Äpfeln. Die Proben sind z. T. unnatürlich hell, bei nichtdurchblanchierten Scheiben schimmert das Braun der inneren Teile durch und verursacht auf der Außenfläche einen

rosa bis grauen Farbton. Im Geschmack und Geruch waren die HF.-blanchierten den in Wasser blanchierten Proben überlegen; sie kamen den Eigenschaften des Frischobstes näher, wenn auch gegenüber diesem ein wesentlicher Unterschied festzustellen war.

Tabelle 4

Subjektive Bewertung von unterschiedlich behandelten Apfelproben nach dem Karlsruher Schema.

Apfelsorte	Behandlungsart	Ges. Behandlungsdauer min	Behandlungsdauer bei Höchsttemp. min	Höchsttemperatur °C	Subjekt. Bewertung		
					Farbe (Noten ¹⁾)	Geschmack ²⁾ u. Geruch (Noten ¹⁾)	
Bismarckapfel	H. F.	3	0,6	90	5 (4-8)	6,5	
	Wasser frisch	3	-	98	5	5	
		-	-	-	8	7	
Champagner- Renette	H. F.	2	0	85	4 (2-8)	6	
	Wasser	2	-	98	6	5,5	
		H. F.	3	0,8	90	8	7,5
		Wasser frisch	3	-	98	8	6,5
Wintergold- parmäne	H. F.	3	1,0	85	3 (2-8)	6,5	
		3	-	98	4	4	
	Wasser frisch	-	-	-	6	9	
Bellefleur	H. F.	3	0,9	90	5 (4-8)	6	
	H. F.	4	1,5	85	6,5 (5-9)	5	
		frisch	-	-	-	9	7,5

¹⁾ Noten des Karlsruher Schemas: 10 = vorzüglich, 9 = sehr gut, 8 = gut, 7 = ziemlich gut, 6 = befriedigend, 5 = genügend, 4 = kleine Mängel, 3 = mangelhaft, 2 = schlecht, 1 = sehr schlecht, 0 = verdorben.

²⁾ Bei der Bildung der Note wurde dem Geschmack die Wertziffer 2 und dem Geruch die Wertziffer 1 gegeben.

Unsere Untersuchungen sowohl an Erbsen wie an Äpfeln zeigen, daß der verwendete Generator für die Untersuchung des Blanchierprozesses nicht geeignet war. Bei den kleinen Proben, die infolge der geringen Leistung gewählt werden mußten, war nicht nur die Temperaturmessung schwierig, sondern die Menge einer Probe reichte auch für die erforderlichen Analysen und Kostproben nicht aus. Bei der verwendeten Frequenz von 50 MHz war die Erhitzung ungleichmäßig oder es traten Verbrennungen infolge von Lichtbogenbildung auf. Für das Arbeiten mit höheren Frequenzen und größeren Leistungen fehlte ein passender Generator. Wohl wäre es möglich gewesen, ein Gerät mit einer Frequenz bis 300 MHz von der einschlägigen Industrie zu beziehen, aber die Mittel für die Anschaffung standen nicht zur Verfügung. Da nach internationalen Vereinbarungen für HF-Generatoren, die außerhalb des Nachrichtenwesens verwendet werden, nur die Frequenzen von 40,08; 27,12 und 13,56 MHz mit einer zulässigen Abweichung von ± 2% verwendet werden dürfen, sind höhere Frequenzbereiche für die einschlägige Industrie von geringem Interesse. Auf Grund der Versuche von M o y e r und S t o t z und der eigenen Versuchsergebnisse kann festgestellt werden, daß ein Blanchieren von Obst und Gemüse mit der HF-Erwärmung bei den zugelassenen Frequenzen keine befriedigenden Ergebnisse bringt. Obwohl besser bewertet als die in Wasser blanchierten Vergleichsproben, befriedigte auch die Qualität

der HF.-behandelten Apfel nicht. Eine Verwendung von handelsüblichen HF.-Generatoren zum Blanchieren dürfte somit kaum in Frage kommen. Aber auch die Ergebnisse der Wärmebehandlung bei höheren Frequenzen befriedigen vorerst nicht; bevor jedoch ein endgültiges Urteil gefällt werden kann, wäre es wünschenswert, eindeutig zu klären, ob das Blanchieren durch HF.-Erwärmung bei Wahl der optimalen Frequenzen und Leistungen in Bezug auf die Qualitätserhaltung dem Blanchieren in Dampf oder Wasser überlegen ist.

