

Der Mensch ist, was er ißt,
so dürfen und müssen wir doch sagen: Die Art und Weise seiner
Einstellung zur Nahrungsaufnahme ist uns ein Grad-
messer für seine Stellung zum Leben und Menschsein
in einem höheren Sinne.

Grüner Heinrich von *Gottfried Keller*:

„Er war auch der Meinung, ein freier Bürger müsse arbeiten und sorgen,
sich ein unabhängiges Auskommen zu schaffen und zu erhalten, aber nicht
mehr als nötig; und wenn die Sache im sicheren Gange, so zieme dem Manne
eine anständige Ruhe und „ein vernünftiges Wort beim Glase Wein“. Und
zu dieser „anständigen“ Ruhe müssen wir auch wieder mehr die richtige
Einschätzung und Würdigung unserer Ernährung rechnen.

Moderne Methoden der Lebensmittelkonservierung

(Sterilisierung durch Beta- und Gamma-Strahlen)

Von Professor Dr. J. Kuprianoff
Bundesanstalt für Lebensmittelfrischhaltung, Karlsruhe

Der Wunsch, unsere Lebensmittel in bestmöglichem Zustand während ausreichend langer Zeit zu erhalten, ist sehr alt. Aber erst seit es erkannt wurde, daß diejenigen Veränderungen der Lebensmittel, die zu ihrem Verderb führen und deren Bekämpfung die eigentliche Aufgabe der Lebensmittelkonservierung darstellt, im wesentlichen mikrobieller und biochemischer Natur sind, konnte das Gebiet mit systematischer Gründlichkeit und in neuerer Zeit in zunehmendem Ausmaß auf wissenschaftliche Erkenntnisse gestützt bearbeitet werden. Neben mikrobiellen und enzymatischen Umsetzungen sind es noch vornehmlich die chemischen und physikalischen Veränderungen, die die Haltbarkeit der Lebensmittel begrenzend mitbestimmen. Doch können wir uns gegen diese Veränderungen in der Regel verhältnismäßig leichter schützen: oft werden sie durch gleiche Maßnahmen unterbunden oder ausreichend stark gehemmt, die zur Bekämpfung der Mikroben und Enzyme ohnehin angewandt werden. Zur vornehmsten Aufgabe der Lebensmittelkonservierung entwickelte sich denn auch das Problem der Ausschaltung der Wirksamkeit der lebensmittelverderbenden Gruppe der Mikroorganismen, verbunden mit Inaktivierung derjenigen Enzymsysteme, welche unerwünschte Veränderungen in den Lebensmitteln hervorrufen; hierbei wurden selbstverständlich auch die pathogenen Keime nicht außer acht gelassen. Bei der Erforschung der Bedingungen, die das Abtöten von Mikroben gewährleisten, ergab sich jedoch leider, daß die bisher gefundenen Sterilisationsmethoden sich meist zugleich auch auf die Beschaffenheit des Lebensmittels auswirken.

Im allgemeinen besteht aber heute das Bestreben, das Lebensmittel durch das Konservierungsverfahren nicht oder nur so wenig wie möglich zu verändern, d. h. also z. B. seinen Frischzustand zu erhalten, es sei denn, die Herstellung eines neuen oder neuartigen Pro-

duktes ist primär beabsichtigt. Aber selbst die hierfür sich besonders gut eignende Konservierungsmethode durch Kaltlagerung — gegebenenfalls verbessert durch sogen. Zusatzverfahren, wie Anwendung von Kohlendioxydgas u. a. mehr, kann jedoch die sich im Lebensmittel abspielenden Veränderungen lediglich verlangsamen, keineswegs aber ganz unterbinden; die erzielten Lagerzeiten reichen denn auch oft nicht aus. Werden aber Veränderungen der vorhandenen Bestandteile auftreten, so entstehen neue Substanzen. Im Grunde genommen ist es gleichgültig, ob diese Substanzen auf natürlichem Wege entstehen oder ob sie als Folge einer bestimmten Behandlung oder bei Anwendung eines Verfahrens sich bilden; das gleiche gilt, wenn wir den Lebensmitteln etwas hinzufügen, was ihren Nähr- und Geschmackswert steigert oder ihre Haltbarkeit erhöht; alle diese Stoffe dürfen unter keinen Umständen gesundheitsbeeinträchtigende, geschweige denn gesundheitsschädigende Nebenwirkungen zur Folge haben. Ein lediglich den Nährwert beeinträchtigender Effekt bleibt dagegen nur unerwünscht.

Das bedeutet aber, daß es wünschenswert wäre, eine spezifischere Konservierungsmethode zu haben: die hierbei angewandte Behandlung sollte sich selektiv nur gegen die Mikroben und gegebenenfalls noch gegen Enzyme richten, alle anderen Bestandteile der Lebensmittel sollen aber möglichst unverändert bleiben. Darum bemühen sich wissenschaftliche Institute ebenso wie die Industrie, neue Konservierungsverfahren zu finden, die gestatteten, entweder das Lebensmittel so zu behandeln, daß es seinen ursprünglichen Frischezustand oder wenigstens den Frischwert über längere Zeit behält, weshalb denn wir auch im engeren Sinne von Lebensmittelfrischhaltung als erstrebenswertem Ziel sprechen, oder die Sterilisierung so zu steuern, daß außer dem angestrebten Sterilisierungseffekt möglichst nur noch erwünschte Nebenwirkungen erzielt werden; dies gilt ebenso für Anwendung der chemischen Konservierungsmittel wie auch für Hitzesterilisierung. Daher muß z. B. die bei der Hitzesterilisierung angewandte Erhitzung sehr sorgfältig durchgeführt werden, um einerseits eine ausreichende Sterilität und damit gute Haltbarkeit der Konserve zu gewährleisten und andererseits das Produkt selbst so wenig wie möglich zu schädigen. Man ist heute bestrebt, die Lebensmittel auf höhere Temperaturen nur für sehr kurze Zeit zu erhitzen, was relativ geringere Veränderungen des Lebensmittels ergibt, so daß ein solches Hoch-Kurz-Verfahren sich oft als schonend erweist. Die Anwendung sehr kurzer Erhitzungs- und Abkühlzeiten erfordert allerdings sehr gute Wärmeübertragung und genaue Regelgeräte.

