

Konservierung von Lebensmitteln und Sterilisierung von medizinischen und pharmazeutischen Produkten

Von H. MOHLER

Physikalisch-Chemisches Institut der Universität Basel

In der westlichen Welt, der Welt des Überflusses, so auch in der Schweiz, ist der Trend nach vorfabrizierten oder industriell erzeugten Lebensmitteln, dem der Wunsch nach «convenience foods» zugrunde liegt, unverkennbar. Der aus Amerika stammende Begriff «convenience» ist nicht leicht in die deutsche Sprache zu übersetzen. Unter «convenience foods» stellt man sich im allgemeinen Produkte vor, die wie Trockenkartoffeln, Trockensaucen, Bouillonpräparate und bestimmte Trockensuppen oder Instant-Kaffee und Instant-Tee nach Übergießen mit heißem Wasser tischfertig sind, im besonderen zählt man dazu sogenannte «Quick-Serve-Meals».

Im Grunde genommen ist dieser Begriff umfassender¹, denn man erwartet von einem «convenience food» folgende Eigenschaften: bequemer Einkauf und Transport, einfache Lagerung, schnelle und einfache Zubereitung ohne Zutaten, bereits eingeteilte Portionen in Verpackungen, die direkt aufgewärmt auf den Tisch gegeben und nachher weggeworfen werden können.

Bei diesem Trend ist es ohne weiteres verständlich, daß solche Produkte als leicht verderblich und Intoxikationen ausgesetzt sorgfältig fabriziert werden müssen. Deshalb diskutieren wir zuerst einige grundsätzliche Fragen des Lebensmittelverderbs und der Lebensmittelvergiftung.

1. Lebensmittelverderb und Lebensmittelvergiftung

Tierische und pflanzliche Stoffe unterliegen bekanntlich dem Verderb, dessen Ursache in drei Gruppen eingeteilt werden kann²:

- mikrobieller Verderb, d.h. Verderb durch Mikroorganismen (Bakterien, Schimmelpilze, Hefen usw.);
- enzymatischer Verderb, d.h. Verderb durch Stoffwechselvorgänge im lebenden oder absterbenden Zellgewebe, die von Enzymen gesteuert werden;
- abiotischer Verderb, d. h. ein Verderb ohne Beteiligung von Lebenserscheinungen, wie sie in den beiden ersten Gruppen auftreten und die deshalb als abiotische Verderbsarten bezeichnet werden. Abiotische Vorgänge können chemischer oder physikalischer Natur sein. Chemisch verläuft z.B. die nichtenzymatische Bräunung und die autokatalytisch vor sich gehende Oxydation von Glyceriden der mono- und polyolefinischen Fettsäuren. Ein typischer physikalischer abio-

¹ G. D. BOYD, *Activities Report of the U.S. Armed Forces Food and Container Institute* 14 (1962) 200.

² H. STREULI, *Mitt. Lebensm. Hyg.* 51 (1960) 166.

tischer Verderb ist das Zerreißen von Fleischzellen beim langsamen Gefrieren. Mit diesen, der Abrundung des Problems dienenden Hinweisen verlassen wir den abiotischen Verderb und wenden uns dem biotischen Verderb zu, da bei dessen Bekämpfung ionisierende Strahlen mit klassischen Verfahren in Konkurrenz treten. Im folgenden behandeln wir mikrobiellen und enzymatischen Verderb getrennt.

1.1. Mikrobieller Verderb³

Beim mikrobiellen Verderb muß das Bestreben nicht nur dahin gehen, die Haltbarkeit des Produktes zu verbessern, sondern auch die gesundheitsschädigenden Mikrobenarten, und zwar die pathogenen und die Toxin produzierenden Spezies, auszuschalten, die durch Infektion oder Intoxikation zu einer «Lebensmittelvergiftung» führen könnten.

Die beiden wichtigsten bakteriellen Lebensmittelintoxikationen sind Botulismus oder Wurstvergiftung, verursacht durch ein von *Clostridium botulinum* produziertes Toxin, und die Erkrankung durch das Toxin von *Staphylococcus aureus*.

Bei den Lebensmittelinfektionen unterscheidet man zwei Typen, nämlich 1. pathogene Organismen, für welche Lebensmittel kein eigentliches Nährmedium darstellen, wie die Erreger von Tuberkulose, Diphtherie, Typhus, Bangsche Krankheit, Cholera usw. sowie 2. pathogene Organismen, die sich in Lebensmitteln stark vermehren, wozu vor allem *Salmonella* und *Streptococcus faecalis* zählen, und die im Gegensatz zu der ersteren Gruppe eine eher explosionsartige Ausbreitung der Infektion im menschlichen Organismus bewirken.

1.1.1. Intoxikationen

Das saprophytische, sporenbildende und anaerobe *Cl. botulinum*, das in verschiedenen Stämmen auftritt und vor allem in der Erde anzutreffen ist, erzeugt ein Exotoxin von außerordentlicher Giftigkeit (schon Mengen von einem Gamma wirken für einen Erwachsenen stark toxisch). Es ist als Protein thermolabil, aber gegen die Enzyme des Verdauungstraktus widerstandsfähig. Zu seiner Inaktivierung wird aus Sicherheitsgründen empfohlen, verdächtige Lebensmittel bei Siedetemperatur mindestens 15 Minuten zu erhitzen. In saurem Medium ($pH < 4,5$) und bei Temperaturen unter $10^{\circ}C$, je nach Stamm auch bei höheren Temperaturen, unterbleibt die Toxinbildung. Der Stamm *E* soll sich jedoch selbst bei Temperaturen von $5^{\circ}C$ und darunter vermehren⁴. Zur völligen Zerstörung der Sporen sind folgende

Bedingungen einzuhalten: bei $100^{\circ}C$ 360 Minuten, bei $120^{\circ}C$ 4 Minuten Erhitzung.

Ein ziemlich hitzebeständiges Enterotoxin wird von *Staphylococcus aureus* gebildet. Hierher gehören auch *Escherichia coli* und das sporenbildende, anaerobe *Clostridium perfringens* (WELCHII), welches nach Genuß von gekochtem Fleisch (oder gekochten fleischhaltigen Speisen), das bei Zimmertemperatur über Nacht oder länger gelagert wurde, Darmstörungen verursachen kann. Der ebenfalls sporenbildende, jedoch aerobe *Bacillus cereus*, der in stärkehaltigen Produkten wächst, kann ebenfalls zu Erkrankungen führen.

1.1.2. Infektionen

Pathogene Organismen, die sich in Lebensmitteln ohne Sporenbildung stark vermehren, sind, wie erwähnt, *Salmonella* und *Streptococcus faecalis*. Schließlich ist auf die durch Schweinefleisch übertragene Trichinose hinzuweisen.

1.1.3. Andere Lebensmittelschädlinge

Nicht nur durch Mikroorganismen, die im Lebensmittel selbst enthalten sind, kann ein Verderb eintreten, die Zerstörung der Lebensmittel kann auch durch Fraß von Insektenlarven (Maden, Raupen), durch Käfer und Milben erfolgen, wobei die ekelerregende Wirkung oft ausschlaggebend ist als der eigentliche Substanzverlust⁵. Dennoch sind die dadurch entstehenden Einbußen an Lebensmitteln äußerst groß, hat man doch errechnet, daß mehr als ein Fünftel aller auf der Erde angebauten Lebensmittel verlorengehen und nie auf den Tisch gelangen, sondern Insekten, Nagetieren, Pflanzenkrankheiten und anderen schädlichen Einflüssen zum Opfer fallen. Nach Angaben der FAO wurden im Jahre 1959 10 % der Weltproduktion an Getreide auf diese Weise vernichtet⁶.

1.2. Enzymatischer Verderb⁷

Über die Rolle der Bakterien beim Verderb von Lebensmitteln steht heute ein reiches Tatsachenmaterial zur Verfügung. Weniger Erfahrung besitzt man mit Enzymen. Man weiß, daß ihre Wirkung mit dem Absterben der Zelle nicht aufhört und die Enzyme ohne vorherige Hitzebehandlung, Trocknen, Gefrierlagerung oder Strahlenkonservierung die Zelle abbauen. Diese zur Bildung von Kohlensäure und Wasser führenden autolytischen Vorgänge ermöglichen auch Aktivitäten von Enzymen in Trockenprodukten (z. B. Hydrolasen), die schließlich das Zellgewebe verflüssigen. Erst seit etwa zwanzig Jahren weiß man, daß bei der Behandlung von Lebensmitteln nur dann haltbare Produkte erzielt werden, wenn eine ausreichende Inaktivierung bestimmter Enzyme

³ W. C. FRAZIER, *Food Microbiology*, McGraw-Hill Book Company, New York/Toronto/London 1958; E. B. DEWBERRY, *Food Poisoning*, Leonhard Hill, London 1959; B. SCHMIDT, Hygiene in der Großverpflegungsküche, in K. LANG, *Hygienische Probleme bei Gewinnung, Verarbeitung und Vertrieb von Lebensmitteln*, Verlag Steinkopff, Darmstadt 1961.

⁴ C. F. NIVEN, *Report of the European Meeting on the Microbiology of Irradiated Foods* (FAO and International Association of Microbiological Societies, Paris 20–23 April 1960), Rome 1961.

⁵ R. HEISS, *Anleitung zum Frischhalten der Lebensmittel*, Springer-Verlag, Berlin 1945.

⁶ H. MOHLER, *Mitt. Lebensm. Hyg.* 52 (1961) 526.

⁷ H. MOHLER, *Mitt. Lebensm. Hyg.* 49 (1958) 406; M. LUBIENIECKA-V. SCHELLHORN, *Z. Lebensm. Forsch.* 112 (1960) 382, 116 (1962) 349.

stattgefunden hat. Nach der Inaktivierung können sich Enzyme regenerieren.

In neuerer Zeit zeichnet sich eine Forschungsrichtung ab, die ihre Aufgabe nicht mehr in der wahllosen Zerstörung der Enzyme in Lebensmitteln, sondern in der isolierten Hemmung der zum Verderb dieser Produkte führenden Enzyme sieht, im übrigen aber bestrebt ist, Enzyme nach Möglichkeit in den Dienst der Ernährungsindustrie zu stellen. Ein Beispiel möge dies illustrieren.