Die H.-F.-Erwärmung beim Trocknen und Konzentrieren

Das Trocknen und Konzentrieren von Lebensmitteln dient dazu, soviel Wasser aus den Lebensmitteln bei möglichst vollständiger Erhaltung ihrer Wertstoffe und ihres Genußwertes zu entfernen, wie nötig ist, um das Wachstum von Mikroorganismen und damit den mikrobiellen Verderb bei der Lagerung zu verhindern. Außerdem wird das Gewicht und der Raumbedarf der Lebensmittel wesentlich verringert. Die Qualitätserhaltung während des Trocknens ist in der Hauptsache abhängig von der Trocknungstemperatur in der letzten Trocknungsphase und der Dauer ihrer Einwirkung. Die Trocknungsgeschwindigkeit ist bei einem bestimmten Gut abhängig vom Dampfdruckgefälle zwischen Gut und Umgebung, dieses aber ist neben anderem abhängig vom Wassergehalt und der Temperatur des zu trocknenden Gutes. Die Gutstemperatur muß — damit das Dampfdruckgefälle groß wird — so hoch gehalten werden, wie es ohne eine Schädigung des Gutes möglich ist. Beim hohen Wassergehalt der äußeren Schicht zu Beginn der Trocknung ist die Gefahr der Überhitzung nicht so groß, da die ganze zugeführte Wärme zur Verdampfung des Wassers aus ihr verbraucht wird; an der Oberfläche herrscht die Kühlgrenztemperatur. Mit sinkendem Wassergehalt in der Randzone verlagert sich die Verdampfung ins Innere des Gutes. Da die Kühlgrenztemperatur an der Oberfläche nicht mehr aufrechterhalten werden kann, muß — wenn keine Schädigung der Randschicht oder eine den Stoffdurchgang von innen nach außen erschwerende Verkrustung auftreten soll — die Trocknungstemperatur erniedrigt werden. Dadurch und infolge des schwierigen Wärme- und Stoffaustausches entsteht dann der lange „Trockenschwanz“, der nicht nur unwirtschaftlich ist, sondern oft auch auf die Wertstoffe und den Genußwert einen nachteiligen Einfluß hat.

Es ist nun durch die H.-F.-Erwärmung möglich, die Wärme nicht von außen durch die bereits getrocknete Schicht heranzubringen, sondern sie selektiv genau an der Stelle entstehen zu lassen, an der man sie braucht. Infolge des größeren Wassergehalts und des dadurch bedingten höheren Verlustfaktors werden die feuchten Teile stärker als die empfindlicheren trocknen Stellen erwärmt. Wenn auch der Feuchtigkeitstransport beim Trocknen im H.-F.-Feld den gleichen Gesetzen folgt wie im normalen Trockenschrank, so können doch — ohne eine zu starke Erwärmung der schon trocknen Teile befürchten zu müssen — die feuchten gleichmäßig und bevorzugt erwärmt werden. Es ist anzunehmen, daß dadurch gerade bei der Resttrocknung die Anwendung der H.-F.-Erwärmung Vorteile haben dürfte. Der Trockenschwanz wird — ohne Schädigung der Randzonen durch eine hohe Temperatur — auf einen Bruchteil der normalerweise benötigten Zeit abgekürzt werden können.

Trockengemüse kommt auch in Würfeln gepreßt in den Handel. Bei dem für eine gute Qualitätserhaltung während der Lagerung erforderlichen Wassergehalt sind einige Produkte so spröde, daß sie beim Pressen brechen. Um diesem das Aussehen beeinträchtigenden Übel abzuwehren, wird z. T. bei einem etwas höheren Wassergehalt gepreßt und der Würfel nachgetrocknet. Da es jedoch noch schwieriger ist, die Feuchtigkeitsnester aus dem Würfel als aus den lockeren Gemüseteilen zu entfernen, erschien das Nachtrocknen von Trockengutpreßlingen durch die H.-F.-Erwärmung noch vorteilhafter zu sein als die Resttrocknung. Von Dunlap²⁸⁾ wurden $75 \times 50 \times 25$ mm große Preßlinge aus getrockneten Kartoffeln und Karotten mit Hilfe der H.-F.-Erwärmung im Vakuum bei 60 und 70°C und zum Vergleich bei denselben Temperaturen im Vakuum-Trockenschrank von etwa 15 bis auf etwa 7 bzw. 4% Wassergehalt getrocknet. Die H.-F.-Trocknung wurde mit einer Abgabeleistung des Generators von 150 bis 200 Watt bei einer Frequenz von 34 MHz durchgeführt. Die Größe der Kondensatorplatten betrug $12,7 \times 12,7$ cm, der Plattenabstand 6,4 cm. Die Trocknungsgeschwindigkeit beim Trocknen bis zu einem Wassergehalt von 7% konnte durch die Anwendung der H.-F.-Erwärmung bei Kartoffeln um das 1,5-fache, bei Karotten um das dreifache gegenüber der Vakuumtrocknung gesteigert werden. Die Qualität nach dem Trocknen wurde an den Kartoffelproben durch subjektive Bewertung ermittelt. Sie ergab, daß bei der gleichen Trockentemperatur die im H.-F.-Generator getrockneten Proben nicht besser, sondern schlechter als die im Vakuum-Schrank getrockneten waren. Die stärkere Bräunung bei der H.-F.-Erwärmung wird darauf zurückgeführt, daß — gleiche Trockentemperatur vorausgesetzt — die Bräunung bei höherem Wassergehalt stärker ist. Die Trocknungsendtemperatur wird aber bei der H.-F.-Erwärmung im ganzen Preßling bei einem noch relativ hohen Wassergehalt erreicht, während im Vakuumtrockner infolge der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Trockenguts ein Teil des Wassers im Innern bereits bei niedrigerer Temperatur verdampft wird. Sowohl die Trocknungszeit als auch die Qualität der Kartoffelpreßlinge waren beim Trocknen im H.-F.-Feld bei 60°C und im Vakuumtrockner bei 70°C gleich, so daß nach Dunlap kaum ein Vorteil durch die Anwendung der H.-F.-Erwärmung beim Trocknen zu erzielen ist.

