

## Verminderung von strahleninduzierten Vitamin-E- und -B<sub>1</sub>-Verlusten durch Bestrahlung von Lebensmitteln bei tiefen Temperaturen und durch Ausschluß von Luftsauerstoff\*

Johannes-Friedrich Diehl

Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Engesserstraße 20, D-7500 Karlsruhe 1, Bundesrepublik Deutschland

### Reduction of Radiation-Induced Vitamin Losses by Irradiation of Foodstuffs at Low Temperatures and by Exclusion of Atmospheric Oxygen

**Summary.** The protective effect of low temperatures during irradiation on vitamin B<sub>1</sub> and E levels in foods is not abolished by subsequent storage or heating. Egg powder irradiated at 1 Mrad in the presence of air and stored for 4 months at ambient temperature lost 68% of its thiamin content when irradiated at 20 °C, 33% when irradiated at –30 °C. Sunflower oil irradiated at 3 Mrad in the presence of air and subsequently heated for 1 hour at 180 °C lost 98% of its  $\alpha$ -tocopherol content when irradiated at 20 °C, 65% when irradiated at –30 °C.

Exclusion of atmospheric oxygen by packaging under nitrogen reduced the loss of  $\alpha$ -tocopherol in irradiated (0.1 Mrad) rolled oats after 8 months of storage from 56 to 5% and the loss of thiamin from 86 to 26%. Vacuum packaging was equally effective during the first 3 months and somewhat less effective during the following 5 months. Packaging under carbon dioxide showed no advantage over packaging in air. Sensory evaluation of rolled oats, raw or cooked, 1 and 3 months after irradiation with 0.1 Mrad indicated no significant quality difference between unirradiated and irradiated samples packaged under nitrogen.

**Zusammenfassung.** Die Schutzwirkung tiefer Temperaturen während der Bestrahlung auf die Erhaltung der Vitamine B<sub>1</sub> und E macht sich auch nach längerer Lagerung und nach dem Erhitzen der Lebensmittel bemerkbar. Mit 1 Mrad in Luftgegenwart bestrahltes und 4 Monate bei Raumtemperatur gelagertes Eipul-

ver verlor 68% seines Thiamingehaltes, wenn bei 20 °C bestrahlt, 33% wenn bei –30 °C bestrahlt wurde. Mit 3 Mrad in Luftgegenwart bestrahltes und dann 30 min auf 180 °C erhitztes Sonnenblumenöl verlor 98% seines  $\alpha$ -Tokopherolgehaltes, wenn bei 20 °C bestrahlt, 65% wenn bei –30 °C bestrahlt wurde. Ausschluß von Luftsauerstoff durch Verpackung unter Stickstoff verminderte den Verlust an  $\alpha$ -Tokopherol in bestrahlten (0,1 Mrad) und 8 Monate gelagerten Haferflocken von 56% auf 5% und den Thiaminverlust von 86% auf 26%. Vakuumverpackung war während der ersten 3 Lagermonate ebenso, während der folgenden 5 Monate etwas weniger wirksam. Verpackung unter CO<sub>2</sub> brachte gegenüber der Verpackung unter Luft keinen Vorteil. Die sensorische Bewertung von rohen oder gekochten Haferflocken 1 und 3 Monate nach Bestrahlung zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen unbestrahlten und mit 0,1 Mrad bestrahlten Proben, wenn diese unter Stickstoff verpackt waren.

Unter den wasserlöslichen Vitaminen gilt B<sub>1</sub>, unter den fettlöslichen Vitamin E als besonders empfindlich gegenüber ionisierenden Strahlen. Einige der Bedingungen, die den strahleninduzierten Verlust dieser Vitamine beeinflussen, waren Gegenstand früherer Veröffentlichungen [1–4]. Aus älteren Untersuchungen ist bekannt, daß sich strahleninduzierte Verluste an einigen Vitaminen durch Sauerstoffausschluß und durch Bestrahlung bei tiefen Temperaturen vermindern lassen. Unklar war allerdings bisher, ob dies nur dann gilt, wenn die Vitaminanalyse bald nach der Bestrahlung durchgeführt wird, oder ob sich die günstige Wirkung auf den Vitamingehalt auch unter praktischen Bedingungen, d. h. nach längerer Lagerung oder nach Erhitzen der bestrahlten Lebensmittel noch auswirkt.