1.21. Aromabildende Enzyme

Die charakteristischen Aromastoffe von frischen Früchten und Gemüsen sowie von anderen frischen tierischen oder pflanzlichen Produkten werden durch Stoffwechselprozesse erzeugt, und man nimmt an, daß sie aus anderen chemischen Substanzen gebildet werden, die man Aroma-Vorläufer (flavor precursors) nennt. Diese Substanzen sind wieder aus anderen Stoffen (pre-precursors) gebildet worden, so daß man sich eine Kette von Reaktionen vorstellen kann, die mit Kohlendioxyd, Sonnenlicht, Wasser und Mineralstoffen beginnt und durch enzymatische Reaktionen ermöglicht wird. Oft sind Enzyme für einzelne Reaktionen der ganzen Aroma-Vorläufer aufbauenden und Aromastoffe bildenden Kette sehr spezifisch. Das gesamte Aroma eines Lebensmittels setzt sich dann aus mehreren Komponenten zusammen, von denen jede für ihre Biosynthese einen besonderen Aroma-Vorläufer und ein besonderes Enzymsystem benötigt⁸. Daraus ergibt sich, daß lebensmitteltechnologische Prozesse so zu lenken sind, daß Substanzen, die zur Neubildung von Aromastoffen erforderlich sind, erhalten bleiben.

2. Sterilisierung und Pasteurisierung⁹

Wir wenden uns nun nochmals dem mikrobiellen Problem zu. Wenn wir den Begriff «steril» (im Sinne von keimfrei) auf ein einzelnes Objekt beziehen, so ist es entweder steril oder nicht. Nehmen wir aber z. B. 1000 Ampullen, die zum Zwecke der Sterilisierung in einem Wasserbad erhitzt wurden, und ist nachher auch nur eine einzige Ampulle nicht steril, so kann das Bad nicht als steril bezeichnet werden, obschon es 999 sterile Ampullen enthält. Andererseits ist es nicht sehr sinnvoll, ein Bad, das auf 1000 Ampullen 999 sterile Ampullen enthält, als nicht steril zu bezeichnen.

2.1. Sterilisationsgrad

Zur Behebung dieser Schwierigkeiten führte man, vor allem für die Belange der Ernährungsindustrie, den Begriff «Sterilisationsgrad» ein, den man dem «Kontaminationsgrad» gegenüberstellt. Ersterer beträgt in un-

serem Beispiel 0,999, letzterer 10^{-3} , was 10^{-3} Keime pro Ampulle oder 1 Keim pro 10^3 Ampullen entspricht. Die erforderliche Sterilisationsdosis hängt in starkem Maße vom zulässigen Kontaminationsgrad, aber auch vom angestrebten Sterilisationsgrad ab. Das Verhältnis dieser beiden Größen, also Keimgehalt vor der Behandlung zu Keimgehalt nach der Behandlung, nennt man «Inaktivierungsfaktor». Um z. B. 10^3 Keime/g auf 10^{-3} Keime/g zu reduzieren, ist eine dem Inaktivierungsfaktor von 10^6 entsprechende Dosis erforderlich.

2.2. Faktoren D , z und F^{10}

Der heute am meisten gebräuchliche Ausdruck zur Charakterisierung eines Absterbeverlaufes von Mikroorganismen bei konstanter Temperatur ist die Dezimalreduktionszeit D , welche die erforderliche Zeit angibt, um 90 % der vorhandenen Mikroorganismen abzutöten. Zur Charakterisierung des Temperatureinflusses eines Absterbeverlaufes für einen bestimmten Prozentsatz (z. B. 90 %) der vorhandenen Mikroorganismen dient die Größe « z ». Sie bedeutet die notwendige Temperaturerhöhung, um D auf $1/10$ zu reduzieren. Ein weiterer Begriff ist der F -Wert, der die bei einer bestimmten Temperatur erforderliche Zeit angibt, um die ursprünglich vorhandenen Mikroorganismen soweit zu reduzieren, daß keine mehr nachgewiesen werden können. Er gilt in dieser Form auch für Enzyme. Die amerikanischen Konservembakteriologen verwenden einen genormten «Basis- F -Wert» für alle Fälle der Sterilisierung nicht-saurer Lebensmittel.

2.3. Pasteurisierung

Nach den bisherigen Ausführungen ist zur Haltbarmachung von Lebensmitteln offenbar nicht immer völlige Sterilisation erforderlich, besonders dann nicht, wenn nur eine begrenzte Lagerfähigkeit angestrebt wird; es genügt bisweilen die Pasteurisierung. Eine pasteurisierte, d. h. unter 80°C erhitzte Milch darf beim Verlassen des Erzeugungsbetriebes bis 25000 Keime/cm³ aufweisen, entwicklungsfähige pathogene Keime müssen aber unter allen Umständen fehlen. Pasteurisierte Milch ist auch bei Kühlung nur wenige Tage haltbar. Daneben kennt man die in zunehmendem Maße sich einbürgernde uperisierte (ultrapasteurisierte), völlig keimfreie Milch, die keimfrei abgefüllt, ohne Kühlung mehrere Wochen haltbar ist. Die in der Schweiz von der Berner Alpenmilchgesellschaft entwickelte Uperisation¹¹ ist ein kontinuierliches Durchflußverfahren, wobei die auf etwa 80°C vorgewärmte Milch durch direkte Dampf-injektion innerhalb des Bruchteils einer Sekunde auf

⁸ H. MOHLER, *Mitt. Lebensm. Hyg.* 49 (1958) 406.

⁹ C. O. BALL und F. C. W. OLSON, *Sterilization in Food Technology*, McGraw-Hill Book Company, New York/Toronto/London 1957; S. JEFFERSON, *Massive Radiation Techniques*, George Newness, London 1964.

¹⁰ M. LUBIENIECKA-V. SCHELLHORN, *Z. Lebensm. Forsch.* 116 (1962) 349; vgl. auch W. D. BIGELOW, The Logarithmic Nature of the Thermal Death Time Curves, in S. A. GOLDBLITH et al., *Introduction to Thermal Processing of Foods*, The Avi Publishing Company, Westport 1961.

¹¹ H. MOHLER, *Chimia* 6 (1952) 212.

etwa 150°C erhitzt und nachher sofort unter Vakuum auf 80°C abgekühlt wird.

3. Warum neue Haltbarkeitsverfahren?

Mit allem Recht darf man sich die Frage stellen, ob überhaupt ein Bedürfnis nach Strahlenkonservierung und Strahlenpasteurisierung bestehe und ob die vorhandenen Verfahren zur Haltbarmachung von Lebensmitteln den gestellten Anforderungen nicht genügen würden. Das Bestreben der Menschen, Lebensmittel vor dem Verderb zu bewahren, ist uralt, und die Lebensmittelkonservierung durch Wasserentzug kennt man seit biblischen Zeiten. Bisweilen wirkten hier auch kriegerische Ereignisse katalysierend. Die Schwierigkeiten in der Lebensmittelversorgung der Heere Napoleons führten zur Entdeckung von APPERT, Lebensmittel in hermetisch verschlossenen Behältern durch Hitze zu konservieren. Ähnliche Schwierigkeiten der USA in Korea intensivierten die Lebensmittelbestrahlung. Beide Epochen bezeichnet man als Marksteine der Lebensmitteltechnologie.

Zur Beurteilung der Frage, ob es überhaupt sinnvoll ist, sich mit ionisierenden Strahlen zu befassen, werfen wir einen kurzen Blick auf die in der Ernährungsindustrie heute wichtigsten Haltbarmachungsverfahren, nämlich Trocknung, Tiefkühlung und Erhitzung in hermetisch verschlossenen Behältern (Konserven).

3.1. Trocknungsverfahren

Hier ist eine große Reihe von zurzeit angewandten oder in Entwicklung begriffenen Verfahren anzuführen, die erkennen läßt, daß optimale Bedingungen offenbar noch nicht gefunden sind: Verfahren unter atmosphärischem Druck, das sind die üblichen Lufttrockner mit Einschluß der Zerstäubungstrockner, wozu auch der in Burgdorf stehende 70 m hohe Birsturm zählt, in welchem das zu trocknende Gut gegen einen von unten in den Turm eindringenden Strom trockener Luft zerstäubt wird; Verfahren unter Vakuum, einschließlich Gefrier-trocknung; Dehydrofreezing; chemische Entwässerung; Cold Nitrogen Drying und verschiedene kombinierte Verfahren¹².

Seit Jahren bearbeiten wir Tests zur Bewertung getrockneter Lebensmittel¹³, die weit über die lebensmittelpolizeilichen Anforderungen hinausgehen, wie organoleptischer Test (Aussehen, Geruch und Geschmack); Nährwert und Verdaulichkeit; hygienischer Test; enzymatische Aktivität; plasmolytischer Test; Sprödigkeitstest; oxydative Veränderung; Maillard-Reaktion; Sorptionsisotherme und kernmagnetische Resonanz.

¹² H. MOHLER, *Bewertung gefriergetrockneter Lebensmittel*, 5. Gefrier-trocknungstagung der Leybold-Hochvakuum-Anlagen, Köln 1962; *Dechema-Monographien* 46 (1963) 173; H. MOHLER und H. SULSER, *Chem. Ind. (London)*, 1964, 1291.

¹³ H. MOHLER, *Mitt. Lebensm. Hyg.* 52 (1961) 526.

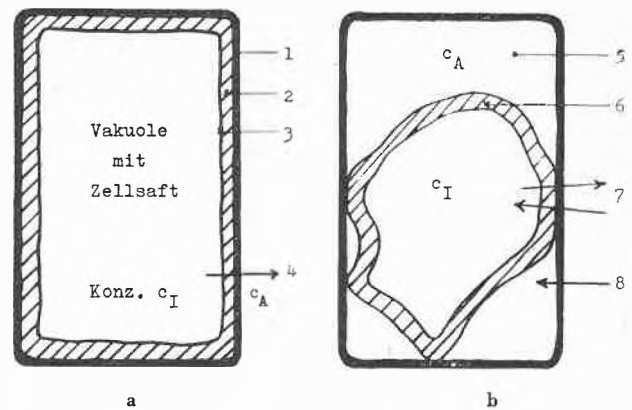


Abb. 1a. Pflanzelle im Normalzustand. 1 = Zellwand, holopermeabel; 2 = Zytoplasma; 3 = Tonoplastenhaut, semipermeabel; 4 = Wasser-austritt nach Interzellularraum mit Gewebesaft der Konzentration c_A , wenn $c_I < c_A$

Abb. 1b. Pflanzelle bei Plasmolyse. 5 = Plasmolyse-Vorraum; 6 = Zytoplasma, geschrumpft, zum Teil irreversibel geschädigt; 7 = Wanderung gelöster Stoffe; 8 = Gewebesaft

Wir greifen den plasmolytischen Test¹⁴ heraus, der uns mitten in die Probleme einer fortschrittlichen Lebensmitteltrocknung führt.

3.1.1. Plasmolytischer Test

Bei der üblichen Trocknung unter atmosphärischen Bedingungen werden infolge Zellschrumpfung, Verkrustung und Verhornung der Oberfläche, Verlust des Quellvermögens usw. bekanntlich schlecht rekonstituierbare Produkte erhalten. Mit dem plasmolytischen Test ist für pflanzliches Material in vielen Fällen die Möglichkeit zur Festlegung eines kritischen Trocknungsgrades gegeben, von dem an das Lebensmittel unter schonenden Bedingungen zu Ende getrocknet werden muß, wenn ein qualitativ zufriedenstellendes Produkt erhalten werden soll.