Für das Trocknen von hitzeempfindlichen pharmazeutischen Mitteln scheint sich die H.-F.-Erwärmung einzusetzen²⁹⁾. So war es erst durch ihre Anwendung möglich, bei der Herstellung von Penicillin die bis dahin ausschließlich verwendete Gefrier-trocknung lediglich zur Entfernung des Restwassers zu verwenden und eine Konzentrierung der Ausgangslösung bei 20 bis 30°C unter Verwendung der H.-F.-Erwärmung vorzuschieben, ohne die Ausbeute zu verringern²²⁾.

Wie beim Trocknen gilt auch beim Konzentrieren von Flüssigkeiten durch Verdampfung des Wassers im H.-F.-Feld die gleiche Gesetzmäßigkeit für die Verdampfung wie bei der Anwendung anderer Wärmequellen, nur daß die Wärme, die beim normalen Verdampfer von außen durch einen Heizmantel übertragen wird, hierbei im Innern der Flüssigkeit entsteht. Da in der Regel ein homogenes Gut konzentriert wird, ist die Erwärmung im H.-F.-Feld sehr gleichmäßig. Für die großen, in der Konserven-Industrie zu konzentrierenden Saftmengen dürfte die Anwendung der H.-F.-Erwärmung nicht lohnend sein. Zur Entfernung des Restwassers jedoch aus einem schon sehr zähflüssigen Konzentrat, das nur noch schwer in den unter Umständen mit Zimmertemperatur arbeitenden Vakuumapparaten zirkuliert bzw. umgepumpt wird, und für sehr empfindliche Stoffe kann die H.-F.-Erwärmung Vorteile bieten.

Die H.-F.-Erwärmung beim Pasteurisieren und Sterilisieren

Sowohl das Pasteurisieren als auch das Sterilisieren hat den Zweck, die im Lebensmittel enthaltenen, bei der normalen Lagerung schädlichen Mikroorganismen zu vernichten. Fleming²⁰⁾ und Nyrup²¹⁾ konnten eine schnelle Zerstörung von Bakterien im H.-F.-Feld beobachten. Da die Bakterien sich jedoch sehr schnell nach dem Aufbringen des H.-F.-Feldes erwärmen, war schwer festzustellen, ob ein spezifischer bakterizider H.-F.-Effekt vorhanden ist. Untersuchungen von Brown, Hoyler und Bierwirth²²⁾ beim Pasteurisieren von Milch mit Frequenzen von 27, 180 und 400 MHz sprechen gegen einen solchen Effekt. Um bei diesen Versuchen die Bakterien nicht durch die Wärmeeinwirkung zu töten, wurde die Temperatur durch das Arbeiten mit geringer Feldstärke bzw. im Vakuum niedrig gehalten. Beim Pasteurisieren und auch beim Sterilisieren kommt es darauf an, die Temperatur und die Zeit ihrer Einwirkung so zu wählen, daß einerseits die schädlichen Mikroorganismen getötet, andererseits das Produkt in seiner Qualität nicht oder möglichst wenig beeinflusst wird. Von Brown, Hoyler und Bierwirth wurde Milch im H.-F.-Feld pasteurisiert. Es hatte sich bei den Voruntersuchungen gezeigt, daß eine einheitliche Behandlungszeit der vorgewärmten Milch im H.-F.-Feld von 0,067 sec. beim Durchströmen eines zwischen den Elektroden angebrachten Rohres wegen der ungleichen Strömungsgeschwindigkeit im Rohrquerschnitt nicht eingehalten werden konnte. Demzufolge wurde bei der von ihnen für die Hauptversuchsreihe entworfenen Apparatur das Glasrohr vor dem Eintritt in das Kondensatorfeld erweitert, so daß die Milch frei durch das Feld fallen konnte. Bei einer Vorwärmung auf 60° C, einer 0,067 sec. währenden Erwärmung bis auf 94° C im H.-F.-Feld und einer anschließenden 0,2 sec. langen Abkühlung auf 57° C durch Einleiten in ein Vakuum, sowie weitere Abkühlung auf 4° C im Rippenkühler, konnte die Bakterienzahl der Milch von 5×10^6 auf $800/\text{cm}^3$ erniedrigt werden, gegenüber einer Senkung auf $50\,000/\text{cm}^3$ beim normalen Dauerpasteurisieren (1/2 Std. bei 62° C). Die Qualität der im H.-F.-Feld behandelten Milch war von der der rohen nicht zu unterscheiden. Ein Nachteil war, daß die Aufnahmefähigkeit nach der H.-F.-Erwärmung stärker zurückging als nach dem normalen Pasteurisieren. Da beim Pasteurisieren von Säften ähnliche Bedingungen wie bei Milch einzuhalten sind, wird die gleiche Arbeitsweise auch bei ihnen angewendet werden können. Besonders vorteilhaft dürfte die H.-F.-Erwärmung beim neuerdings in den USA häufiger benutzten Blitzpasteurisieren sein, bei dem der Saft in Bruchteilen von Sekunden unter Überdruck auf 115 bis 120° C erhitzt, schnell auf 85° C abgekühlt und in sterile Flaschen gefüllt wird.