Daneben bleibt aber der bereits erwähnte Wunsch nach einer spezifischen Methode der Haltbarmachung von Lebensmitteln in frischem Zustand über längere Zeit, als dies durch Kaltlagerung möglich ist und ohne die Veränderungen, wie sie z. B. durch Gefrieren und die dazu notwendige Vorbehandlung auftreten, bestehen. Ich möchte Ihnen nun heute kurz über den Stand der Entwicklung einer neuen Methode zur Haltbarmachung von schnellverderblichen Lebensmitteln durch Abtöten der Mikroorganismen mit Hilfe mikrobizider Strahlen berichten; als solche Strahlen kommen in Betracht ionisierende Elektronenstrahlen, auch β -Strahlen genannt, sowie elektromagnetische Strahlen bestimmter Wellenlängen aus dem Bereich der UV-, der Röntgen- und der Gammastrahlung.

Bei der Beurteilung der neuen Verfahren wird man neben ihrer Wirksamkeit und Zweckmäßigkeit vor allem die Fragen zu behandeln haben, ob sie technisch im industriellen Maßstab verwirklichtbar sind, ob sie wirtschaftlich tragbar sind — wobei entweder bei bisheriger guter Qualität des Produktes eine Verbilligung oder bei gleichem Aufwand eine qualitative Verbesserung des Produktes resultieren muß — und schließlich, ob sie gesundheitlich unbedenklich sind, mit anderen Worten, ob sie einen Fortschritt bedeuten.

Der Mechanismus der uns hier vorwiegend interessierenden biologischen und insbesondere mikrobiziden Wirkung der Elektronen- und Röntgenstrahlen ist einander ähnlich. Wenn auch ihre keimtötenden Eigenschaften schon seit langem bekannt sind, so wurde doch erst in neuerer Zeit — seit etwa 10 Jahren und ganz besonders intensiv seit 1947/48 — das Problem ihrer Anwendung zum Zwecke der Sterilisierung von Lebensmitteln aufgegriffen und mit der experimentellen Überprüfung an mehreren Stellen in den USA begonnen. Wenn auch zahlreiche Fragen noch nicht beantwortet sind, so wurde andererseits doch auch schon vieles geklärt, was einen tieferen Einblick in den ganzen Fragenkomplex gestattete. Es scheint mir daher lohnend, die gegenwärtige Situation auf diesem Gebiet in aller Kürze zu besprechen.

A. Elektronenstrahlen.

Bei den Elektronenstrahlen — wenn wir zunächst diese betrachten — handelt es sich bekanntlich um Teilchenstrahlung, bei der als Energieträger die auf hohe Geschwindigkeit beschleunigten, negativ geladenen Elektronen dienen; uns interessieren hier die energiereichen, sich nahezu mit Lichtgeschwindig-

keit bewegend, die Materie durchdringenden und hierbei ionisierende Wirkung hervorrufenden Elektronenstrahlen, da nur sie zum Sterilisieren von Lebensmitteln in Betracht kommen. Die Anwendung dieser Elektronenstrahlen mit Röhrenspannungen von einigen Millionen Volt für den uns hier interessierenden Zweck erschien deshalb besonders reizvoll, da sie

1. verhältnismäßig einfach — auch für industrielle Zwecke — ausreichend energiereich erzeugt werden können,
2. einen hohen biologischen Effekt zeigen, so daß zum Sterilisieren nur geringe Energiemengen benötigt werden und somit auch die Erwärmung des bestrahlten Produktes vernachlässigbar gering bleibt,
3. ein relativ hohes Durchdringungsvermögen besitzen, insbesondere auch bei allen Arten von Verpackungsmaterialien,
4. eine einfache Regelung, d. h. genaue Dosierung ermöglichen,
5. da bei ihnen die erforderlichen Schutzmaßnahmen für Menschen ganz gut verwirklicht werden können und
6. da die Energieumsetzungen bei ihrer Erzeugung mit relativ guten Wirkungsgraden vor sich gehen.

Die Bestrahlung der Lebensmittel erfolgt zweckmäßigerweise nach dem Verpacken, um eine Reinfektion nach dem Sterilisieren unmöglich zu machen; die sterilisierten Lebensmittel können verpackt bei normaler Temperatur gelagert werden, vorausgesetzt, daß die enzymatischen und chemischen Veränderungen dies zulassen.

a) Der Strahleneffekt.

Zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit der Anwendung von Elektronenstrahlen zur Lebensmittelsterilisierung ist die Kenntnis ihrer biologischen Wirksamkeit, d. h. ihres Strahleneffektes notwendig. Ganz allgemein können wir bei Behandlung beliebiger Objekte mit verschiedenen Strahlen feststellen, daß der Strahleneffekt sehr komplex ist; ganz besonders trifft dies zu auf Systeme, die — wie biologische Objekte — selbst sehr kompliziert und kaum in allen ihren Einzelheiten übersehbar sind.