In Abb.1 sind Pflanzellen im Normalzustand und bei Plasmolyse dargestellt. Bei fortschreitender Entwässerung des Gewebes gehen durch Zellschrumpfung die semipermeablen Eigenschaften der Tonoplastenhaut verloren, und die charakteristischen Inhaltsstoffe der Zelle werden frei. Bei der Blanchierung mit heißem Wasser werden die gelösten Stoffe ausgewaschen, während bei der Blanchierung mit heißem Wasserdampf und nachfolgender Trocknung eine zentripetale Bewegung der Zellbestandteile eintritt. Sowohl der plasmolytische Test als auch die in dieser Ausführungsform Diffusionstest genannte Prüfmethode erlauben durch die quantitative Bestimmung frei gewordener Stoffe bestimmte Aussagen über strukturelle Veränderungen des Gewebes und damit über den Trocknungsmechanismus. Als Indikator für die Zellschädigung wählten wir das Kaliumion, das nach abgestuften Entwässerungen flammenphotometrisch bestimmt wurde.

Selbst die Festlegung des für eine optimale Lagerhaltung erforderlichen Wassergehalts bereitet Schwierigkeiten, da wir wissen, daß nicht der Wassergehalt als solcher, sondern die durch die Sorptionsisotherme¹⁵ dargestellte Funktion Wassergehalt zu relativer Feuchtigkeit zu berücksichtigen ist, kann doch das Wasser in einem Gut in verschiedener Form vorhanden sein, und zwar als monomolekularer Film, multimolekularer Film oder als Kapillarwasser, so daß Güter mit gleichem

¹⁴ H. SULSER und H. MOHLER, *Mitt. Lebensm. Hyg.* 55 (1964) 134.

¹⁵ A.A. HOFER und H. MOHLER, *Mitt. Lebensm. Hyg.* 53 (1962) 274; Diss. A.A. HOFER, Universität Basel 1962.

Wassergehalt verschiedene Dampfdrücke aufweisen können und in Mischgütern, die zusammen hermetisch verschlossen gelagert werden müssen, ein unerwünschter Wasseraustausch zwischen den einzelnen Komponenten stattfinden kann¹⁶.

3.2. Tiefkühlung

Die Tiefkühlung als die modernste Art der Lebensmittelkonservierung macht sich die Tatsache zu Nutzen, daß bei tiefer Temperatur die Tätigkeit der Mikroorganismen und die Wirkung der Enzyme praktisch zum Stillstand kommen. Die Lebensmittel werden durch die Kältebehandlung jedoch nicht steril, weshalb in der Tiefkühlindustrie ein neuer Zweig der Bakteriologie, der sich mit den psychophilen (kältetoleranten) Mikroorganismen¹⁷ befaßt, besonders wichtig geworden ist. Von einem Tiefkühlprodukt wird verlangt, daß, angefangen bei der sachgemäßen Kältebehandlung über Verpackung, Lagerung und Transport, die vorgeschriebenen Richtlinien für die sogenannte Tiefkühlkette eingehalten werden. Die großen Vorzüge der Gefrierkonservierung liegen darin, daß die Lebensmittel, vor allem Obst und Gemüse, ihre Farbe, Form, Geruch und Geschmack weitgehend bewahren, d. h. in einem frischwertigen Zustand in ihrer Ganzheit erhalten bleiben. Andererseits birgt dieses Verfahren die große Gefahr der Lebensmittelvergiftung in sich, wenn die Tiefkühlkette unterbrochen und aufgetautes Gut gelagert wird.

3.3. Dosenkonservierung

Die Konservierung mittels Hitzesterilisierung, die vor rund 150 Jahren durch N. APPERT¹⁸ begründet wurde, fand als erste Konservierungsart Eingang in die Industrie, nachdem Überdruckbehälter und maschinell verschließbare Blechdosen als große technische Fortschritte verfügbar geworden waren. Auf Grund der in mehr als einem Jahrhundert gesammelten Erfahrung der Dosensterilisierung gilt noch heute diese Technik für alle anderen Konservierungsverfahren als Standard. Diese Industrie steht der Anwendung ionisierender Strahlen begrifflicherweise noch reserviert gegenüber¹⁹. Die Dosensterilisierung eignet sich für viele Lebensmittel, da sie einen sicheren Schutz vor dem Verderben bietet. Ihre bekannten Nachteile sind das Verkochen, die oft mangelhafte Erhaltung von Farbe, Aroma und Nährwert, weshalb sie z. B. zur Konservierung ganzer Mahlzeiten vielfach nicht in Betracht kommt. Auf die chemische Konservierung sei lediglich hingewiesen.

¹⁶ H. MOHLER, *Dechema-Monographien* 46 (1963) 173.

¹⁷ G. BORGSTROM, *Advances in Food Res.* 6 (1955) 163; K. STOLL, *Mitteilungen der Eidgenössischen Versuchsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau in Wädenswil*, Flugschrift Nr. 59, Juli 1962; S. C. PRESCOTT und W. L. UNDERWOOD, *Micro-organisms and Sterilizing Processes in the Canning Industries*, in S. A. GOLDBLITH et al., *Introduction to Thermal Processing of Foods*, The Avi Publishing Company, Westport 1961.

¹⁸ S. A. GOLDBLITH et al., *loc. cit.* 17.

¹⁹ W. A. MERCER und J. W. RALLS, *Isotopes Rad. Technol.* 1 (1964) 245; *Annual Report by National Cannery Association Research Foundation*, Washington, February 1963.

Tabelle 1. Eindringungsvermögen von γ - und Elektronenstrahlen in Wasser

Strahlen	Energie in MeV	Eindringungstiefe cm etwa
Co-60	1,1 und 1,3 γ	10
Cs-137	0,66 γ	7,5
Elektronen	1	0,5*
Elektronen	2	1,0
Elektronen	3	1,5

* Für eine gleichmäßige Ionisation von 60% beträgt die Eindringtiefe nur etwa 0,33 cm.

4. Wirkung ionisierender Strahlen

In der Ernährungsindustrie interessieren heute nur Elektronenstrahlen und durch elektromagnetische Schwingungen erzeugte Energien, vor allem die Gammastrahlen von Co-60 und Cs-137, deren Wirkung nicht verschieden ist, sofern von der Materie die gleiche Dosis absorbiert wird, was beim Bestrahlen von biologischen Systemen innerhalb weiter Grenzen für beide Strahlenarten unabhängig von ihrer Energie zu gelten scheint. Dagegen kann die Strahlenwirkung von der Dosisleistung abhängig sein.

Gamma- und Elektronenstrahlen zeigen ein unterschiedliches Eindringungsvermögen (Tabelle 1), das für erstere um einen Faktor von rund 20 günstiger ist. Es ist charakteristisch, daß die durch Elektronenstrahlen hervorgerufene maximale Ionisierung eines Materials nicht etwa an der Oberfläche, sondern erst bei einer bestimmten Tiefe erfolgt. Für einen 1-MeV-Elektronenstrahl liegt sie für Wasser (Dichte = 1 g/cm³) bei 1,7 mm. An der Oberfläche beträgt die Ionisierung nur 60%. Der gleiche Effekt wird in einem Abstand von 3,3 mm erreicht, so daß mit einem Elektronenstrahl der Energie von 1 MeV etwa eine Schicht von 3,3 mm Material der Dichte 1 g je cm³ behandelt werden kann. Bei zweiseitiger Bestrahlung (cross-firing) ließe sich jedoch eine Schicht von 8 mm durchstrahlen²⁰.

4.1. Erythembildung

Verfolgt man die Wirkung verschiedener Strahlungen zunehmender Energie auf biologisches Gewebe, z. B. die Erythembildung auf der menschlichen Haut, so läßt sich zeigen, daß für die strahlenbiologische Reaktion offenbar der Ionisationsvorgang entscheidend ist. Ionisierte Atome sind bekanntlich außerordentlich reaktionsfähig²¹.

²⁰ Näheres siehe H. MOHLER, *Chemische Reaktionen ionisierender Strahlen*, Verlag Sauerländer, Aarau/Frankfurt am Main 1958.

²¹ F. WACHSMANN, *Die radioaktiven Isotope und ihre Anwendung in Medizin und Technik*, Bern 1954; F. DESSAUER und K. SOMMERMEYER, *Quantenbiologie*, Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1964.

4.2. Treffertheorie²¹

Eine weitere interessante Feststellung ist zu machen, wenn wir der Frage nachgehen, wie viele Ionisationen in einer Zelle zur Auslösung einer bestimmten biologischen Wirkung erforderlich sind. Dabei geht man von der Annahme aus, daß nur ein kleines Volumen im Bakterienleib für die Abtötung des Bakteriums maßgebend sei. Eine einzige Ionisation (oder ein anderer Quanteneffekt) innerhalb dieses Volumens wird als «Treffer» und die darauf beruhende Theorie als «Treffertheorie» bezeichnet. Die Treffervolumina sind klein und zeigen eine lineare Ausdehnung von 10 bis 300 Å. Man nimmt auch Zwei- und allgemein Mehrtreffervorgänge an.

Neben den Treffereffekten sind Sekundärreaktionen in Rechnung zu stellen, die Änderungen in den einzelnen Molekülen und Molekülverbänden auslösen. Im besonderen ist auf die radiologische Zersetzung des in biologischem Material fast immer vorhandenen Wassers unter Bildung von reduzierend und oxydierend wirkenden Spaltprodukten Rücksicht zu nehmen. Außerdem sind Umwandlungen in den angewandten Strahlenarten zu berücksichtigen, indem Photonen der Gammastrahlen Sekundärelektronen auslösen, während bei Anwendung von Elektronenstrahlen im bestrahlten Objekt beim Auftreffen auf geeignete Targets sekundär neben Elektronen auch Photonen entstehen. Schließlich ist die Bremsstrahlungswirkung bei Gammastrahlung zu berücksichtigen.