Vielfach wird das Pasteurisieren der Säfte auch nach dem Abfüllen in den Flaschen vorgenommen. Während sie beim Durchlauferhitzer in einem dünnen Film erwärmt werden können, so daß die Temperaturunter-

schiede im Saft bei nicht zu schnellem Erwärmen nicht groß werden, dauert es bei der Flasche trotz der guten Konvektion im Innern eine erhebliche Zeit, ehe der gesamte Inhalt die vorgeschriebene Temperatur erreicht hat. Hier schien die gleichmäßige Erwärmung des Inhalts im H.-F.-Feld noch mehr Vorteile zu bieten als beim Durchlauferhitzer. Nach Cruess²³⁾ sind in mehreren Laboratorien der USA nach dieser Seite hin Untersuchungen gemacht worden. Eine einwandfreie Pasteurisation von Bier in Flaschen war durch eine Erwärmung von 1,5 Min. auf 60° C im H.-F.-Feld möglich²³⁾.

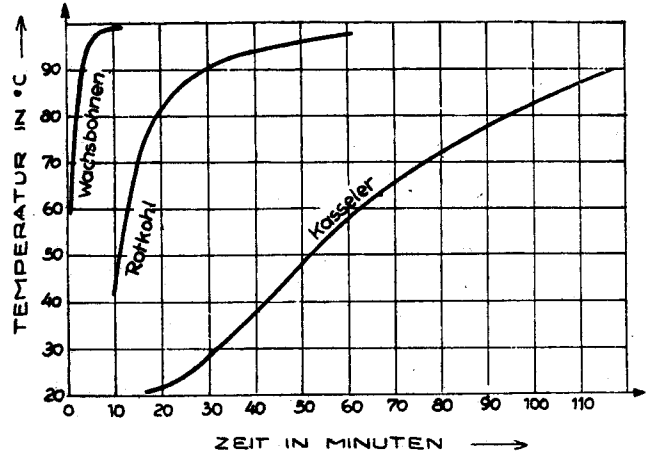


Abb. 3
Temperaturverlauf in der Mitte von DIN 1/1-Konservendosen beim Sterilisieren verschiedener Produkte im Wasserbad bei 100° C.

Das Sterilisieren von Lebensmitteln in Gefäßen unterscheidet sich vom Pasteurisieren in Flaschen nur dadurch, daß bei diesem Prozeß verschiedenartigere Produkte längere Zeit auf höhere Temperaturen erhitzt werden müssen. Auch beim Sterilisieren muß darauf geachtet werden, daß nicht durch zu hohe Temperaturen und zu lange Behandlungszeiten die Qualität unnötig verschlechtert wird. Für das Sterilisieren nicht saurer Produkte in der DIN 1/1-Dose sind jedoch Temperaturen von 115 bis 121° C und Zeiten, je nachdem ob eine Konvektion in der Dose möglich ist oder nicht, von 15 bis 90 Min. erforderlich, um die schädlichen Mikroorganismen zu vernichten. Der von Riedel²⁴⁾ gemessene Temperaturverlauf in der Mitte einer DIN-1/1-Dose beim Erwärmen von kurz gebrochenen, lose gepackten Wachsbohnen, von Rotkohl und Kasseler im Wasserbad von 100° C — in Abb. 3 wiedergegeben — zeigt, daß bei den Bohnen infolge der guten Konvektion die Temperatur sehr schnell ansteigt, so daß kaum ein Vorteil durch eine Erwärmung von innen her entstehen würde, daß aber schon beim Rotkohl, bei dem die Konvektion nur beschränkt möglich ist, und noch vielmehr beim Kasseler, durch eine Erwärmung des Innern im H.-F.-Feld ein sehr viel steilerer Temperaturanstieg und damit eine wesentliche Verkürzung der Behandlungszeit erreicht werden kann.