Die uns hier interessierende Gesamtwirkung der Strahlen auf die Lebensmittel kann wie folgt aufgegliedert werden:

1. Mikrobizide (eigentlich biologische) Wirkung, die dazu benützt werden kann, vollständige Sterilität oder auch nur Pasteurisierung zu erreichen, wobei im letzten Fall vorwiegend die vegetativen Formen der Mikroorganismen abgetötet werden. Da das Verfahren bei Raumtemperatur

zu sterilisieren gestattet, wurde es auch oft als „kalte Sterilisation“ bezeichnet.

2. Enzymzerstörende bzw. inaktivierende (eigentlich biochemische) Wirkung, die zur Verhinderung der autolytischen Vorgänge führen kann. Danach spricht man auch vom „kalten Blanchieren“.
3. Physikalische Wirkungen, in erster Linie die Ionisation, ferner die Aktivierung der einzelnen Moleküle, wodurch ihre Reaktionsfähigkeit erhöht wird; schließlich kann eine starke Energiezufuhr auch zur Radioaktivität führen. Was jedoch erst bei einer Strahlenenergie von über 15 MeV eintreten kann.
4. Chemische Wirkungen, die beim Sterilisieren im wesentlichen als Nebenwirkungen (side effects) bekanntgeworden sind. Es handelt sich hierbei bei Lebensmitteln meist um Reaktionen, die überwiegend primär infolge Oxydation durch entstandene freie OH-Radikale oder Reduktion durch gebildete Wasserstoffatome ausgelöst werden.

Dieser vielfältige Strahleneffekt hängt im einzelnen von folgenden Faktoren ab:

1. Von der Strahlenenergie. Der zur Sterilisierung von Lebensmitteln in Betracht kommende Spannungsbereich bewegt sich bei kontinuierlichem Elektronenstrom in den Grenzen von etwa 0,5 — 15 MeV¹⁾. Die kinetische Energie des Elektronenstrahls darf bestimmte Grenzen keinesfalls überschreiten, da sonst die Gefahr besteht, daß die bestrahlte Materie radioaktiv wird. Dieser Frage muß aus naheliegenden Gründen stets besondere Beachtung geschenkt werden.

2. Von der Strahlendosis. Als Maßstab für die Bestrahlungsdosis einer ionisierenden Teilchenbestrahlung, wie sie Elektronenstrahlen darstellen, wird die beim Durchgang der Strahlung durch Wasser oder Luft absorbierte Energie widerspiegelnde amerikanische Einheit 1 rep. (roentgen-equivalent-physical) verwendet²⁾. Erfahrungsgemäß wird zur Sterilisation von Lebensmitteln eine Dosis von 2 Mill. rep. be-

¹⁾ 1 Elektronenvolt (eV) ist die kinetische Energie (ca 10^{-8} erg) eines durch Spannungsdifferenz von 1 Volt im elektrischen Feld beschleunigten Elektrons mit der Ladung $e = 1,59 \cdot 10^{-19}$ Coulomb.

²⁾ Die Dosis-Einheit 1 rep der β -Strahlung entspricht in ihrer ionisierenden Wirkung der Dosis-Einheit 1 r (Röntgen) der Röntgen- und γ -Strahlung. Die Einheit 1 rep ergibt sich auch aus der Definition, daß eine Strahlung von der Dosis 1 rep beim Durchgang durch Wasser einen Energieverlust von 83,8 erg je 1 g Wasser (Stoff mit $\gamma = 1$) erleidet, wobei $1,61 \cdot 10^{11}$ Ionenpaare gebildet werden. Je nach Art des bestrahlten Gewebes beträgt der Energieverlust praktisch zwischen 85 und 100 erg/g, bei frischem Gewebe liegt er meist bei 90 bis 95 erg/g.

1 r = 1 Röntgen, eine Dosis der Röntgen- oder γ -Strahlung, die in 1 cm³ trockene Luft von 760 Torr und 0°C (1,293 mg) $2,083 \cdot 10^9$ Ionenpaare erzeugt; dies entspricht einer Energieabsorption von 0,107 erg/cm³ Luft bzw. 83,0 erg/g Luft.

nötigt; diese Bestrahlungsdosis entspricht einer Energieabsorption des frischen Gewebes von rd. 5 Wh/kg, die zu einer mittl. Temperaturerhöhung dieses Gewebes um etwa 4 bis 5° C führt. Hierbei werden jedoch auch schon die einzelnen Bestandteile der Lebensmittel angegriffen, so daß in bestrahlten Produkten unerwünschte Veränderungen auftreten können. Diese Veränderungen betreffen Farbe, Geschmack, Geruch und auch Konsistenz des Produktes; sie werden als „Nebenwirkungen“ (side effects) bezeichnet und meist — jedoch durchaus nicht allein!) — durch Oxydation verursacht. Auch aus diesem Grunde muß daher die benötigte Bestrahlungsdosis von Fall zu Fall sorgfältig ermittelt werden, um keine Überdosierung eintreten zu lassen.

3. Von der Strahlenempfindlichkeit des bestrahlten Objektes. Die lethale Dosis ist im allgemeinen desto größer, je kleiner der Organismus ist; so ist die Strahlenresistenz der Sporen etwa 4000mal so hoch wie diejenige eines Menschen.

4. Von der Bestrahlungszeit.

5. Von der Temperatur des bestrahlten Objektes. Bei Mikroben konnte im Bereich von — 180 bis + 25° C keine Temperaturabhängigkeit der Lethalitätsdosis festgestellt werden. Dagegen gingen in den Lebensmitteln die schädlichen Nebenwirkungen der Strahlen mit abnehmender Temperatur stark zurück; ganz besonders günstig erwies sich hierbei das Bestrahlen der Lebensmittel in gefrorenem Zustand.