4.3. Letale Dosis

Im allgemeinen ist die letale Dosis um so größer, je kleiner der Organismus ist²². Nach Tabelle 2 ist die Strah-

Tabelle 2. Angenäherte Letalitätsdosen verschiedener Organismen und zur Erzielung bestimmter Effekte bei Anwendung von Beta- oder Gammastrahlen benötigte Dosen

Organismen bzw. beabsichtigte Effekte	Letalitätsdosis bzw. benötigte Dosis
Menschen und höhere Tiere	500 bis 1000 rad
Keimungshemmung (Kartoffeln, Zwiebeln, Karotten)	5 bis 40 krad
Schädlingsbekämpfung in Getreide	25 bis 40 krad
Trichinenbekämpfung	15 bis 30 krad
Insekten und Insekteneier	25 bis 100 krad
Pasteurisation von Lebensmitteln	0,1 bis 1 Mrad
Vegetative Formen von Bakterien (mit Ausnahmen)	0,1 bis 1 Mrad
Hefen und Schimmelpilze (asporogene)	0,1 bis 1 Mrad
Bakteriensporen	0,1 bis 5 Mrad
Lebensmittelsterilisation	3 bis 5 Mrad
Vireninaktivierung	1 bis 15 Mrad
Enzyminaktivierung	2 bis 10 Mrad

²² J. KUPRIANOFF und K. LANG, *Strahlenkonservierung und Kontamination von Lebensmitteln*, Verlag Steinkopff, Darmstadt 1960; J. KUPRIANOFF, *Handbuch der Kältetechnik*, Band 10, Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1960.

lenresistenz der Sporen 2000 bis 4000 mal so hoch wie diejenige für Menschen. Vegetative Formen der Bakterien werden im allgemeinen mit einer Bestrahlungsdosis von 0,1 bis 0,5 Mrad abgetötet. Hefen und Schimmelpilze benötigen bis zu 1 Mrad, Sporen bis zu 5 Mrad. Zur Zerstörung von 99,99 % des Toxins von *Cl. botulinum* bedarf es 9 Mrad. Besonders hohe Dosen sind auch zur hinreichenden Inaktivierung von Enzymen erforderlich (bis 10 Mrad).

Die Festlegung einer erforderlichen Dosis hängt von der gestellten Aufgabe ab. Besteht bei einem Produkt die Möglichkeit einer Infektion mit *Cl. botulinum*, so wäre die Sterilisationsdosis für den strahlenresistentesten Stamm dieser Mikrobenart die erforderliche Minimaldosis, die zwischen 4 und 5 Mrad liegt. Zur Eliminierung von *Salmonella* in Trocken- oder Gefriererei genügen dagegen Dosen von 0,3 bis 0,7 Mrad, wobei andere unschädliche Keime allenfalls nicht abgetötet werden, das Produkt somit nur pasteurisiert ist.

4.4. Energetische Verhältnisse

Wir schließen einige energetische Überlegungen an.

$$1 \text{ Mrad} \triangleq 10^8 \text{ erg/g und}$$

$$1 \text{ erg} \triangleq 2,389 \cdot 10^{-8} \text{ cal} \triangleq 2,78 \cdot 10^{-14} \text{ kWh,}$$

folglich ist 1 Mrad rund 2,4 kcal/kg oder rund 2,8 Wh/kg, d.h. Wasser von Zimmertemperatur würde durch 1 Mrad nur um 2,4°C erwärmt, daher der Ausdruck «Kaltsterilisation».

Für die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der Strahlenbehandlung von Lebensmitteln ist es wichtig zu wissen, welche Dosen zur Erzielung bestimmter Effekte nötig sind. So werden zur Enzyminaktivierung bis 10 Mrad oder etwa 30 Wh/kg benötigt, während zur Keimungsverhinderung pflanzlicher Produkte (z.B. Kartoffeln) nur etwa 0,01 Mrad oder etwa 0,03 Wh/kg erforderlich sind.

Wir interessieren uns ferner für die Anzahl der durch eine bestimmte Strahlendosis veränderten Moleküle und nehmen für G (=beteiligte Moleküle pro 100 eV) den Wert 3,3 und für M (=Molekulargewicht) den Wert von 300 an, dann läßt sich auf Grund der Gleichung:

$$1 \text{ Mrad} \triangleq 0,625 \cdot 10^{20} \text{ eV/g}$$

berechnen, daß 1000 Mrad nötig sind, um im Mittel eine einzige chemische Bindung pro Molekül zu ändern oder mit 1 Mrad würde in 1000 Molekülen nur eine einzige Bindung beeinflusst²³. Die durch die Bestrahlung in der Größenordnung von 1 Mrad ausgelösten chemischen Effekte sind also äußerst bescheiden, dennoch genügen sie in vielen Fällen, um die Anwendung ionisierender Strahlen in der Lebensmittelindustrie in Frage zu stellen.

²³ H. MOHLER, *Chemische Reaktionen ionisierender Strahlen*, Sauerländer, Aarau/Frankfurt am Main 1958.

Tabelle 3. In Bearbeitung stehende Bestrahlungsverfahren und ihre erforderlichen Dosen

Verfahren	Ursache des Verderbs	Dosis (Mrad)
Sterilisierung von Fleisch (Lagerung bei Raumtemperatur)	Bakterien (besonders <i>Cl. botulinum</i>)	4 bis 5
Sterilisierung besonderer Nahrungsmittelzusätze, z. B. Gewürze	Bakterien (vegetative und sporenbildende)	1 bis 3
Verlängerung der Lagerfähigkeit im Kühlschrank von Fleisch, Fisch usw.	Bakterien (vegetative)	0,05 bis 1
Lagerung von Früchten	Schimmelpilze	0,1 bis 0,5
Vertilgung von Mikroorganismen, z. B. in gefrorenen Eiern, Fleisch, Kokosnüssen	Salmonellen	0,5 bis 1,0
Ungeziefervertilgung in Getreide	Insekten	0,02
Lagerung von Wurzelgemüse, z. B. Kartoffeln, Zwiebeln	Keimung	0,01
Vertilgung von Parasiten in Fleisch	<i>Trichinella spiralis</i> <i>Cysticercus bovis</i>	0,01

5. Heutiger Stand der Lebensmittelbestrahlung

Unseren Diskussionen legen wir das rad (radiation absorbed dose) bzw. das Millionenfache, das Megarad (Mrad), zugrunde und unterteilen die heute in Bearbeitung stehenden, in Tabelle 3 zusammengefaßten Verfahren in drei Gruppen²⁴, nämlich solche mit

- hohen Dosen: 2 bis 5 Mrad
- mittleren Dosen: 0,05 bis 1 Mrad
- niedrigen Dosen: < 0,05 Mrad,

wobei sich allgemeine Gesichtspunkte ableiten lassen.

5.1. Verfahren mit hohen Dosen

5.11. Sterilisationsdosis

Hier handelt es sich um die Standardisierung der besonders vom U.S. Army Quartermaster Corps angestrebten Sterilisierung von Fleisch und Fleischwaren. Als Testorganismus wurde *Cl. botulinum*²⁵ gewählt und festgelegt, daß zu seiner Abtötung in nichtsaurem Medium 4,5 Mrad erforderlich sind. Dabei ging man von der Annahme aus, daß zur Reduktion des *D*-Wertes um eine Einheit eine Dosis von $3,5 \cdot 10^5$ rad und zur Reduktion um 12 Einheiten, d. h. von 10^{12} auf 10^0 , $4,2 \cdot 10^6$ rad erforderlich sind. Da eine *D*-Einheit den Bakteriengehalt um 90 % reduziert, sind 13 Dezimaldosen erforderlich,

²⁴ F. J. LEY, Report of the Meeting on the Wholesomeness of Irradiated Foods (FAO, WHO, IAEA, Brussels 23–30 October 1961), Rome 1962; S. JEFFERSON, Massive Radiation Techniques, George Newness, London 1964.

²⁵ E. C. DICKSON, Botulism, in S. A. GOLDBLITH et al., Introduction to Thermal Processing of Foods, The Avi Publishing Company, Westport 1961.

damit kein Mikroorganismus überlebt²⁶. Eine Bestrahlungsdosis von 4,5 Mrad gilt nun in den USA allgemein als Sicherheitsdosis.

5.12. Rindfleisch

In einem mit 4,5 Mrad bestrahlten Rindfleisch werden nur 50 % des Kathepsins zerstört. Die verbleibenden 50 % des proteolytisch wirksamen Enzyms greifen Eiweiß an, setzen Aminosäuren frei und verursachen unerwünschte Textur-, Geruchs- und Geschmacksveränderungen, auch die Farbe wird ungünstig beeinflusst. Durch Gaschromatographie und Massenspektroskopie wurden in bestrahltem Rindfleisch 41 verschiedene Komponenten identifiziert, und immer noch verbleiben 20 zu identifizierende Verbindungen, die bei der Bestrahlung dieses Fleisches entstehen und nachteilig in Erscheinung treten²⁷. Ein mit 4,5 Mrad bestrahltes Rindfleisch ist somit zwar steril, jedoch infolge unvollständiger Enzyminaktivierung nicht genügend haltbar. Man ist dabei, das Problem der nichtthermischen Enzyminaktivierung in Angriff zu nehmen, z. B. mit Mikrowellen, um die Nachteile der Blanchierung zu umgehen, bleibt aber vorerst auf dieses Verfahren angewiesen. In England wird studiert, unerwünschte Geruchs- und Geschmackskomponenten von mit einer Sterilisationsdosis bestrahltem Fleisch durch Aktivkohle, die in die Verpackung gegeben wird, zu adsorbieren²⁸. Auch wird geprüft, ob nicht für bestimmte Produkte mit weniger als 4,5 Mrad die erwünschte Haltbarkeit erzielt werden kann.

Unbeschadet dieser Schwierigkeiten beabsichtigt die U.S. Army im Verlaufe der kommenden Jahre u. a. um die Zulassung folgender, mit 4,5 Mrad bestrahlter Produkte nachzusuchen: Hühnerfleisch, Schweinefleisch, Schinken, Shrimps und Rindfleisch.

5.13. Speck

Günstig liegen die Verhältnisse bei Speck. Die U.S. Food and Drug Administration bewilligte im Februar 1963 ein Gesuch des U.S. Army Radiation Laboratory in Natick um Zulassung zum menschlichen Konsum von in Scheiben geschnittenem, roh in Büchsen abgefülltem Speck, der mit 4,5 Mrad (Co-60) bestrahlt worden war. Bestrahlter Speck ist bei Zimmertemperatur 24 Monate und bei etwa 35 °C 16 Monate lagerfähig. Dieses Ereignis wurde wie folgt kommentiert²⁹: «Except for canning, developed approximately 150 years ago, radiation processing is the only completely new method of processing

²⁶ C. F. SCHMIDT, Report of the European Meeting on the Microbiology of Irradiated Foods (FAO, International of Microbiological Societies, Paris 20–23 April 1960), Rome 1961; E. E. DEAN und D. L. HOWIE, Activities Report of the U.S. Armed Forces Food and Container Institute 15 (1963) 174.

²⁷ E. WIERBICKI, Activities Report of the U.S. Armed Forces Food and Container Institute 15 (1963) 160.

²⁸ D. N. RHODES, Bull. Irrad. Aliments 4 (1964) Nr. 3, A 8.

²⁹ E. S. JOSEPHSON, Activities Report of the U.S. Armed Forces Food and Container Institute 15 (1963) 67, vgl. auch S. 8; ferner E. WIERBICKI, loc. cit.

foods developed since the dawn of history». Es sind nun ausgedehnte Verpflegungsversuche mit Truppen im arktischen, tropischen und normalen Klima geplant. Auch mit einem 5-MeV-Linearakzelerator bestrahlter Speck und mit nicht mehr als 5,6 Mrad absorbierter Dosis wurde von der FDA genehmigt, und Versuche mit mehr als 5 MeV sind im Gange.