\* Der Verfasser dankt Herrn D. Ehlermann für seine Unterstützung bei der Durchführung und Auswertung der sensorischen Analysen und Frau A. Schaffer für zuverlässige technische Assistenz

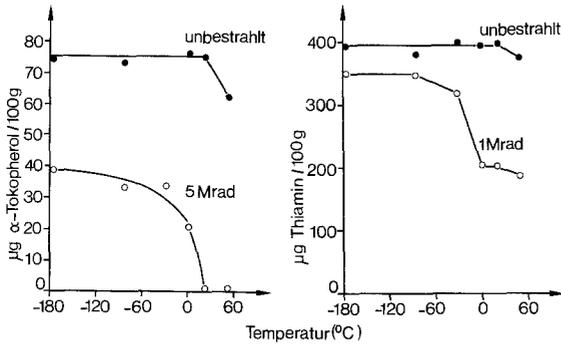


Abb. 1a u. b. Einfluß der Bestrahlungstemperatur auf den  $\alpha$ -Toko-pherolgehalt von Schweinehackfleisch und den Thiamingehalt von Trocken-Vollei. Bestrahlung unter Luftzutritt

**Material und Methodik**

*Vitamin-B<sub>1</sub>-Bestimmung.* Haferflocken mit Takadiastase, Trocken-Vollei mit Papain aufschließen. Nach Reinigung an Decalso-Säule Thiamin mittels Thiochrommethode nach A.O.A.C.-Vorschrift bestimmen [5].

*Vitamin-E-Bestimmung.* Haferflocken im Soxhletapparat mit Petrol-äther extrahieren. In der bereits beschriebenen Weise [2] den Extrakt verseifen, das  $\alpha$ -Tokopherol dünn-schichtchromatographisch isolieren und mittels Eisenchlorid-Dipyridyl-Reaktion bestimmen. Hackfleisch vor der Petrolätherextraktion gefrier-trocknen. Sonnenblumenöl direkt verseifen [2].

*Bestrahlungs- und Lagerungsbedingungen.* Soweit im folgenden Luft-ausschluß nicht ausdrücklich vermerkt, Lebensmittelproben (ca. 10 g) mit einem Luftvolumen von etwa 500 ml in Polyäthylenbeuten einschweißen, bestrahlen und lagern. Verpackung unter Stickstoff, Kohlendioxid oder Vakuum in gasdichten Polyäthylenterephthalat-beuteln. Flüssige Proben (Sonnenblumenöl) in Petrischalen in die Beutel geben. Die Beutel erst unmittelbar vor der Vitaminanalyse – oder soweit die Proben erhitzt werden (Abb. 2) unmittelbar vor dem Erhitzen – öffnen. Die Bestrahlung, soweit nicht anders angegeben, bei Raumtemperatur (etwa 20  $^{\circ}\text{C}$ ). Zur Einhaltung anderer Bestrah-lungstemperaturen die Proben auf die gewünschte Temperatur bringen (Gefriertruhe -30  $^{\circ}\text{C}$  oder Trockenschrank 50  $^{\circ}\text{C}$ ) und in Styro-porbehältern bestrahlen, oder auf Scherbeneis (0  $^{\circ}\text{C}$ ), Trockeneis (et-wa -80  $^{\circ}\text{C}$ ) oder flüssiger Luft (etwa -180  $^{\circ}\text{C}$ ) bestrahlen. Unbestrahlte Kontrollproben jeweils für die gleiche Zeit auf die gleiche Temperatur bringen – und auch sonst, abgesehen von der Bestrah-lung, möglichst genau so behandeln wie die bestrahlten Proben. Lagerung nach der Bestrahlung bei Raumtemperatur im Dunkeln.