6. Von der Zusammensetzung der das Objekt umgebenden und evtl. sich in seinem Innern befindenden Atmosphäre. Die ungünstigen organoleptischen Veränderungen der Lebensmittel durch Elektronenstrahlen erwiesen sich stark abhängig von der Zusammensetzung der sie umgebenden Atmosphäre, in erster Linie von ihrem Sauerstoffgehalt.

7. Von den Bedingungen an der Oberfläche des Objektes, wie seine Verpackungsart u. dgl. Eine Verpackung des zu bestrahlenden Objektes ist in allen Fällen erforderlich, um nach der Bestrahlung und beim Lagern das sterile Lebensmittel vor Sauerstoffzutritt und Reinfektion zu schützen. Das Verpackungsmaterial muß ausreichend strahlendurchlässig sein; da die Eindringtiefe der Strahlen dem spezifischen Gewicht des bestrahlten Stoffes umgekehrt proportional ist, ist es günstig, ein spezifisch leichtes und dünnwandiges Verpackungsmaterial zu verwenden. Es ist hierbei zu beachten, daß die größte Energie-

¹⁾ Vgl. S. 113

absorption nicht an der Oberfläche, sondern in einer darunter liegenden Schicht des bestrahlten Objektes auftritt (Abb. 1); das Maximum verschiebt sich in die Tiefe des Lebensmittels mit wachsender Elektronenspannung.

Da bei Anwendung der Strahlensterilisierung eine sehr geringe Temperaturerhöhung eintritt, wird das Verpackungsmaterial thermisch nicht beansprucht; es können daher auch Kunststoffe, z. B. plastische Folien aus der Gruppe der Thermoplasten Verwendung finden.

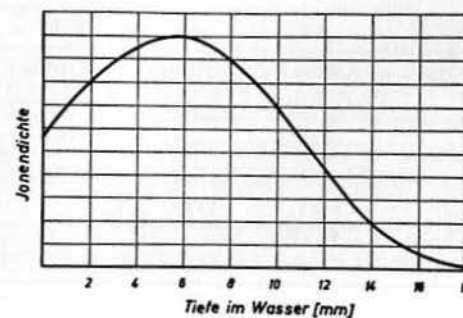


Abb. 1. Der Verlauf der Energieabsorption (Innendichte) im Wasser bei β -Bestrahlung mit 3 MeV.

β) Bauarten von Geräten.

Es stehen für Sterilisationszwecke im wesentlichen 2 Arten von Elektronenbeschleunigern zur Verfügung. In den Geräten der ersten Gruppe wird ein kontinuierlicher Elektronenstrom erzeugt; hierfür kommen heute praktisch entweder Elektronenschleudern, wie z. B. Betatron oder Synchrotron oder ein Van de Graaff-Generator in Betracht. Mit diesen Generatoren sind wohl die meisten Sterilisationsversuche mit Lebensmitteln ausgeführt worden. Einige Daten für die sich auf dem Markt befindlichen Geräte sind in Tab. 1 zu finden. Der kleinste der darin aufgeführten Generatoren ist in Abb. 2 zu sehen. Aber auch andere Firmen bauen Elektronenschleudern, die für Sterilisierzwecke geeignet sind¹⁾.

Die andere Geräteart, wie sie unter der Bezeichnung „Capacitron“ bei der Firma Electronized Chemical Corp., New York, N. Y. entwickelt wurde²⁾, ermöglicht die Anwendung ultrakurzer Bestrahlungszeiten durch spontane Entladung sehr energiereicher Elektronenblitze. Wenn nun die kontinuierlich arbeitenden Geräte einfacher zu regeln und billiger sind, so werden dafür beim Capacitron die ungünstigen Nebenwirkungen und die zur Steri-

¹⁾ Z. B. baut eine entsprechende Elektronenschleuder General Electric Co., Milwaukee, Wis.: Food Proces. Bd. 14 (1953) Nr. 8, S. 12.

²⁾ Huber, W.: Naturwiss. Bd. 38 (1951) S. 21.

lisierung benötigte Dosis kleiner (vgl. Tabelle 2). Die Intensität der Blitze, deren Zahl auf 30/Min. gesteigert werden kann, erreicht 30 bis 50 kA. Die maximale Energie der etwa 10^{-6} sek dauernden Elektronenentladung liegt bei 5 MeV. Bei den Abmessungen des Capacitrons erhält man mit 3 MeV eine Erwärmung des Produktes um 3 bis 5°C je Elektronenstoß.

Tabelle 1

Zusammenstellung der von der Fa. High Voltage Engineering Corp., Cambridge/Mass. serienmäßig hergestellten Van de Graaf-Generatoren zur Erzeugung energiereicher β -Strahlen.