5.2. Verfahren mit mittleren Dosen

Bei Fleisch, Fisch, Früchten und Gemüsen erwies sich die Strahlenpasteurisierung als zusätzliches Verfahren zur Verlängerung der Haltbarkeit kühl (nicht gefroren) gelagerter Lebensmittel. Auf die Bestrahlung von Eiern zur *Salmonella*-Vernichtung wurde bereits hingewiesen. Bei Gefriereiern ist dies heute das einzige Pasteurisierungsverfahren, das ohne Auftauen der gefrorenen Eier erfolgreich ist.

5.21. Fleisch und Fische

Seit 1957 arbeitet das «Danish Meat Research Institute» in Roskilde, das über eine 1500-Curie-Co-60-Quelle und einen 10-MeV-Linearakzelerator verfügt, am Problem der Haltbarmachung von Fleisch und Fleischprodukten durch ionisierende Strahlen. Nachdem Schinken mit 5 Mrad zwar völlig sterilisiert werden konnte, jedoch mit Auftreten eines starken *off-flavor*, gelang es, bei gesalzenem Schinken in Büchsen durch Erhitzung auf 65 bis 75°C mit 0,5 Mrad kommerzielle Sterilisierung zu erzielen. Das Produkt zeigte gute Textur und Farbe, aber immer noch einen schwachen *off-flavor*, der durch Zusatz von 500 p.p.m. Vitamin C etwas behoben werden konnte. Die Versuche sind noch nicht abgeschlossen. Die Bestrahlungskosten werden bei einer Kapazität von 20 000 t/Jahr und unter Verwendung von Co-60 auf 6,5 Rp./kg geschätzt, die Elektronenbestrahlung beträgt etwa die Hälfte davon³⁰.

Kürzlich wurde eine amerikanisch-kanadische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Bestrahlung von Poulets mit 250 000 bis 750 000 rad zur Verlängerung der Lagerfähigkeit bei -1 bis +10°C bekanntgegeben³¹.

In den USA macht die Radiopasteurisierung von Meeresfischen große Fortschritte, und man hofft, in etwa drei Jahren das kommerzielle Stadium erreicht zu haben. Im Vordergrund stehen Kabeljau, Schellfisch usw. Die Bestrahlungskosten sollen auf etwa 9 Rp./kg und weniger gesenkt werden³². Für diese Versuche steht eine

300 000-Curie-Co-60-Quelle in Aussicht. Das gleiche Problem wird auch in verschiedenen anderen Ländern bearbeitet³³.

5.22. Früchte

Über die Verwendung ionisierender Strahlen zur Haltbarmachung von Obst und Weinbauerzeugnissen liegt ein Literaturbericht von E. STUTZ vor³⁴. Zur Bestrahlung von Frischkonsumfrüchten mit dem Ziele, deren Lagerzeit beim Verteilen zu verlängern, genügen Dosen zwischen 0,1 bis 1 Mrad. Mit 0,1 bis 0,2 Mrad bestrahlte Trauben hielten sich bei 5°C während vier Wochen in verkäuflicher Qualität. 0,3 Mrad und mehr wirkten sich bereits ungünstig auf die Farbe aus. Mit 0,25 Mrad bestrahlte Sauerkirschen zeigten geringere Verderbnis als niedriger oder höher bestrahlte Proben. Bemerkenswert ist der Befund, daß zu starke Bestrahlung (0,5 Mrad) die Infektionsfähigkeit infolge Strahlungsschäden wiederum erhöht. Diese Beobachtung konnte nicht bei allen Sorten gemacht werden. Mit 0,3 Mrad bestrahlte Süßkirschen waren weniger anfällig auf Fäulnis als unbestrahlte. Bei 0,5 Mrad wurden ungünstige organoleptische Veränderungen festgestellt. Äpfel (z. B. Sorte Golden Delicious) wiesen nach Bestrahlung mit 0,05 bis 0,1 Mrad nur geringe Verderbnis während der Lagerung über ein Jahr bei 1° bis 4°C im Vergleich zu Kontrollproben auf. Von Einfluß auf die Strahlenwirkung kann auch die Zeitspanne zwischen der Ernte und der Bestrahlung sein. Mit Elektronenbestrahlung (1 MeV) von rund 0,1 bis 0,3 Mrad wurde der Pilzbefall bei Äpfeln, die bei 0° bis 2°C gelagert wurden, nicht gehemmt. Es ist aber zu bemerken, daß die Resultate aus verschiedenen Laboratorien nicht immer eindeutig sind. Immerhin kann gesagt werden, daß Dosen von 0,2 bis 0,4 Mrad für die Bestrahlung von Frischkonsumfrüchten zur Verhütung rascher Fäulnis am kurzfristigen Lager günstig sind. Dabei ist zu berücksichtigen, daß schon Dosen von 0,03 Mrad die Gewebefestigkeit beeinträchtigen können. Bei Beerenobst wurde gefunden, daß Dosen von etwa 0,15 bis 0,2 Mrad bei vorgekühlten Früchten (8 bis 12°C) sich sehr gut auf die Haltbarkeit auswirken. Die Früchte müssen jedoch vor dem Bestrahlen bereits verpackt sein. Man ist daher auf Gammastrahlen angewiesen. Die Lagerdauer derart behandelte Beeren bei 2 bis 7°C beträgt 15 bis 20 Tage.

Ein gemeinsames Gesuch von U.S. Atomic Energy Commission (AEC) und U.S. Army zur Verlängerung der Lagerzeit frischer Orangen und Zitronen mittels pasteurisierend wirkender Dosen (75 000 bis 200 000 rad) Co-60-Strahlen wurde der FDA am 25. November 1963 eingereicht³⁵.

Von der U.S. Army wurde in Verbindung mit der AEC das Gesuch zur Freigabe von mit 0,3 Mrad bestrahl-

³⁰ PAUL-IVAR E. HANSEN, *Bull. Irrad. Aliments* 3 (1964) Nr. 3, A 10.

³¹ Schweiz. Vereinigung für Atomenergie (SVA), Bulletin Nr. 13/1964, S. 13.

³² *Nucleonics* 21 (1963) Nr. 11, p. 19; E. WIERBICKI, *loc. cit.*; B. E. PROCTOR, S. A. GOLDBLITH, J. T. R. NICKERSON und D. F. FARKAS, *Evaluation of the Technical, Economic, and Practical Feasibility of Radiation Preservation of Fish*, U.S. Atomic Energy Commission, April 1960; *U.S. Atomic Energy Commission Program on Radiation Preservation of Certain Fish and Fruits*, October 1962; J. W. SLAVIN, M. A. STEINBERG und TH. J. CONNORS, *Low-Level Radiation Preservation of Fishery Products*, U.S. Atomic Energy Commission, April 1963; E. MACHUREK, *Bull. Irrad. Aliments* 4 (1964) Nr. 4, A 2.

³³ D. N. RHODES, interner ENEA-Bericht SEN/IR (1963) 7; *Bull. Irrad. Aliments* 4 (1964) Nr. 4, A 9.

³⁴ E. STUTZ, *Schweiz. Z. Obst- und Weinbau* 72 (1963) 538; H. LÜCK und R. KOHN, *Dtsch. Lebensm.-Rdsch.* 55 (1959) 219.

³⁵ E. WIERBICKI, *loc. cit.*

tem Fruchtekompost (Aprikosen, Pflirsichen, Äpfeln und Pflaumen) gestellt³⁶.

Bei der Bestrahlung von Fruchtsäften wird vor allem die Hemmung der Hefen bezweckt, die je nach Stamm bei 0,5 oder erst bei 2 Mrad (z.B. Weinhefe) inaktiviert werden.

5.23. Weizen

Die FDA hat am 23. August 1963 einem Gesuch, Weizen und Weizenprodukte zum Schutz vor Verderb mit 50000 rad zu bestrahlen, entsprochen. Dieses Gesuch ist sehr verständlich, wenn man bedenkt, daß 10% der Weltproduktion an Getreide durch Insekten, Nagetiere und Pilze vernichtet werden. Das Gesuch wurde von L. E. BROWNELL, Universität Michigan, der sich auf Forschungsunterlagen der U.S. Army stützte, eingereicht³⁷.

5.24. Cellulose

Durch Einwirkung ionisierender Strahlung kann bei Vegetabilien eine Erweichung hervorgerufen werden, ein Effekt, der nach Versuchen mit reiner Cellulose, die mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung an der Universität Basel durchgeführt wurden, durch ein Anfärbeverfahren erfaßt werden kann³⁸. Als Strahlenquelle stand eine Hectocurie-Co-60-Quelle zur Verfügung³⁹.

5.3. Verfahren mit niedrigen Dosen

Hierher gehört vor allem die Bestrahlung von Kartoffeln zur Verhinderung der Keimung, worüber wir in bezug auf die Anwendung ionisierender Strahlen in der Ernährungsindustrie gegenwärtig die größte Erfahrung besitzen. Rußland produzierte schon 1960 für den Konsum bestimmte bestrahlte Kartoffeln, während die Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL) bald darauf folgte. Über die kanadischen Versuche liegen in Einzelheiten gehende Publikationen vor⁴⁰, auf die wir nun eintreten werden.

5.31. Bestrahlung von Kartoffeln

Die ersten kanadischen Versuche liegen etwa zehn Jahre zurück; sie liefen parallel mit ähnlichen Bemühungen in den USA, England, Rußland, Norwegen, Frankreich, Polen und Japan. Einem am 1. August 1960

³⁶ E. S. JOSEPHSON, *loc. cit.*

³⁷ L. E. BROWNELL, T. HORNE und W. J. KRETLOW, *Petition for the Use of Gamma Radiation to Process Wheat and Wheat Products for the Control of Insect Infestation*, July 1962.

³⁸ H. SULSER, H. MOHLER und H. LÜTHY, in Vorbereitung.

³⁹ H. LÜTHY und H. MOHLER, in Vorbereitung.

⁴⁰ Report on the Results of the Canadian Pilot Scale Potato Irradiation Program 1961-1962 Season by Atomic Energy of Canada Ltd., Commercial Products, Ottawa (Canada), in *Gamma Irradiation in Canada*, Vol. 3, März 1964, S. 42.