*Strahlenquelle:* Linearbeschleuniger, 10 MeV-Elektronen. Einstel-lung der Strahlendosis mit Hilfe der Eisensulfat-Dosimetrie nach Fricke [6] durch Variation von Stromstärke und Bestrahlungsdauer, z. B. Dosis 25 krad: 40 mA, Bestrahlungsdauer 20 s, mittlere Impuls-dosisleistung 10<sup>9</sup> rad/s; Dosis 1 Mrad: 400 mA, Bestrahlungsdauer 80 s, mittlere Impulsdosisleistung 10<sup>10</sup> rad/s<sup>1</sup>.

*Sensorische Bewertung.* Die für die sensorische Bewertung vorgesehe-nen Haferflocken 500-g-weise entweder in unversiegeltem Polyäthyl-enbeutel, d. h. mit Luftzutritt, oder unter Stickstoff, Kohlendioxid oder Vakuum in versiegelten Polyäthylenterephthalatbeuteln be-strahlen und lagern. Sensorische Bewertung durch eine Prüfergruppe von 7–8 Personen. Die Haferflocken sowohl roh (Müsli) als auch ge-kocht (Haferschleim) bewerten.

Zubereitung als Müsli: 300 g Haferflocken mit 500 ml Wasser 17 Std einweichen. Nach Mischen mit 100 ml Sahne (15% Fettgehalt) und 500 g gewürfelten Bananen anrichten.

<sup>1</sup> Nach dem SI-System ist künftig die Dosiseneinheit Gray (Gy) zu verwenden, für die der Umrechnungsfaktor 1 Gy=100 rad gilt. 10 Gy=1 Krad, 10 kGy=1 Mrad

**Tabelle 1.** Einfluß der Bestrahlungstemperatur und der Lagerzeit nach der Bestrahlung auf den Thiaminverlust in Trocken-Vollei. – Strahlendosis: 1 Mrad. Thiamingehalt des unbestrahlten, nicht gelagerten Materials 0,39 mg/100 g. Bestrahlung und Lagerung unter Luftzutritt. Lagerung bei Raumtemperatur im Dunkeln

Temperatur bei der Bestrahlung	Lagerdauer in Monaten		
	0	2	4
20 $^{\circ}\text{C}$	48	56	68
-30 $^{\circ}\text{C}$	15	23	33

Als Haferschleim: 200 g Haferflocken und 50 Butter 5 min bei schwacher Hitze rösten, mit 1500 ml Wasser ablöschen. 30 min leicht kochen lassen, 2 g Kochsalz zugeben, durch Sieb passieren.

Die Proben verdeckt reichen, d. h. die Prüfer kennen die Behand-lung nicht. Zusätzlich offen eine aus frisch gekauften, unbestrahlten Haferflocken zubereitete Vergleichsprobe reichen. Die Prüfer einigen sich, diese Probe nach Geschmack, Geruch, Farbe und Konsistenz mit Note 8 zu bewerten (Karlsruher Bewertungsschema einer bewertenden Prüfung mit Skale: 1 = sehr schlechte, 9 = sehr gute Qualität). Prüfung auf Signifikanz gefundener Unterschiede nach dem *t*-Test.

**Ergebnisse**

Die in Abb. 1a und b dargestellten Ergebnisse zeigen die günstige Wirkung tiefer Bestrahlungstemperaturen auf die Erhaltung von Thiamin in Trocken-Vollei und von  $\alpha$ -Tokopherol in Schweinehackfleisch. Die Tempe-ratursenkung von 20  $^{\circ}\text{C}$  auf -30  $^{\circ}\text{C}$  wirkte sich in bei-den Fällen stärker aus als die weitere Senkung von -30  $^{\circ}\text{C}$  auf -180  $^{\circ}\text{C}$ .