Gerätetyp:	A	C	F
Geeignet für	Kleine Produktion	Mittlere Produktion	Große Produktion
Leistungsabgabe kW	0,5	2,5	10,0
Spannung MV	2	5,0	3,0
Elektronenstrom mA	0,25	0,5	3,3
Anschlußwert KVA (einschl. Vakuumpumpe u. Regler)	4		
Endringtiefe			
eiseitig cm	0,8	2,0	1,5
zweiseitig cm	1,8	4,8	2,8
Geräteleistung in kg/h beim			
a) Sterilisieren	90 kg/h	450 kg/h	1800 kg/h
b) Pasteurisieren	270 kg/h	1350 kg/h	5500 kg/h
c) Schädlingsbekämpfung	2700 kg/h	13500 kg/h	55000 kg/h
Kosten (DM/h)	50	100	120
a) Sterilität	~ 50 Pfg/kg	30 Pfg/kg	10 Pfg/kg
b)			
c)			
Gerätepreis	DM 350 000,—	1 100 000,—	1 700 000,—
Installation u. Gebäude	DM 100 000,—	200 000,—	500 000,—
Zusammen	DM 450 000,—	1 300 000,—	2 000 000,—

β) Versuche mit einzelnen Lebensmitteln —

In Tab. 2 sind die Ergebnisse der Bestrahlungen verschiedener luftdicht verpackter Lebensmittel mit 3 MeV im Capacitron aufgeführt; lediglich bei Salat und Erdbeeren wurden keine günstigen Ergebnisse erzielt.

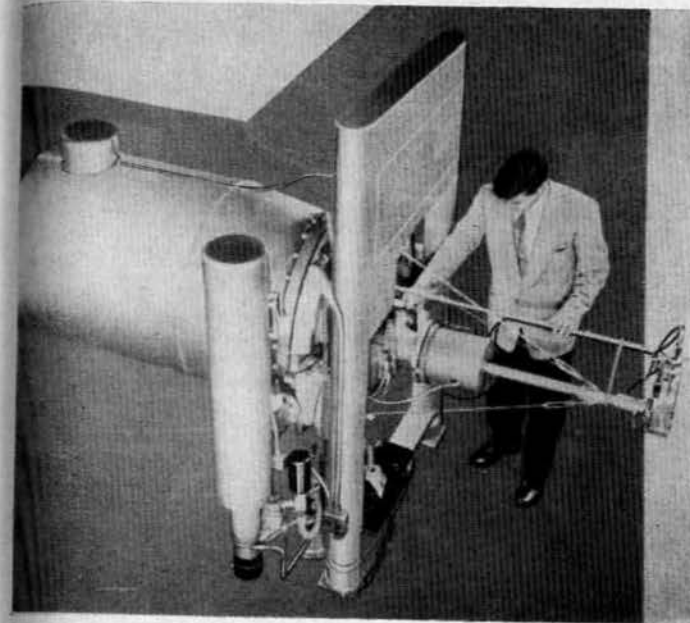


Abb. 2. Der Van-de-Graaff-Generator dient zur Erzeugung eines kontinuierlichen Elektronenstroms. Das abgebildete Gerät liefert energiereiche Betastrahlen von 2 MeV; Leistungsabgabe 0,5 kW.



Abb. 3. Eine Drei-Curie-Anlage der Firma Seiffert in Hamburg in geöffnetem Zustand.

Tabelle 2
Ergebnisse der Bestrahlung verschiedener Lebensmittel mit
3 Me V-Elektronenblitzen im „Capacitron“

Lebensmittel	Zahl der Impulse	Behandelte Ware			Zul. Lagerzeit unbeh. Ware (Tage)	Art der Verpackung
		Lager-temperatur °C	Lager-zeit (Tage)	Wirkung		
Rindfleisch	4	+ 20	264	unverändert, roh und gebraten	2	Glasbehälter
Schweinefleisch	4	+ 20	207	unveränd., nicht ranzig	2	„
Flunderfilet	4	+ 20	127	unverändert	1	„
Gek. Schinken	4	+ 20	63	leichte Zersetzung	2	plast. Folie
Bacon	6	+ 20	156	unveränd., nicht ranzig	6	Aluminiumfolie
Chicken à la King	6	+ 4	74	unverändert	4	plast. Folie
Butter	5	+ 20	97	leichter Beigeschmack, nicht ranzig	3	Glasbehälter
Olivenöl	6	+ 20	204	unverändert	10	„
Sahnenkäse	2	+ 20	66	zuerst Beigeschmack, der im Laufe der Lagerung verschwindet	4	Zinnfolie
Erbsen	6	+ 20	194	unverändert, leicht gebleicht	5	Glasbehälter
Bohnen	6	+ 20	284	„ „	6	„
Spinat	4	+ 20	83	„ „	3	plast. Folie
Blumenkohl	4	+ 20	234	unverändert, Farbe leicht gelblich	6	Glasbehälter
Salat	3	+ 20	5	weich, flacher Geschmack, stark gebleicht	1	plast. Folie
Pfirsiche in Scheiben	4	+ 20	83	leicht gebräunt	1	Glasbehälter
Äpfel in Scheiben	4	+ 20	101	leicht gebräunt	2	„
Erdbeeren	4	+ 20	69	merkl. Änderung in Konsistenz u. Farbe		plast. Folie

β) Brauchbarkeit des Verfahrens

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß es nach den vorliegenden Versuchen grundsätzlich möglich ist, mit ionisierenden Elektronenstrahlen zu sterilisieren. Die in den Lebensmitteln sich bei Anwendung der zur Erreichung von Sterilität erforderlichen Dosis einstellenden nachteiligen Nebenwirkungen können durch Sondermaßnahmen (z. B. Gefrieren, Antioxydation, Anwendung von Blitzen usw.) weitgehend vermieden werden. Bei einigen Produkten lassen sich die Nebenwirkungen durch genaue Einhaltung der erforderlichen Dosis so klein halten, daß sie organoleptisch nicht feststellbar bleiben. Die Haltbarkeit der konservierten Produkte ist gut. Die Eindringtiefe der Elektronenstrahlen von rd. 5 mm/MeV begrenzt die Stückgröße des Gutes, bei doppelseitiger Bestrahlung in vorhandenen Geräten mit rd. 5 MeV auf etwa 5 cm; der wegen der Geräteabmessungen zulässige Durchmesser liegt heute bei 20 bis 30 cm. Bei Behandlung der Lebensmittel mit Elektronenstrahlen

von unterhalb von 15 MeV werden sie nicht radioaktiv; dagegen wird man sich gegen die darin während der Bestrahlung mit Elektronen sekundär emittierten Röntgenstrahlen durch entsprechende Abschirmung schützen. Die Geräte sind jedoch sehr teuer¹⁾.