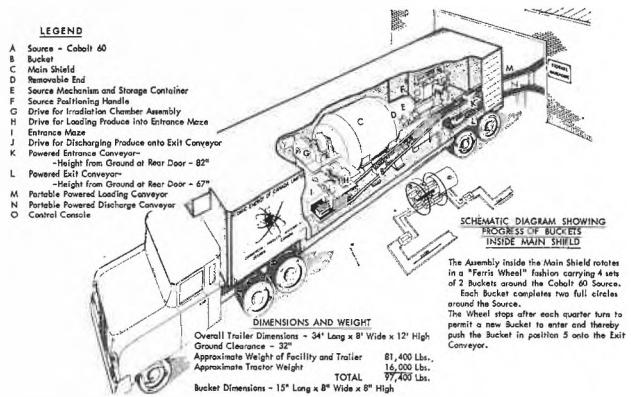


Abb. 2. Pilot-Bestrahlungsanlage für Kartoffeln der Atomic Energy of Canada Limited, Commercial Products Division

von der AECL dem kanadischen Directorate of Foods and Drugs unterbreiteten Gesuch, Kartoffeln, die nicht stärker als bis 10000 rad bestrahlt wurden, für den menschlichen Konsum freizugeben, wurde entsprochen. Nachdem Anfang 1961 die kanadischen Kartoffelproduzenten sich an einem solchen Versuch interessierten, wurde der Bau einer fahrbaren Bestrahlungsanlage beschlossen, die in der Ernte 1961 eingesetzt werden sollte. Die auf der Straße, der Schiene und dem Wasser transportierbare Pilot-Anlage (Abb. 2) ist 10,4 m lang und mit einer 18000-Curie-Co-60-Quelle ausgerüstet, die pro Stunde etwa 1 t Kartoffeln mit einer Dosis von 8000 rad zu bestrahlen vermag. Zur Applizierung dieser zur Verhinderung der Keimung der Kartoffeln genügenden Dosis wurden 4 Minuten benötigt. Insgesamt gelangten 357 t Kartoffeln zur Bestrahlung, die nachher in 26 Depots gelagert wurden. Die Keimung konnte während 4 bis 10 Monaten bei einer Lagertemperatur bis 27°C (80°F) verhindert werden. Die Kartoffeln kamen in verschiedensten Varianten, roh und verarbeitet, auf den Markt, ohne daß vom Konsumenten irgendwelche negativen Reaktionen erfolgt wären. Über die Bestrahlungskosten liegen, auch wenn man Unterlagen aus anderen Ländern berücksichtigt, keine endgültigen Berechnungen vor; sie dürften jedoch heute noch mindestens um ein Dreifaches höher liegen als die Kosten der chemischen Verfahren zur Sprossungsverhinderung, die in der Schweiz etwa Fr. 5.-/t betragen. Dabei ist in Rechnung zu stellen, daß solche Bestrahlungsanlagen nur drei bis vier Monate pro Jahr in Betrieb sind. Nach neuesten Mitteilungen der AECL wird die Bestrahlung von Kartoffeln in Kanada heute noch nicht kommerziell durchgeführt.

In Frankreich reichte die durch Initiative von P. VIDAL⁴¹ entstandene Gesellschaft «Conservatome» in Lyon der zuständigen Behörde ein Gesuch zur Bestrahlung von Kartoffeln ein, und in den USA gab die Food and Drug Administration kürzlich bestrahlte Kartoffeln für den Konsum frei.

⁴¹ P. VIDAL, *SVA-Bull.*, Nr. 10/1963, Beilage.

5.4. Forschungen in den USA

Die USA zeigen auf dem Gebiet der Bestrahlung von Lebensmitteln heute unzweifelhaft die größten Anstrengungen, und, wie an der International Conference on Radiation Research, die vom 14. bis 16. Januar 1963 im Forschungszentrum der U.S. Army in Natick (Mass.), durchgeführt wurde, zu vernehmen war, liegen die Anfänge zwanzig Jahre zurück. Seit 1953 befaßt sich im besonderen das U.S. Army Quartermaster Corps mit der Haltbarmachung von Lebensmitteln durch ionisierende Strahlen, die bald zu bemerkenswerten Resultaten führten, so daß ein großes Forschungszentrum in Stockton (Kalifornien) mit einer 2-Millionen-Curie-Co-60-Anlage und einem 30-MeV-Linearakzelerator zur Bestrahlung großer Mengen von Lebensmitteln geplant wurde. Der Bau der Anlage wurde jedoch eingestellt, nachdem bei der Verfütterung bestrahlter Lebensmittel an Tiere Schäden beobachtet wurden und auch Fragen der Wirtschaftlichkeit und des Marketing noch ungenügend abgeklärt schienen. Es zeigte sich aber, daß die Fütterungsversuche unrichtig interpretiert wurden⁴² und gute Aussichten für die industrielle Anwendung der Strahlenkonservierung von Lebensmitteln bestehen würden.

Wie U. HOCHSTRASSER⁴³ und P. FEUZ⁴⁴ zeigten, laufen seit 1960 in den USA zwei Programme nebeneinander. Dasjenige der Armee konzentriert sich auf die Lebensmittelsterilisation (Radiosterilisation), während die U.S. Atomic Energy Commission (AEC) sich mit der Lebensmittelpasteurisierung (Radiopasteurisierung) befaßt. Der Armee sind folgende Probleme zugeteilt: 1. militärische Anwendung und Erforschung der Wirtschaftlichkeit von bestrahlten Lebensmitteln, 2. Abklärung der Gefahrlösigkeit solcher Lebensmittel, 3. Untersuchung von Lebensmitteln vor und nach der Bestrahlung, 4. Erforschung der Abtötung von Mikroorganismen, 5. Kerneffekte in Lebensmitteln, 6. Bewertung bestrahlter Lebensmittel, 7. Verpackungsstudien.

Zur Durchführung dieser Forschung wurde der Armee in Natick ein Bestrahlungslaboratorium mit einer 1,1-Millionen-Curie-Co-60-Quelle und einem 24-MeV-Linearakzelerator zur Verfügung gestellt⁴⁵.

Im Gegensatz zur Armee besitzt die AEC für ihr Bestrahlungsprogramm keine eigenen Forschungslaboratorien, sondern vergibt Aufträge an Hochschulen und andere Forschungsinstitutionen. Im Bericht von P. FEUZ⁴⁴, *Der Stand der Konservierung von Lebensmitteln mit ionisierenden Strahlen in den USA*, sind gegen vierzig solcher Verträge mit einem Kostenaufwand von \$1214250.- aufgeführt. Der Schwerpunkt der Forschung der AEC liegt auf der Pasteurisierung von Meeresfischen

und Früchten, um deren Haltbarkeit um einige Tage oder Wochen zu verlängern, in der Meinung, daß auf diesem Gebiet am ehesten kommerziell aussichtsreiche Projekte zu erzielen seien⁴⁶.

5.5. Forschungen in anderen Ländern

Über die Anstrengungen der Mitgliedstaaten der OECD auf dem Bestrahlungsgebiet orientiert ein Bericht⁴⁷ über die 5. Sitzung der Study Group on Food Irradiation der European Nuclear Energy Agency, die vom 14. bis 15. November 1962 in Paris abgehalten wurde und wo besonders die im Vergleich zu anderen Ländern geringe Aktivität der Schweiz auffällt. Über Forschungen in Finnland berichtete J. K. MIETTINEN⁴⁸, über Polen E. PIJANOWSKI⁴⁹, über Indien P. B. MATHUR⁵⁰, über Venezuela J. R. DIAZ⁵¹ und über Australien W. J. SCOTT⁵². Aus Rußland liegen fast keine Informationen vor. Sehr aktiv ist Japan.

6. Sterilisieren von medizinischen und pharmazeutischen Produkten⁵³

6.1. Allgemeine Bemerkungen

Die Hitzesterilisation und Gassterilisation, als die derzeit wichtigsten Verfahren, haben beide eng abgegrenzte Anwendungsbereiche, die sich nur wenig überschneiden. Zur Erzeugung vollkommener Sterilität ist die Erhitzung das sicherste Mittel. Temperaturempfindliche Objekte lassen sich aber nicht auf diese Weise behandeln; es sei hierbei an Kunststoffmaterialien und biologische Flüssigkeiten wie Seren erinnert. Bei Artikeln aus Kunststoffen kann man sich mit der Gassterilisation behelfen. Diese Methode ist jedoch nur dort anwendbar, wo es sich um Oberflächensterilisation handelt. Ohne auf die Technik der Gassterilisation näher einzutreten, soll hier erwähnt werden, daß die Sterilisation von Ampullen oder Tuben usw. nur durch Hitzesterilisation geschehen kann. Letztere Methode ist die wirtschaftlichere. In der pharmazeutischen Industrie werden für hitzelabile Präparate Sterilisationsmethoden, wie Filtration, Ultravioletbestrahlung und chemische Desinfektion, verwendet. Die erwähnten Methoden sind jedoch, abgesehen von

⁴⁶ J. E. MACHUREK, *Bull. Irrad. Aliments* 1 (1961) Nr. 4, A 3; 4 (1964), Nr. 4, A 2.

⁴⁷ *Bull. Irrad. Aliments* 3 (1963) Nr. 3, A 7.

⁴⁸ J. K. MIETTINEN, *Bull. Irrad. Aliments* 2 (1962) Nr. 4, A 3.

⁴⁹ E. PIJANOWSKI, *Bull. Irrad. Aliments* 3 (1962) Nr. 1 und 2, A 2.

⁵⁰ P. B. MATHUR, *Bull. Irrad. Aliments* 3 (1962) Nr. 1 und 2, A 10.

⁵¹ J. R. DIAZ, *Bull. Irrad. Aliments* 3 (1962) Nr. 1 und 2, A 11.

⁵² W. J. SCOTT, *Bull. Irrad. Aliments* 2 (1962) Nr. 4, A 4.

⁵³ The Use of Gamma Radiation Sources for the Sterilisation of Pharmaceutical Products, Report of a Working Party, *Ass. Brit. Pharm. Ind.*, London 1960; D. B. POWELL und B. A. BRIDGES, *Research* 13 (1960) 151; K. KAINDL und H. GAISCH, *Studientagung vom 19. und 20. September 1963 des Foratom und der SVA* (Schweizerische Vereinigung für Atomenergie); K. H. PETER, *Acta Medicotechnica* 10 (1962) 462, 512; S. JEFFERSON, *Massive Radiation Techniques*, George Newness, London 1964 (Bericht über die Forschungen der Irradiation Group in Wantage).

⁴² E. E. DEAN und D. L. HOWIE, *loc. cit.*

⁴³ U. HOCHSTRASSER, *SVA-Bull.*, Nr. 8/1960, Beilage; E. W. SCOTT, *Bull. Irrad. Aliments* 1 (1960) 8.

⁴⁴ P. FEUZ, *SVA-Bull.*, Nr. 16/1963, Beilage; W. B. LEVIN, *Bull. Irrad. Aliments* 2 (1961) Nr. 2, A 6.

⁴⁵ *Activities Report of the U.S. Armed Forces Food and Container Institute* 15 (1963) 3.

Vor- und Nachteilen, die von Fall zu Fall verschieden sind, in der Regel teuer, zeitraubend und erfordern sorgfältige Kontrolle.