Die diesen Abbildungen zugrunde liegenden Vit-aminanalysen wurden innerhalb von 24 Std nach der Bestrahlung ausgeführt. Aus Tabelle 1 ist ersichtlich, daß die günstige Wirkung der Tieftemperatur-Bestrahlung auf den Thiamingehalt von Trockenei auch wäh-rend viermonatiger Lagerung erhalten bleibt. Wie aus Abb. 2 hervorgeht, blieb bei einstündigem Erhitzen von Sonnenblumenöl auf 180  $^{\circ}\text{C}$  die günstige Wirkung der Tieftemperaturbestrahlung auf den  $\alpha$ -Tokopherolge-halt des Öls ebenfalls erhalten.

In der Abb. 3 wird die Wirkung unterschiedlicher Verpackungsatmosphären und die Wirkung des Erhit-zens auf den Vitamin-E-Gehalt, in Abb. 4 die Wirkung unterschiedlicher Verpackungsatmosphären auf den Vitamin-B<sub>1</sub>-Gehalt bestrahlter und unbestrahlter Ha-ferflocken gezeigt.

Die Beurteilung von Geruch und Geschmack in un-terschiedlichen Gasatmosphären bestrahlter und 1 oder 3 Monate gelagerter Haferflocken ist in Tabelle 2 dargestellt. Während die Benotungen der unter Stick-stoff verpackten Proben sich nach Bestrahlung nicht signifikant von unbestrahlten unterschieden, zeigten sich bei den anderen Verpackungsatmosphären nach einmonatiger (nicht jedoch nach dreimonatiger) Lage-rung deutlich negative Auswirkungen der Bestrahlung.



**Tabelle 2.** Sensorische Bewertung von in unterschiedlicher Atmosphäre verpackten bestrahlten (100 krad) oder unbestrahlten Haferflocken. Mittelwerte der von den Prüfern gegebenen Noten; 9 = sehr gut, 1 = sehr schlecht

Lagerzeit nach Bestrahlung	Verpackungsatmosphäre	Behandlung	Roh (Müsli)		Gekocht (Haferkleister)	
			Geschmack	Geruch	Geschmack	Geruch
1 Monat	Luft	Unbestrahlt	7,3	7,9	7,1	7,9
		Bestrahlt	5,7 <sup>a</sup>	6,9 <sup>a</sup>	5,4 <sup>b</sup>	6,6 <sup>b</sup>
	CO <sub>2</sub>	Unbestrahlt	7,3	7,7	6,9	7,6
		Bestrahlt	5,7 <sup>a</sup>	6,3 <sup>b</sup>	6,1	7,6
	Vakuum	Unbestrahlt	7,9	7,6	7,2	8,0
		Bestrahlt	5,5 <sup>b</sup>	5,7 <sup>a</sup>	6,6	7,8
3 Monate	Luft	Unbestrahlt	7,5	7,5	7,1	7,9
		Bestrahlt	6,7	7,1	6,7	7,9
	CO <sub>2</sub>	Unbestrahlt	7,6	7,8	6,0	7,0
		Bestrahlt	7,4	8,0	7,4 <sup>c</sup>	7,9 <sup>c</sup>
	Vakuum	Unbestrahlt	7,8	7,9	7,1	7,6
		Bestrahlt	7,9	8,0	6,3	7,1
Stickstoff	Unbestrahlt	Unbestrahlt	7,7	8,0	7,0	7,3
		Bestrahlt	7,0	7,9	7,0	7,6
	Bestrahlt	Unbestrahlt	8,0	8,0	7,1	7,7
		Bestrahlt	7,8	8,0	7,1	7,3

<sup>a</sup> „Bestrahlt“ signifikant schlechter als „unbestrahlt“ ( $P < 0,05$ )

<sup>b</sup> „Bestrahlt“ hoch signifikant schlechter als „unbestrahlt“ ( $P < 0,01$ )

<sup>c</sup> „Bestrahlt“ signifikant besser als „unbestrahlt“ ( $P < 0,05$ )

Nebenergebnis. Dagegen dürfte bei Anwendungen im niedrigen Dosisbereich, bei denen sich sensorische Veränderungen nicht bemerkbar machen, die Tieftemperatur-Bestrahlung – nur als Mittel verbesserter Vitaminerhaltung – zu aufwendig sein. Hier kommt eher der Ausschluß von Luftsauerstoff in Frage.