Der uns bei der Konservierung von Lebensmitteln interessierende biologische Effekt der β -Strahlen kann nach Vorstehendem in der Entkeimung des Produktes und in teilweiser Inaktivierung der sich in ihm befindlichen, nativen Enzymsysteme bestehen. Falls weitergehende Enzyminaktivierung erwünscht ist, wird man sie zweckmäßigerweise auf andere Weise als durch Bestrahlen zu erreichen suchen. Darüber hinaus können aber auch gesundheitsschädigende Parasiten und Lebensmittelschädlinge vernichtet werden; verhältnismäßig leichter als dies bei Bakterien der Fall ist, können z. B. im Schweinefleisch die Trichinen vernichtet werden. Ebenso ist es nicht schwierig, Insekten durch Anwendung entsprechender Strahlendosis abzutöten. Auch leere Verpackungsbehälter oder Verpackungsmaterial lassen sich durch Elektronenbestrahlung sterilisieren. Grundsätzlich sind bei jeder Art der Verwendung von β -Strahlen die Fragen der Apparaturkosten und des Schutzes des Personals die beiden wichtigsten limitierenden Faktoren; ihre Prüfung bzw. Beachtung ist daher für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens von ausschlaggebender Bedeutung.

Dagegen fehlt noch eine sich auf systematische Versuche stützende Bestätigung der völligen Unschädlichkeit der bestrahlten Lebensmittel; im Hinblick auf mögliche cumulierende Wirkung der bei Bestrahlung vielleicht entstehenden toxischen Substanzen aber auch mit Rücksicht auf die sehr komplexe Strahlenwirkung, die u. a. auch zur teilweisen Zerstörung ernährungsphysiologisch wichtiger Bestandteile führen könnte, ist die Überprüfung dieser Frage sehr wichtig, jedoch auch schwierig. Bisherige Fütterungsversuche sind allerdings sehr ermunternd, da keinerlei toxische Wirkungen festgestellt wurden.

Da die Gesamtkosten der Sterilisation von Lebensmitteln durch Elektronenstrahlen hoch sind, ist es durchaus denkbar, daß das Verfahren nur für eine beschränkte Anzahl besonders hierfür geeigneter Produkte in Betracht kommen wird. Auch als Zusatzverfahren zur Kaltlagerung wird die Elektronenbestrahlung evtl. in Erwägung gezogen. Eine endgültige Entscheidung hierüber läßt sich jedoch heute noch nicht treffen.

¹⁾ Die Kosten der praktischen Anwendung der van de Graaff-Band-Generatoren in der Lebensmittelindustrie für Sterilisierzwecke werden von der Herstellerin je nach Größe der Anlage mit 10 cts/kg — bei großen Anlagen mit 5 cts/kg — bis zum Bruchteil von cts/kg angegeben.

B) Elektromagnetische Strahlung

a) UV-Licht

Wenn wir uns nunmehr der elektromagnetischen Strahlung zuwenden und zunächst das Gesamtgebiet betrachten, so finden sich darin Bereiche, die — wie experimentell nachgewiesen wurde — eine biologische Wirkung besitzen. Diesen Effekt zeigt bereits langwelliges UV-Licht im Wellenlängenbereich von etwa 300 m μ und darunter, worauf denn sich u. a. auch die bakterizide Wirksamkeit der sogen. UV-Lampen gründet. Die Eindringtiefe der UV-Strahlen in die Lebensmittel ist jedoch sehr gering, so daß diese Strahlenart praktisch nur zur Entkeimung von Luft, Wasser und von Oberflächen strahlenundurchlässiger Körper in Betracht kommt. Bei Lebensmitteln ist daher die Anwendung der UV-Strahlen in der Regel auf Oberflächenentkeimung beschränkt; nur bei flüssigen Produkten, wie Milch, besteht die Möglichkeit, trotz ihrer Strahlenundurchlässigkeit durch besondere Maßnahmen (z. B. Turbulenz) zu einem durchaus befriedigenden Ergebnis zu gelangen.

Mit abnehmender Wellenlänge nimmt jedoch die Eindringtiefe der elektromagnetischen Strahlung zu. Durch Anwendung ionisierender und daher biologisch wirksamer Strahlung könnte also u. U. die Sterilisation eines Produktes von geeigneten Abmessungen in seiner ganzen Tiefe bei normaler Raumtemperatur erhofft werden. Als Einheit der hierbei angewandten Bestrahlungsdosis gilt 1 Röntgen; 1 Mill. r entspricht dem Betrag an absorbiertener Energie von etwa 5 Wh/kg Wasser.