Das Sterilisieren in Gefäßen mit Hilfe der H.-F.-Erwärmung ist nicht so einfach wie das Pasteurisieren. Um gegen den beim Erwärmen auf über 100° C in der Dose entstehenden Überdruck einen Ausgleich zu haben, muß im Autoklaven gearbeitet werden, wenn nicht das Gut in einer Sondervorrichtung sterilisiert und dann steril abgefüllt wird. Die Verwendung von Metall Dosen ist der großen elektrischen Leitfähigkeit des Metalls wegen nicht möglich. Es müssen Behälter genommen werden, deren Verlustfaktor kleiner oder nur etwas größer als der des Inhalts ist. Geeignet sind Gläser und Kunststoffbehälter. Die zu behandelnden Produkte sind z. T. nicht homogen, so daß die einzelnen Teile in der Dose verschieden stark erwärmt werden. Damit die Temperatur im Aufguß etwa gleich schnell ansteigt wie im Produkt, muß darauf ge-

achtet werden, daß beide etwa den gleichen Verlustfaktor haben. Wenn der Verlustfaktor des Gefäßes kleiner als der des Füllgutes ist und eine Isolierung nicht angebracht wurde, wirkt bei den langen Behandlungszeiten der Wärmeverlust durch die Wandung und die dadurch niedrigere Temperatur der Randschichten sich aus. Beim Kühnen entsteht ein Temperaturgefälle von innen nach außen, das Gut in der Mitte bleibt länger warm.

In der Versuchsabteilung der American Can Co. wurde mit einem H.-F.-Generator von 15 kW Abgabeleistung bei einer Frequenz von 10 MHz die Verwendung der H.-F.-Erwärmung zum Sterilisieren von Gemüse und Fleisch überprüft^{35, 36}). Entsprechend den für das Sterilisieren bei über 100° C genannten Forderungen, wurden die Kondensatorplatten in eine Druckkammer eingebaut und als Behälter ein Rohr von 90 mm Durchmesser aus hitzebeständigem Glas mit Metallboden und -deckel gewählt. Um die Temperatur der im H.-F.-Feld erwärmten Dose ohne weitere H.-F.-Energie zu halten und eine Abkühlung unter Druck zu ermöglichen, war ein Wasserbehälter unter den Elektroden in der Druckkammer angeordnet, in den die Probe durch eine Betätigung von außen gesenkt werden konnte. Sterilisiert wurde beimpftes Erbsenpüree, großstückiges Fleisch und Wiener Würstchen. Nachdem die Erwärmung mittels der Glasrandung angepaßter Elektroden durch die Seitenwände keine befriedigenden Ergebnisse brachte, wurden Deckel und Boden als Elektroden benutzt und — um einen guten Kontakt zwischen Inhalt und Elektroden zu haben — die Proben waagrecht liegend sterilisiert. Die Erwärmungszeit im H.-F.-Feld wurde von 0,5 bis 5 Minuten variiert. Nach der Erwärmung wurden die Proben in den Wasserbehälter gesenkt und dort etwa 5 Minuten bei 120 bis 125° C gehalten. Es sollte durch das Wasserbad nicht nur die Temperatur eine längere Zeit konstant gehalten, sondern auch die kälteren Wände des Behälters, die infolge des geringen Verlustfaktors nur durch die Wärmeleitung erwärmt wurden, sterilisiert werden.

Eine der größten Schwierigkeiten bei der Anwendung der H.-F.-Erwärmung war die ungleiche Wärmeentwicklung bei inhomogenem Gut. So konnte bei der H.-F.-Behandlung von rohem Schinken im fetten Teil eine Temperatur von 127° C gemessen werden, während im Abstand von 25 mm der magere Teil nur 88° C hatte. Beim sterilisierten Fleisch waren fette Stücke angeschmort und magere noch roh. Durch diese selektiven Erwärmungen und die dadurch über der Sterilisiertemperatur liegenden örtlichen Temperaturen sollen wesentlich höhere Drücke aufgetreten sein, als wenn gleichmäßig auf die vorgeschriebene Temperatur erwärmt wurde. Als sehr unangenehm erwies sich außerdem noch eine Lichtbogenbildung zwischen Inhalt und Elektroden und die dadurch entstehenden Verbrennungen der den Elektroden anliegenden Teile. Die Lichtbogenbildung konnte durch eine Verminderung der Elektrodenspannung stark reduziert werden, entsprechend der kleineren Spannung mußte aber die Aufheizzeit verlängert werden. Wie beim Blanchieren würde auch beim Sterilisieren die Erhöhung der Frequenz der beste Weg sein, eine Lichtbogenbildung zu vermeiden.