Die günstige Wirkung tiefer Temperaturen bei der Bestrahlung wird auf die eingeschränkte Beweglichkeit der beim Strahlendurchgang gebildeten primären Reaktionsprodukte zurückgeführt [13]. Nach dem „Spur“-Modell der Strahlenwirkung tritt die durch Gammastrahlen oder Elektronen induzierte Bildung von Elektronen, Ionenpaaren, freien Radikalen und angeregten Molekeln in Spurs auf, die einen Durchmesser von 20 Å haben. Die Spurs sind relativ weit voneinander entfernt (etwa 15000 Å). In der bei tiefen Temperaturen vorliegenden kristallinen, polykristallinen oder amorphen Festsubstanz ist die Viskosität so hoch und damit die Diffusion so stark eingeschränkt, daß die strahleninduzierten Primärprodukte nur in geringem Umfang mit den Molekeln der Matrix reagieren können und stattdessen vor allem miteinander, innerhalb der Spurs reagieren. Die vorliegenden Ergebnisse lassen darauf schließen, daß sich dieses Phänomen nicht nur in wasserreichen Systemen, z. B. Fleisch, auswirkt, sondern auch in wasserarmen, wie Speiseöl oder Trockenei.

#### *Bestrahlung unter Schutzgasen oder unter Vakuum*

In der frühen Literatur über Lebensmittelbestrahlung wurde dem Sauerstoffausschluß von einigen Autoren

große Bedeutung für die Qualitätserhaltung zugemessen [14, 15], während andere Autoren den praktischen Wert dieser Maßnahme für sehr begrenzt hielten [16] oder sogar über bessere Ergebnisse bei der Bestrahlung in Luftgegenwart berichteten [17]. Für die Erhaltung des Vitamin-E-Gehaltes von bestrahltem Fleisch wurde Luftausschluß als sehr wirksam befunden [18], während Thiamingehalte von in Luft oder Stickstoff bestrahltem Fleisch sich wenig unterschieden [10]. Bei dem Bestrahlen von Fischfilets erwies sich für die Erhaltung der sensorischen Qualität und die Vermeidung eines Anstiegs der Thiobarbitursäurezahl bei der Lagerung das Verpacken unter Vakuum oder Helium als günstig, während das Verpacken unter Stickstoff, Kohlendioxid, Luft oder Sauerstoff eine in dieser Reihenfolge zunehmende Verschlechterung bewirkte [19].

Die eigenen Untersuchungen über den  $\alpha$ -Tocopherol- und den Thiamingehalt von Haferflocken (Abb. 3 und 4) zeigen eine günstige Wirkung der Stickstoffatmosphäre und der Vakuumverpackung. Nach achtmonatiger Lagerung in Stickstoff oder Vakuum waren die Vitamingehalte in den bestrahlten Proben nicht geringer als in den unbestrahlten, unter Luftzutritt gelagerten Proben. Kohlendioxidatmosphäre zeigte gegenüber Luft keinen Vorteil. Die durch Erhitzen verursachten Tokopherolverluste (Vergleich der linken Hälfte von Abb. 3 mit der rechten Hälfte) waren bei den längere Zeit gelagerten Proben höher als bei den ungelagerten. Dies gilt zwar für unbestrahlte Proben ebenso wie für bestrahlte, ein Nacheffekt der Bestrahlung macht sich jedoch unter allen Lagerungsbedingungen bemerkbar: Der Unterschied im Vitamingehalt zwischen bestrahl-

ten und unbestrahlten Proben ist nach acht Monaten Lagerung fast immer größer als unmittelbar nach der Bestrahlung. Der vitaminschonende Effekt des Sauerstoffausschlusses ist jedoch bei den unter Vakuum oder Stickstoff verpackten Proben auch nach Lagerung und Erhitzen deutlich zu erkennen.