b) Röntgenstrahlen

Ionisierende Wirkung zeigen auch Röntgenstrahlen. Der Wirkungsgrad der Röntgenanlagen ist wegen großer Verluste bei der Röntgenstrahl-Erzeugung äußerst schlecht, so daß der weitaus größte Teil der zugeführten Energie in Wärme umgewandelt und durch Kühlwasser abgeführt wird; bei hohen Spannungen sind es bestenfalls 5% der Elektronenenergie, die in Röntgenstrahlung transformiert werden. Da die Ausbeute an Röntgenstrahlenergie schlecht ist, sind die Geräte für große Leistungen sehr teuer und daher ist auch die Benützung der Röntgenstrahlen für Sterilisierzwecke sehr kostspielig; ihre industrielle Anwendung wurde daher bisher nicht ernstlich erwogen. Darüber hinaus ist aber auch ihre biologische Wirkung für die uns interessierenden Zwecke bisher noch nicht als ausreichend angesehen worden; so fand Goldblith, daß zur Erreichung der gleichen biologischen Wirkung mit Röntgenstrahlen das 500-Fache

der Bestrahlungszeit mit β -Strahlen notwendig ist. Zur Vernichtung der Sporenbildner genügte (mit einer Ausnahme) $1,5 \cdot 10^6$ r. Es besteht die Auffassung, daß die nativen Enzymsysteme im Zellverband gegen Röntgenstrahlen sehr gut geschützt sind. Im ganzen sind die zur Erreichung der Sterilität von Lebensmitteln erforderlichen Röntgenstrahlendosen etwa denjenigen bei Elektronenstrahlen gleich. Ebenso zeigen auch die Röntgenstrahlen Nebenwirkungen.

C) Gammastrahlen

1. Strahlenquellen. Neben Röntgenstrahlen interessieren in neuerer Zeit besonders stark auch die sogen. γ -Strahlen ($0,5$ bis $27 \cdot 10^{-3}$ m μ), die bei radioaktivem Zerfall entstehen und sich vor allem durch besonders gute Eindringtiefe auszeichnen, nachdem geeignete γ -Quellen zu erschwinglichen Preisen verfügbar geworden sind. Der für Forschungszwecke besonders geeignete Isotop Co^{60} besitzt eine Halbwertszeit von etwa 5,3 Jahren und ist neuerdings auch in Deutschland zu haben.

2. Strahleneffekt. Die amerikanischen Untersuchungen haben gezeigt, daß beim Bestrahlen von Lebensmitteln je angewandte Million Volt eine Eindringtiefe von 10 bis 15 cm erzielt wird. Da die Energie der beim radioaktiven Zerfall von Co^{60} erzeugten γ -Strahlen mit 1,17 und 1,31 MeV sehr beachtlich ist, läßt sich das Präparat für Sterilisierzwecke durchaus verwenden; damit lassen sich bei beiderseitigem Bestrahlen Lebensmittel bis zu einer Stärke von 38 cm durchdringen. Eine Gefahr, daß die Lebensmittel hierbei radioaktiv werden, besteht jedoch nicht. Das stärkste Präparat, das z. Z. bekannt ist, mit einer Gesamtaktivität von rd. 9,3 Kilocurie besitzt seit Frühjahr 1953 das Laboratorium für Spaltungsprodukte (Fission Products Laboratory) der Michigan Universität in Ann Arbor, Mich.

3. Bestrahlung von Lebensmitteln. Eine Sterilisation von Lebensmitteln mit γ -Strahlen erweist sich bei Anwendung einer Bestrahlungsdosis von 1,5 bis 2 Mill. r als grundsätzlich möglich. Diese Sterilitätsdosis kann im ganzen Querschnitt nahezu gleichmäßig erreicht werden. In plastische Kunststoffe oder Glasröhren verpackte Lebensmittel konnten nach Bestrahlung ohne Schwierigkeiten während mehrerer Monate aufbewahrt werden.¹⁾ Am besten verhielten sich hierbei Gemüse, wie Erbsen, Spinat, Spargel, Brokkoli und Karotten. Die bei ihnen infolge der Bestrahlung auftretenden Geschmacksveränderungen waren nur sehr schwach. U. a. wurde eine schwache Neigung

¹⁾ Brownell, I. E.: Food Manuf. Bd. 28 (1953) S. 383.

zum Ausbleichen festgestellt, was allerdings nicht immer (z. B. bei Spargel) als Nachteil zu bewerten ist.

Tierische, eiweißhaltige Produkte befriedigten nicht so gut wie Frischgemüse, da sie einen strengen Geruch erhielten und da ihre Fettkomponente ranzig wurde. Die sich bildenden Geschmackstoffe sind jedoch flüchtig und verschwinden oft beim Erhitzen während der Zubereitung. Bestrahlte Milch, Quark, Käse und Eier werden vermutlich vom normalen Konsumenten abgelehnt. Fütterungsversuche an Ratten zeigten, daß sie keinen Unterschied zwischen bestrahlter und unbestrahlter Milch machten. Wenn Fleischprodukte, wie Bacon, Schinken und Corned beef nach dem Bestrahlen gekocht wurden, waren sie von Fremdgeschmack praktisch frei.

Es bleibt noch die Frage nach der Möglichkeit der Bildung von toxischen Produkten infolge der Bestrahlung zu diskutieren. Die bisher an der Universität von Michigan durchgeführten Vorversuche mit unbestrahlter Milch und mit solcher, die in Polyäthylen-Beuteln mit einer Co^{60} - γ -Quelle von 1 Kilocurie bis zu einer Dosis von etwas über 2 Mill. r bestrahlt wurde, zeigten in ernährungsphysiologischer Beziehung keinen Unterschied. Die Frage wird noch anhand von Tierversuchen sorgfältig studiert. Im Hinblick auf die außerordentliche Bedeutung der möglichen Folgen aus der Einführung eines derartigen neuen Konservierungsverfahrens durch Strahlenbehandlung wird man auch von amtlicher Seite sich mit dem daraus erwachsenen Problem auseinanderzusetzen haben. Die Fragestellung ist insofern bemerkenswert, als bei der Bestrahlung mit ionisierenden Strahlen dem Lebensmittel keine Fremdstoffe zugefügt werden, sondern möglicherweise toxische Substanzen lediglich als Folge der Energiezufuhr entstehen können.