Selbst wenn die geschilderten Nachteile behoben werden könnten, wird — obgleich eine Verbesserung des Genüßwertes beim Fleisch und bei den Würstchen festgestellt werden konnte — erst nach weiteren eingehenden Versuchen ein Urteil über die Eignung des Sterilisierens durch H.-F.-Erwärmung für die industrielle Verwendung abgegeben werden können. Eine Übertragung der geschilderten Laboratoriumsarbeitweise in die Praxis dürfte wohl sehr schwierig sein.

Im Gegensatz zum Sterilisieren von Dosenkonserven scheint das Sterilisieren von verpacktem Brot einfach zu sein und wird daher auch schon industriell angewendet^{37, 38}).

Die bisher vorliegenden Untersuchungen über die Möglichkeit der Verwendung von H.-F.-Generatoren in der Konserven-Industrie lassen erkennen:

1. Die Erwärmung im H.-F.-Feld unterscheidet sich nur durch die Entwicklung der Wärme im Stoff selbst von den bisher üblichen Behandlungsarten; im übrigen vollzieht sich diese Erwärmung nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie die Erwärmung mit Dampf oder Wasser.

2. Keine der bisher vorliegenden Arbeiten berechtigt das Vorhandensein einer strahlenspezifischen Wirkung bei der H.-F.-Erwärmung anzunehmen.

3. Wenn auch beim Blanchieren und Sterilisieren der Lichtbogenbildung wegen mit hohen Frequenzen gearbeitet werden muß, so ist doch bei homogenem Gut kein Vorteil beim Übergang von niedrigen zu hohen Frequenzen festzustellen. Der in der Lebensmittel-Industrie verwendbare Frequenzbereich dürfte — wenn man davon absieht, daß für die technische Anwendung nur die Frequenzen von 40,08; 27,12 und 13,56 MHz $\pm 2\%$ zulässig sind — zwischen 5 und 200 MHz liegen. Die hohen Frequenzen sollten aus Wirtschaftlichkeitsgründen nur benutzt werden, wenn es unbedingt erforderlich ist.

4. Wohl ist der Verlustfaktor frequenzabhängig und hat einen für jeden Stoff typischen Verlauf; bei der Behandlung mit der optimalen Frequenz treten jedoch keine spezifischen Effekte auf, vielmehr kann des sehr flachen Maximums wegen ohne Unterschied in der Wirkung in einem weiten Frequenzbereich gearbeitet werden^{33, 39}). Es ist dadurch möglich, einen Generator bestimmter Frequenz bei etwa gleichbleibender Wirtschaftlichkeit für verschiedene Arbeiten zu verwenden.

Wenn die H.-F.-Erwärmung für eine Behandlungsart gut geeignet ist, wird es von der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens abhängen, ob es in der Industrie Eingang findet und sich durchsetzt. So ist seine Anwendung in der Kunststoff-Industrie trotz der höheren Energie- und Amortisationskosten wirtschaftlich, weil die Qualität der Erzeugnisse besser und der Ausschuß geringer ist als beim Arbeiten mit anderen Wärmequellen und außerdem Zeit und Preßformen eingespart werden. Die Wirtschaftlichkeit der H.-F.-Erwärmung kann man nur durch Vergleich mit den bisher wirtschaftlichsten Erwärmungsarten ermitteln. Aus dem Wärmebedarf, der für die Erwärmung auf die gleiche mittlere Temperatur derselbe ist, gleich wie die Erwärmung durchgeführt wird, kann die erforderliche Abgabeleistung des Generators errechnet werden. Sie ist — wenn man der kurzen Behandlungszeiten wegen in Minuten rechnet —

für die Temperaturerhöhung um Δt in °C.

$$N = \frac{G \cdot \Delta t \cdot c}{14,34} \text{ kW} \quad (1)$$

für die Verdampfung von G kg Wasser/min.

$$N = \frac{G \cdot r}{14,34} \text{ kW} \quad (2)$$

Es bedeuten:

N = Generatorleistung in kW

G = Stoffmenge in kg/min

Δt = Temperaturdifferenz in °C

c = spez. Wärme in kcal/kg °C

r = Verdampfungswärme in kcal/kg für Wasser
539 kcal/kg bei Atmosphärendruck

1 kW = 14,34 kcal/min.