Gegenüber diesen Methoden ist die Strahlensterilisation universell anwendbar. Bei Verwendung von Gamma-Strahlung, wie sie etwa Co-60 liefert, kann man beliebiges Material in beliebiger Verpackung sicher «kaltsterilisieren». Unter den meisten Bedingungen ist eine Sterilisationsdosis von 2,5 Mrad für pharmazeutische und medizinische Produkte ausreichend. Diese Zahl basiert auf der Annahme einer Reduktion der Keimzahl um 7 bis 8 Größenordnungen, gemessen an *Cl. sporogenes*. Diesen Organismus wählte man wegen seiner relativ hohen Strahlenresistenz als Testobjekt.

Als Strahlenquellen kommen wie in der Ernährungsindustrie Gamma- und Elektronenstrahlen in Frage. Die Dosisleistung hat einen Einfluß auf die Strahlenempfindlichkeit der Mikroorganismen, doch wählt man für die Bestrahlung derart weite Toleranzen der Dosierung, daß bei der technischen Anwendung dieser Einfluß vernachlässigt werden kann. Die meisten industriellen Anlagen mit Co-60-Quellen arbeiten mit einer Dosisrate von etwa 10^5 bis $5 \cdot 10^6$ rad/h. Folgende Zahlen ermöglichen eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Strahlensterilisation: Unter der Annahme einer Dosis von 2,5 Mrad und einem Durchsatz von 2,5 Millionen kg bestrahltes Gut pro Jahr sowie einer 10prozentigen Abschreibung der Anlagekosten ergibt sich ein Preis von 25 Rp./kg.

6.2. Immunologie

Auf dem Gebiet der Immunologie mag sich die ionisierende Strahlung nützlich erweisen für folgende Zwecke:

- Sterilisierung von mikrobiellen Vakzinen
- Sterilisation von mikrobiellen Antigen-Komplexen und chemischen Vakzinen (auch während der Präparation)
- Herstellung von Vakzinen durch Strahleninaktivierung lebender Mikroorganismen
- Sterilisierung von Antiseren

Die hierüber publizierten Arbeiten, auf die im einzelnen nicht eingegangen werden kann, berichten von Erfolgen und Mißerfolgen. Doch werden durch zukünftige Untersuchungen manche gegenwärtigen Schwierigkeiten beseitigt werden können.

6.3. Biologisches Gewebe

Biologische Gewebe sind bekanntlich schwierig zu sterilisieren, und die verwendeten Methoden stellen oft einen Kompromiß dar zwischen dem maximal erreichbaren Sterilitätsgrad und dem tolerierbaren Minimum an Gewebeschäden. Da diese Gewebe normalerweise für chirurgische Zwecke verwendet werden, wofür der Standard der Sterilität hoch sein muß, lag es auf der Hand,

die Möglichkeiten der radiologischen Behandlung mit ihren Vorteilen, wie gute Penetration, leichte Sterilisierbarkeit, geringe Temperaturerhöhung, einer näheren Prüfung zu unterziehen. Die bisher erzielten Ergebnisse sind noch kaum befriedigend. Der rasch wachsende und erfolgreiche Gebrauch von künstlichen Ersatzarterien für Patienten, die an Gefäßkrankheiten leiden, dürfte sich hier in Zukunft eher durchsetzen. Hingegen scheint die Strahlensterilisation von gefriergetrocknetem Knochengewebe einige Erfolge zu verzeichnen.

6.4. Verschiedenes

Ein besonderer Vorteil der Strahlensterilisation zeigt sich bei klinischen Instrumenten und Apparaten, indem neue Materialien, die Weiterentwicklungen ermöglichen, auf schnellste Weise sterilisiert werden können. So wurden in angelsächsischen Ländern Plastikskalpelle entwickelt, die nur eine sehr schmale Stahlschneide besitzen, dem Arzt steril verpackt zur Verfügung stehen und nach Gebrauch weggeworfen werden, da ihr Preis sehr gering ist. Übereinstimmend wird berichtet, daß die Körperverträglichkeit von strahlensterilisierten chirurgischen Fäden ebenso gut ist wie von hitzesterilisiertem Material.

Soviel ist heute klar, daß die Zukunft der Strahlensterilisation medizinischer Produkte im industriellen Maßstab gesichert ist. Das gleiche läßt sich nicht sagen über die Zukunft dieser neuen Technik in Spitälern wegen der hohen Anschaffungskosten. Ein Faktor, der eine Verbilligung der Sterilisation im Rahmen des gesamten Produktionsganges bringen kann, beruht auf der leichten Automatisierbarkeit dieser Methode. Insbesondere Isotopenanlagen, z.B. Co-60, können wartungsfrei und durchlaufend arbeiten, da sich die mechanischen Teile auf ein Minimum reduzieren lassen und praktisch nur aus einem Fördermechanismus bestehen. Bei einer organisatorischen Umstellung in den derzeitigen Firmen könnten die versandfertig verpackten Produkte kontinuierlich sterilisiert werden. Die Sterilisation pharmazeutischer Produkte ist gegenwärtig noch nicht allgemein anwendbar, da die Voraussage, welchen Effekt die Bestrahlung auf ein bestimmtes Präparat haben wird, schwierig ist. Allgemein gesprochen wird eine Substanz, die als trockenes Pulver vorliegt, resistenter sein als in Lösung oder in Suspension. Für jedes Produkt sind im einzelnen Untersuchungen durchzuführen, ob nicht unerwünschte strahlenchemische Veränderungen auftreten.

Dieser Teil wurde in verdankenswerter Weise von Herrn Dr. H. SULSER, Zürich, bearbeitet.

7. Wholesomeness

Nicht ganz zutreffend wird der aus Amerika stammende Begriff «wholesomeness» mit «comestibilité» und «Bekömmlichkeit» übersetzt, aber selbst an dem von der FAO, WHO und IAEA vom 23. bis 26. Oktober 1961 in Brüssel durchgeführten «Meeting on the Whole-

someness of Irradiated Foods» konnte man sich nicht darüber einigen, was der amerikanische Begriff alles in sich vereinige. Unzweifelhaft steht nicht die kulinarische, sondern die biologische Bekömmlichkeit in Diskussion. In diesem Sinne ist ein bestrahltes Lebensmittel, das während längerer Zeit an Tiere verfüttert wurde, bekömmlich, wenn es nicht

- unbekannte Krankheiten hervorruft und bekannte Krankheiten fördert,
- die Lebensdauer verkürzt,
- die Wachstumsrate verringert,
- die Fruchtbarkeit und die Laktation beeinträchtigt.

Wir müssen uns mit diesen Angaben unter Hinweis auf den 1962 erschienenen Bericht über die Tagung in Brüssel und denjenigen von E. E. DEAN und L. H. HOWIE, *Safety of Food Sterilized by Ionizing Radiation*⁵⁴, begnügen und treten noch kurz auf die Frage der durch die Bestrahlung induzierten Radioaktivität ein.

7.1. Induzierte Radioaktivität

Hier ist die Bindungsenergie pro Nucleon maßgebend, die, abgesehen von den ganz leichten Kernen, etwa 8 MeV beträgt. Dieser Wert gibt die Grenze an, bis zu welcher wir gehen dürfen, wenn bei Versuchen mit energiereichen Strahlen nicht der Kern, sondern nur die Elektronenhülle beeinflusst werden soll. Nimmt man auf die Gamma-Neutron-Schwelle des Deuteriums (im natürlichen Wasser ist etwa 0,15 % schweres Wasser vorhanden) von 2,2 MeV Rücksicht, so kann auch durch den energiereichsten Co-60-Gammastrahl von 1,33 MeV keine induzierte Radioaktivität ausgelöst werden. Die durch Co-60 allenfalls mögliche isomere Aktivierung glaubt man vernachlässigen zu können. Nach neuesten Ergebnissen ist mit Elektronenstrahlen erst über 11,2 MeV induzierte Radioaktivität in Rechnung zu stellen. Dabei ist auf die natürliche Radioaktivität unserer Nahrung hinzuweisen⁵⁴.

7.2. Gesetzliche Bestimmungen

Die Anwendung ionisierender Strahlen zur Haltbarmachung von Lebensmitteln sowie zur Sterilisierung von Pharmaka und medizinischen Bedarfsartikeln ist grundsätzlich bewilligungspflichtig und untersteht der Verordnung über den Strahlenschutz vom 19. April 1963 sowie der jeweils gültigen Verordnung über den Verkehr mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen. Nach Art. 11, Abs. 1 dieser Verordnung dürfen Lebensmittel, welche einer physikalischen Behandlung unterworfen wurden, die geeignet ist, ihre physiologischen Eigenschaften oder die stoffliche Zusammensetzung zu ändern, erst in den Verkehr gebracht werden, wenn das Verfahren durch das Eidgenössische Gesundheitsamt als zulässig erkannt wurde. Bewilligungspflichtige Verfahren

dieser Art sind: die Behandlung mit ionisierenden Strahlen, Ultraviolettlicht, Ultraschall usw. Im übrigen sei auf die von K. SCHNYDER verfaßte Wegleitung verwiesen⁵⁵.

8. Schlußfolgerungen und Ausblick

Mit der vorliegenden Übersicht wurde keinesfalls ein Katalog der entwickelten oder in Vorbereitung befindlichen Bestrahlungsverfahren angestrebt*. Ihr Zweck liegt darin, die neuartige Konservierungsmethode mitten in die Probleme und Entwicklungstendenzen der Ernährungsindustrie zu stellen, um die Prüfung zu erleichtern, wo und allenfalls in welchem Umfange ionisierende Strahlen Anwendung finden könnten.

War die Nahrung ursprünglich lediglich Kalorien-spender und sollte sie später auch kulinarischen Ansprüchen genügen, so befinden wir uns nun in dem Stadium der «convenience foods», das zu einer Vielfalt neuer Produkte führt.

Nach amerikanischen Schätzungen sind etwa 8000 Lebensmittelartikel auf dem Markt, wovon die Hälfte erst seit 1950 entwickelt wurde, und man überlegt sich bereits die Menüplanung im Jahre 1980. Die U.S. Army berichtet über die ersten 100000 Fertiggerichte, die durch Vorkochen, Gefrieren, Dehydrieren, Gefrier-

⁵⁵ K. SCHNYDER, *SVA-Bull.*, Nr. 11/1964, Beilage; *SVA-Bull.*, Nr. 15/1964, S. 9.