Die Frage nach technischer Durchführbarkeit des Verfahrens kann schon heute bejaht werden. Die Anwendung der γ -Strahlen mit ihrer außerordentlichen Durchdringungsfähigkeit kann bei entsprechender Preiswürdigkeit der radioaktiven Präparate wirtschaftlich interessant werden. Man wird jedoch, auch wenn die bisher vorliegenden wissenschaftlich-technischen Schwierigkeiten aus dem Weg geräumt sind, Isotope für industrielle Zwecke nicht sofort in großem Maßstab einsetzen können, da die nach den bisherigen Schätzungen erforderlichen Isotopenmengen in den nächsten Jahren noch nicht verfügbar sein werden.

Nachteilig bei der γ -Strahlen-Sterilisierung ist die zur Erreichung der erforderlichen Dosis von 2 Mill. r benötigte lange Bestrahlungszeit. Auch die Unmöglichkeit, die Strahlung „abzustellen“ ist nicht bequem.

Die γ -Strahlen geben bisher die einzige Möglichkeit, Lebensmittel in größeren Packungen zu sterilisieren. So ermöglicht die 10-Kilocurie- γ -Quelle der Universität von Michigan z. B. ganze Schinken in Nr. 10 Weißblechdosen zu sterilisieren. Die stärksten in Deutschland verfügbaren Gesamtaktivitäten von Co^{60} bewegen sich gegenwärtig um 3 Curie. Eine solche Anlage, die von der Fa. Seiffert in Hamburg gebaut wird und der Bundesforschungsanstalt von der Herstellerin für Versuchszwecke vor kurzem zur Verfügung gestellt wurde, darf ich Ihnen zum Schluß zeigen (Abb. 5). Wir sind froh, zunächst schon damit einige eigene Versuche durchführen zu können und so auch eigene Erfahrungen zu sammeln.

Meine Damen und Herren! Ich hoffe, Ihnen einen kurzen Einblick in die Problemstellung und die Situation auf einem modernen Gebiet der Lebensmittelkonservierung gegeben zu haben. Mehr hierüber hoffen wir in absehbarer Zeit berichten zu können.

Moderne Methoden der Nahrungsmittelverarbeitung¹⁾

Von Professor Dr. Dr. W. Diemair
Univ.-Institut für Lebensmittelchemie, Frankfurt/Main

Die fortschreitende Industrialisierung und die zwangsläufig mit der Zusammenballung großer Menschenmassen in den Städten eingetretene Massenverköstigung hatte starke Eingriffe in die Ernährungsweise zur Folge. Das durch ausgewogene Ernährungsgewohnheiten bedingte ursprüngliche „physiologische“ Gleichgewicht und der „biologische Rhythmus“ ist gestört worden, wenn man bedenkt, daß man „im Essen nur mehr eine Unterbrechung des Arbeitsprozesses sieht, die man schnell hinter sich bringen muß, damit um so mehr Zeit für Kino, Tanzsaal und Sportplatz bleibt“. Ist damit nicht eine Entwicklungsrichtung vorgezeichnet, die besorgniserregend ist? Wird es aber nicht zugleich selbstverständlich, daß der moderne Mensch nicht mehr mit Handmühlen im Haushalt das Brotmehl gewinnen und im eigenen Garten naturgedüngtes Gemüse ziehen kann?

Dies muß mit aller Deutlichkeit herausgestellt werden, will man nur einen allgemein verständlichen Einblick in die Technologie der Lebensmittel bringen und einen durch die Zeitnot bedingten skizzenhaften Querschnitt. Es ist ein solcher Überblick um so reizvoller, als man geneigt ist, die technische Gewinnung der Lebensmittel und die sich von der ursprünglichen Art wegbewegenden Verfahren für eine große Zahl moderner Zivilisationskrankheiten verantwortlich zu machen. Man bedenkt hierbei allerdings zu wenig, daß die Ernährung zwar einen nicht unwesentlichen Faktor unseres Lebens darstellt, aber nur einen, und daß daneben die gesamten Umweltbedingungen (Lärm, Arbeitstempo, verschmutzte Luft, biophysikalische Einwirkungen die sichtbare Abkehr von den bisherigen Lebensgewohnheiten) auch in die Betrachtung einbezogen werden müssen. Man bedenke einmal, wenn nachgewiesenermaßen Tausende von Menschen im Jahr durch falsche Ernährung zugrundegehen, wie dies durch den Verkehrstod erfolgt (1953 = 951 im Monat), welche Anwürfe gegen die Verantwortlichen für die Ernährung erhoben würden, oder wenn täglich 15 Menschen in der Bundesrepublik das Leben durch gesundheitlich bedenkliche Lebensmittel einbüßen müßten, wie dies an Arbeitsplätzen laut Statistik der Fall ist. Vielleicht wird

¹⁾ Auszug aus einem Vortrag, der am 24. April 1954 anlässlich des 1. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Ernährung in Mainz gehalten wurde.



Prof. Dr. H. Kraut
Dortmund, Rheinlanddamm 20f

MAINZER KONGRESSVORTRÄGE 1954
DER
DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNG
FRANKFURT A. M.

DEUTSCHES GESUNDHEITS-MUSEUM
ZENTRALINSTITUT FÜR GESUNDHEITSERZIEHUNG E. V.
KÖLN A. RH.