Die mit Gl. (2) errechnete Leistung ist nur die zum Verdampfen erforderliche; falls z. B. die zum Trocknen benötigte Leistung berechnet werden soll, ist der für die Temperaturerhöhung des Gutes erforderliche Wärme-

bedarf nach Gl. (1) gesondert zu berechnen und zu addieren. Um für eine Übersichtsrechnung die Generatorleistungen in einfacher Weise ablesen zu können, hat Kinn⁴⁰⁾ das in Abb. 4 wiedergegebene Diagramm ent-

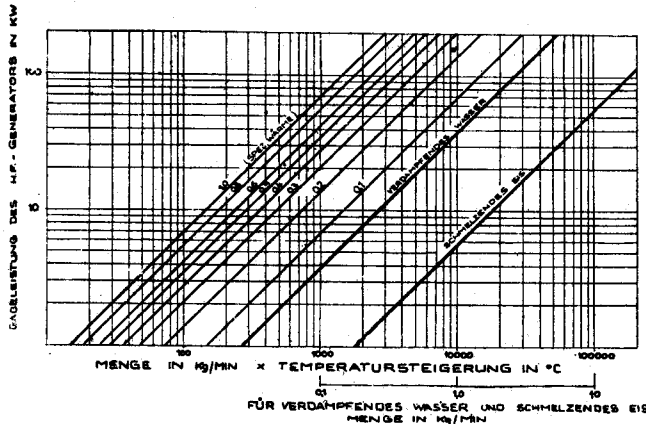


Abb. 4

Diagramm zur Ermittlung der Abgabeleistung von H.F.-Generatoren nach Kinn

worfen. Wenn z. B. in einer H.F.-Trocknungsanlage 120 kg Kohl/h (2 kg/min.) von 15 auf 5% Wassergehalt bei 60° C im Vakuum getrocknet werden sollen, also 12,7 kg Wasser/h (0,21 kg/min.) verdampft werden müssen, ergibt sich für die Erwärmung von 20 auf 80° C — also mit einem Abszissenwert von $40 \times 2 = 80$ bei einer spez. Wärme (Parameterwert) von 0,90 kcal/kg° C — auf der Ordinate eine Leistung von 5,0 kW und zum Verdampfen von 0,21 kg Wasser/min. — wenn wir die untere Skala der Abszisse und die Verdampfungsgerade als Parameter benutzen — 8,0 kW, so daß insgesamt eine Abgabeleistung des HF-Generators von 13,0 kW zum Trocknen dieser Menge erforderlich ist. Bei genauerer Berechnung muß die Abhängigkeit der Verdampfungswärme vom Druck berücksichtigt werden. Unter der Annahme, daß die Trockenzeit bei einer Temperatur von 60° C 3 Stunden dauert, muß der Generator mit 360 kg Kohl belastet werden. Da der Gesamtwirkungsgrad von HF-Generatoren je nach der Leistung und Frequenz zwischen 25 und 75% liegt, so daß er im Mittel mit 50% angenommen werden kann⁷⁾, beträgt die vom Generator aufgenommene Leistung 26 kW. Nach Sherman³⁹⁾ kann mit einer Lebensdauer der Generatorröhren von 2000 Betriebsstunden und der sonstigen Ausrüstung von zehn Jahren gerechnet werden, so daß sich bei einem Anschaffungspreis von ca. 3000 DM/kW eine Amortisation von ca. 300 DM/kW/Jahr ergibt und bei einem Röhrenpreis von ca. 250 DM/kW die Röhrenkosten ca. 250 DM/kW/Jahr betragen, wenn mit 2000 Betriebsstunden/Jahr gerechnet wird. Die Instandhaltungskosten/Jahr werden von Sherman mit 5% des Anschaffungspreises, das sind ca. 150 DM/kW/Jahr angegeben. Mit einem Strompreis von 0,08 DM/kWh würde damit die vom HF-Generator abgegebene Energie 0,16 DM/kWh für Strom + 0,35 DM/kWh für Amortisation und Röhren = 0,51 DM/kWh kosten. Das Trocknen der im Beispiel genannten 120 kg Kohl kostet demzufolge im HF-Feld 6,50 DM, gegenüber ca. 2,— DM im normalen dampfbeheizten Trockenschrank, wenn auch hier Energie und Amortisation berücksichtigt werden.

In der Konserven-Industrie wird sich die HF-Erwärmung nur dort durchsetzen, wo eindeutige Vorteile, wie Qualitätsverbesserung, Zeit- und Raumerparnis, Vereinfachung der Prozesse usw. die Anwendung trotz der höheren Kosten lohnend machen. Wohl kann durch die

HF-Erwärmung Zeit gespart werden. Auch ist der Platzbedarf geringer und in vielen Fällen das Arbeiten mit ihr sauberer und die Bedienung einfacher als beim Arbeiten mit Dampf oder Wasser⁴⁰⁾; nach den oben wiedergegebenen Versuchsergebnissen kann jedoch im Hinblick auf die Qualitätserhaltung vorläufig ihre Verwendung kaum für eins der in der Konserven-Industrie üblichen Verfahren empfohlen werden. Es ist wünschenswert, daß die Anwendungsmöglichkeiten der HF-Erwärmung in der Konserven-Industrie grundlegend untersucht werden. Wenn auch die mit diesen Untersuchungen neu gewonnenen Erkenntnisse wohl kaum die bei Vertretern der Industrie oft großen Erwartungen befriedigen werden, so dürfte doch auch die HF-Erwärmung bestimmte, nur von ihr zu lösende Aufgaben in der Konserven-Industrie zu erfüllen haben.