* Wenig Erfahrung ist bis jetzt auf dem Gebiet der Milch und Milchprodukte zu verzeichnen. Im übrigen sei auf nachfolgende Literatur verwiesen: L. E. BROWNELL und S. N. PUROHIT, *High Radiopasteurization as a "New" Food Process*, U.S. Atomic Energy Commission, October 1955; R. S. HANNAN, *Scientific and Technological Problems Involved in Using Ionizing Radiations for the Preservation of Food*, Her Majesty's Stationery Office, London 1955; *Proceedings of the First Conference on the Application of Physical Sciences to Food Research, Processing, and Preservation, 15-16 March 1956*, Southwest Research Institute, San Antonio; *U.S. Army Panel Discussion on Radiation Preservation of Food, 17 April 1956*; H. MOHLER, Behandlung von Lebensmitteln mit ionisierenden Strahlen, *Mitt. Lebensm. Hyg.* 47 (1956) 387; *Radiation Preservation of Food*, U.S. Army Quartermaster Corps, 1 August 1957; *Symposium on Processing of Food with Ionizing Radiation, 26-27 September 1957*, Cambridge (England); Summary Report and Proceedings of the FAO European Meeting on the Use of Ionizing Radiations for Food Preservation, Harwell, 17-21 November 1958, *J. Appl. Rad. Isotopes* 6 (1959) 1; *The Preservation of Foods by Ionizing Radiations*, MIT International Conference 27-30 July 1959; N. W. DESROSIER, *The Technology of Food Preservation*, The Avi Publishing Company, Westport 1959; *Report of the European Meeting on the Microbiology of Irradiated Foods, Paris 20-23 April 1960*, Rome 1961; *Preservation of Food by Low-Dose Ionizing Energy*, Quartermaster Research and Engineering Center, Natick, January 1961; P. C. AEBERSOLD, *The U.S.A. Research Program on Low-Dose Radiation Processing of Food*, Honolulu Symposium 30 August 1961; *Report of the Meeting on the Wholesomeness of Irradiated Foods, Brussels 23-30 October 1961*, Rome 1962; *A Mobile Gamma Irradiator for Fruit Produce*, Associated Nucleonics Inc., Garden City (N.Y.), 31 May 1962; *Feasibility Study for a Transportable Electron Irradiator for Fruit Preservation*, Brookhaven National Laboratory, 30 June 1962; *Survey of Packaging Requirements for Radiation Pasteurized Foods*, Continental Can Company, New York 31 July 1962; *Radiation Pasteurization of Foods, Summaries of Accomplishment, Sec. Ann. Contr. Meeting, U.S. Atomic Energy Commission, 24-25 October 1962*; *Radiation Technology in Conjunction with Postharvest Procedures as a Means of Extending the Shelf Life of Fruits and Vegetables*, U.S. Atomic Energy Commission, *Ann. Rep. 1962/63*; G. R. DIETZ, *Development of Irradiation Facilities*, *Rep. 7-9 October, 1963*.

⁵⁴ E. E. DEAN und L. H. HOWIE, *loc. cit.*

trocknung oder durch Kombination verschiedener Verfahren hergestellt wurden, mit dem Ziel, aus jedem Soldaten einen «Küchenchef von Fertigmenschen» zu machen⁵⁶. In diese kombinierten Verfahren dürfte die Strahlenbehandlung eingebaut werden. Die Wissenschaftler sind durchaus in der Lage, sich eine vollkommene Nahrung vorzustellen, die automatisch hergestellt und verabfolgt wird, dabei äußerst stabil und schmackhaft ist. Tablettenfabrikanten werden weiterhin der Utopie nachjagen, perfekte Pillen oder Kapseln für diejenigen herzustellen, die keine Zeit mehr zum Essen haben. Die Supermärkte sollen in Zukunft mit motorisierten Kleinwagen für die Kunden versehen werden.

Wegen der rapiden Zunahme der Gemeinschaftsverpflegung dürften immer mehr Automatenrestaurants entstehen, ist doch schon heute Mangel an Bedienungspersonal. Damit entstehen neue Gefahrenmomente, denn ein infiziertes Lebensmittel in kollektiven Verpflegungsstätten fordert 100 oder 1000 mal mehr Opfer, als wenn es in einem einzelnen Haushalt abgegeben würde⁵⁷. Die ungenügenden Kellerräume in Privathäusern werden nach Lebensmitteln rufen, deren Lagerfähigkeiten unter normalen Bedingungen um einige Tage verlängert werden konnten. Hier hat die Strahlenpasteurisierung zweifellos eine Chance, ebenso bei der temporären Überproduktion an Beeren, Obst und Gemüse; Gleiches gilt für Fische. Eine wichtige Anwendungsmöglichkeit der Bestrahlung liegt auch bei uns auf dem Gebiet der Schädlingsbekämpfung, im besonderen bei Getreide.

Strahlensterilisation und Strahlenpasteurisierung sind technisch gelöst; in Diskussion steht die Wirtschaftlichkeit. Die Strahlensterilisation von chirurgischen Fäden, Watte, Injektionsspritzen für den einmaligen Gebrauch wird in den USA, Großbritannien und Deutschland bereits praktiziert⁵⁵. Auf Grund der aeroben Bedingungen entfällt die Gefahr des Botulismus, so daß relativ niedrige Strahlendosen genügen.

Die Strahlensterilisation von Lebensmitteln ist mit der Hypothek belastet, daß zwar sterile Produkte erhalten werden, die jedoch infolge unvollständiger Enzyminaktivierung ungenügend haltbar sind, und man deshalb auf Zusatzverfahren (Trocknen, Gefrieren, Dosenkonservierung und chemische Methoden) angewiesen ist, die, wie gezeigt wurde, noch in Entwicklung stehen. Daneben ist mit dem Auftreten von *off-flavor* zu rechnen, der vor allem in stark eiweißhaltigen Produkten nachteilig ist, dagegen bei stark fetthaltigen Lebensmitteln weniger stört, weshalb die Strahlensterilisation von Speck bereits gelöst ist.

Sterilisierte und pasteurisierte Produkte sind durch geeignete Verpackung vor Nachinfektion zu schützen. In absehbarer Zeit dürfte eine Reihe strahlenpasteuri-

sierter Lebensmittel auf dem ausländischen Markt erscheinen und an unsere Grenze gelangen.

Wenden wir uns abschließend der Frage zu, was in unserem Lande vorzukehren ist, so sind zivile und militärische Aspekte zu unterscheiden. Auf dem zivilen Sektor steht wie in den USA die Strahlenpasteurisierung für sich allein oder in Kombination mit anderen Verfahren im Vordergrund, allerdings in weniger starkem Maße, sind doch unsere Transportwege viel kürzer als in den Vereinigten Staaten. Die rapid zunehmende Gemeinschaftsverpflegung bildet auch bei uns ein Gefahrenmoment. Vergangenen Januar erkrankten von 40 Personen, die in dem bekannten Restaurant einer Schweizer Stadt ein gemeinsames Essen eingenommen hatten, deren 36, und in dem Bestandteil einer kalt servierten und bereits am Vortage zubereiteten Speise konnte fast eine Viertelmilliarde pathogener Streptococci nachgewiesen werden⁵⁸. Es dürfte ein ernstes Anliegen sein, zu prüfen, ob nicht durch die Strahlenpasteurisierung ein besserer Konsumentenschutz erzielt werden könnte.

Die Realisierung der Bestrahlung von Kartoffeln zur Sprossungsverhinderung wird in der Schweiz aus wirtschaftlichen Gründen vorerst zurückgestellt. Interesse dürfte die Bestrahlung von Beeren, Obst und Gemüse, sowie Fleisch, Fleischwaren und Getreide beanspruchen.

Beim Militär ist die tägliche Verpflegung von der langfristigen Lagerhaltung zu unterscheiden. In bezug auf letztere erscheint wie im zivilen Sektor die Strahlensterilisation in Konkurrenz zu den heute üblichen Verfahren, während für die Bereitstellung von Menüs die Strahlenpasteurisierung als Bestandteil kombinierter Haltbarmachungsverfahren in Frage kommen kann.

Forschungen auf dem Gebiet der *wholesomeness* sind für die Schweiz angesichts des bereits vorliegenden und ständig erweiterten Materials aus anderen Ländern keine vordringliche Forschungsaufgabe. Hingegen sollte auch unser Land über eine, allenfalls mobile, Pilot-Anlage zur Lebensmittelbestrahlung verfügen, weniger um mit Entdeckungen aufzuwarten, als vielmehr zur Vermeidung, daß wir auf diesem Gebiet auch jeden Anschluß an ausländische Bestrebungen verlieren. Die Initiative liegt bei der Industrie, wobei der Schweizerischen Vereinigung für Atomenergie eine wichtige Rolle zukommen dürfte. Durch die Bestellung einer Kommission mit Unterkommissionen ist das Problem noch nicht gelöst. Als Beispiel für ein zu einem raschen Ergebnis führendes Vorgehen könnte das Forschungszentrum der INRESCOR für makromolekulare Stoffe dienen, das in enger Verbindung mit Strahlenquellen bauenden Firmen steht. Allenfalls ließe sich dieses Institut für die Belange der Lebensmittelindustrie ausbauen.

Nachdem das einige Zeit gefährdete österreichische Seibersdorf-Projekt zur Bestrahlung von Früchten und Fruchtsäften nach einem letzten Bericht nun doch realisiert werden soll, wird die Schweiz erneut eine Zu-

⁵⁶ F. H. LEE, *Activities Report of the U.S. Armed Forces Food and Container Institute* 14 (1962) 44.

⁵⁷ R. BUTTIAUX und D. A. A. MOSSEL, *Ann. Inst. Pasteur Lille* 9 (1957) 138.

⁵⁸ H. LÜÖND und H. CASSER, *Mitt. Lebensm. Hyg.* 55 (1964) 144.

sammenarbeit mit Österreich in Erwägung ziehen müssen. Zu prüfen wäre schließlich, inwieweit das Conservatoire in Lyon oder die Forschungsstätte in Wantage (England) für die Schweiz dienstbar gemacht werden könnten.

Wir kommen zu folgenden Schlußfolgerungen: Der wesentliche Vorteil der Bestrahlung von Lebensmitteln, ohne Zusatzverfahren, besteht darin, daß das bestrahlte Gut wie bei der Tiefkühlung in seiner Ganzheit erhalten bleibt, jedoch sterilisiert wird, was bei tiefgefrorenen Gütern nicht der Fall ist. Nachteilig bleibt die unvollständige Enzyminaktivierung, die ein zusätzliches, das

Gut in seiner Ganzheit beeinträchtigendes Verfahren bedingt. Sollte dies mit einem anderen physikalischen Prozeß (z.B. mit Mikrowellen) möglich sein, so könnte die Bestrahlung mit der Tiefkühlkette in starke Konkurrenz treten. Jedenfalls dürfte sie als Bestandteil kombinierter Verfahren zur Haltbarmachung von Lebensmitteln eine nahe Zukunft besitzen. Ein weiterer Vorteil bestrahlter Güter ist ihre relativ einfache Lagerung. Gegenüber den Trocknungsverfahren zeigen lediglich bestrahlte Güter den Nachteil, daß unnötig große Wassermengen transportiert werden müssen. Aussichtsreich ist auch die Bestrahlung auf dem pharmazeutischen Sektor.