Schrifttumsverzeichnis

- 1) Tinnerholm, A. R.: Modern Plastics, Bd. 23 (1946) S. 180
- 2) Stäger, H.: BBC-Mitt. Bd. 34 (1947) S. 129
- 3) Taylor, J. P.: Electronics, Bd. 16 (1943) S. 102
- 4) Pfefferl, A. W.: Kunststoffe, Bd. 39 (1949) S. 86
- 5) —: Modern Packaging, Bd. 21 (1948) S. 113
- 6) Kegel, K.: VDI-Z., Bd. 91 (1949) S. 25
- 7) —: Kunststoffe, Bd. 38 (1948) S. 176
- 8) Robertson, J. W.: Ind. Eng. Chem., Bd. 36 (1944) S. 440
- 9) Fränz, L.: Dtsch. Lebensm.Rdsch., Bd. 44 (1948) S. 92
- 10) Fränz, L.: Dtsch. Lebensm.Rdsch., Bd. 45 (1949) S. 131
- 11) Brockhuizen S. und Schuilenburg, A.: Bakkerij-Wetenschap, Jg. 2 (1949) S. 93
- 12) —: Electric. Manufact., Bd. 37 (1946) S. 232
- 13) Gutschmidt, J.: Kältetechnik
- 14) Heimann-Geierhaas, A.: Dtsch. Lebensm.Rdsch., Bd. 43 (1947) S. 126
- 15) Wagner, J. R., Strong, F. M., u. Elvehjem) C. A.: Ind. Eng. Chem., Bd. 39 (1947) S. 990
- 16) Guerrant, N. B., Yavich, M. G., Fardig, O. B., u. Ellenberger, H. A.: Ind. Eng. Chem., Bd. 39 (1947) S. 1000
- 17) Kramer, A. u. Smith, M. H.: Ind. Eng. Chem., Bd. 39 (1947) S. 1007
- 18) Mahoney, C. H., Walls, E. P., Hunter, H. A., u. Scott, H. E.: Ind. Eng. Chem., Ind. Ed., Bd. 38 (1946) S. 654
- 19) Perry, R. L., Mrak, E. M., Phaff, H. J., Marsh, G. L., u. Fisher, C. D.: Calif. Agr. Exp. Sta., Bull. 698 (1945)
- 20) Moyer, J. C., u. Stotz, E.: Science, Bd. 102 (1945) S. 68
- 21) Moyer, J. C., u. Stotz, E.: Food Technol., Bd. 1 (1947) S. 252
- 22) Brown, G. H., Hoyler, G. N., u. Bierwirth, P. A.: Theory and Application of Radio-Frequency Heating. D. van Nordstrand Company, Inc., New York, 1947
- 23) Stel, M., u. Witsenburg, E. C.: Philips Techn. Rdsch., Bd. 11 (1950), S. 236
- 24) Kiermeyer, F.: Dtsch. Lebensm.Rdsch., Bd. 43 (1947) S. 75
- 25) Moyer, J. G., u. Holgate, K. C.: Food Ind., Jg. 19 (1947) S. 106
- 26) Bierwirth, P. A., u. Hoyler, C. N.: Proc. Inst. Radio Eng., Bd. 31 (1943) S. 529
- 27) Plank, R.: Food Technol., Bd. 2 (1948) S. 241
- 28) Dunlap, W. C. jr.: Ind. Eng. Chem., Bd. 38 (1946) S. 1250
- 29) Bikin, H.: J. Amer. Pharm. Assoc. Sci., Ed. 38 (1949) S. 245
- 30) Fleming, H.: Electric. Eng., Bd. 63 (1944) S. 18
- 31) Nyrup, J. E.: Nature, Bd. 157 (1946) S. 51
- 32) Cruess, W. V.: Commercial Fruit and Vegetable Products, Mc Graw-Hill Comp., New York, 1948
- 33) Jones, L. E.: The American Brewer (1945) S. 21
- 34) Riedel, L.: Zur Theorie der Hitzesterilisation von Dosenkonserven, C. F. Müller Verlag, Karlsruhe, 1947
- 35) Benjamin, H. A., u. Ecklund, O. F.: Food Ind., Jg. 18 (1946) S. 523
- 36) Jackson, J. M.: Food Ind., Bd. 19 (1947) S. 634
- 37) Pathcart, W. H., Parker, J. J., u. Beathic, H. G.: Food Technol., Bd. 1 (1947) S. 174
- 38) Schulz, A.: Getr., Mehl, Brot, Bd. 3 (1949) S. 170
- 39) Sherman, V. W.: Food Ind., Bd. 18 (1946) S. 506 u. 628