Bei der sensorischen Bewertung nach einmonatiger Lagerung spielte eine erhebliche Rolle, ob die Proben roh oder gekocht verkostet wurden: Bei Rohzubereitung konnte eine schlechtere Bewertung der bestrahlten Proben nur durch Verpackung unter Stickstoff vermieden werden, während bei der Zubereitung als Hafer schleim lediglich die unter Luft verpackten bestrahlten Proben schlechter bewertet wurden als die unbestrahlten (Tabelle 2). Nach drei Monaten Lagerzeit waren diese Unterschiede verschwunden. Auffallend ist die dann bessere Bewertung der Haferschleimprobe nach Bestrahlung und Lagerung unter Luftzutritt, verglichen mit der unbestrahlten Probe. Das Auftreten eines Fremdgeschmacks oder -geruchs unmittelbar nach der Bestrahlung und das Verschwinden dieser Abweichung während der Lagerung ist wiederholt beschrieben worden – nicht nur bei offen gelagerten, sondern auch bei luftdicht verschlossenen Lebensmitteln. Anscheinend verschwinden sensorisch auffällige strahleninduzierte Verbindungen allmählich durch Reaktion mit Lebensmittelinhaltsstoffen. So wurde in frisch bestrahltem Rindfleisch gaschromatographisch Methional gefunden, das nach sechsmonatiger Lagerung der eingedosten Proben nicht mehr nachweisbar war [20].

Das sowohl hinsichtlich der Vitaminerhaltung wie auch der sensorischen Qualität ungünstige Ergebnis der Verpackung unter Kohlendioxid läßt sich durch die Bildung von Sauerstoff bei der Bestrahlung von Kohlendioxid erklären [21] und entspricht den Ergebnissen von Spinelli et al. [19]. Das etwas ungünstigere Abschneiden der Vakuum- im Vergleich zur Stickstoffverpackung war im Hinblick auf die umgekehrte Erfahrung bei Fischfilets [19] unerwartet. Nach dem Augenschein war das Vakuum auch bei den drei Monate gelagerten Proben gut erhalten. Es ist jedoch zu vermuten, daß bei einem Material wie Haferflocken Sauerstoffreste beim Anlegen des Vakuums weniger vollständig entfernt werden als bei der Vakuumverpackung von Fischfilets.

Bei den in Tabelle 2 und Abb. 3 dargestellten Untersuchungen an Haferflocken wurde, um mögliche Bestrahlungseffekte deutlicher hervortreten zu lassen, mit der Dosis von 100 krad bestrahlt, die erheblich über der zur Insektenbekämpfung bei Cerealien erforderlichen Dosis liegt. Weitere Versuche, die hier nicht im einzelnen geschildert werden sollen, haben gezeigt, daß bei der praktisch erforderlichen Dosis von 15–50 krad (je nach Insektenbefall) bei unter Stickstoff oder Vakuum verpackten Haferflocken weder ein nennenswerter Ver-

lust an Vitamin E noch eine signifikante Minderung des Genußwertes eintritt.

Insgesamt haben die hier dargestellten Ergebnisse gezeigt, daß die bereits hinsichtlich der Erhaltung des Vitamin-A-Gehaltes [22] gemachten Beobachtungen über eine günstige Wirkung des Luftausschlusses bei der Bestrahlung auch für die Erhaltung des Vitamin-E- und -B<sub>1</sub>-Gehaltes gelten. Die Schutzwirkung durch Luftausschluß beruht vermutlich auf der verhinderten Entstehung reaktionsfreudiger Oxidationsprodukte. Dabei ist nicht nur an die Bildung von Wasserstoffperoxid aus Wasser und von Peroxiden und deren Folgeprodukten aus ungesättigten Fettsäuren zu denken. In allen untersuchten kohlenhydrathaltigen Lebensmitteln ist nach Bestrahlung Malondialdehyd in von der Strahlendosis abhängiger Konzentration gefunden worden [23]. Eigene, bisher unveröffentlichte Ergebnisse haben gezeigt, daß Malondialdehyd in Luftgegenwart Zersetzungsprodukte liefert, die mit Tokopherolen reagieren.

#### Literatur

1. Diehl, J.F.: Food Irradiat. **10**, H. 1/2, 2 (1979)
2. Diehl, J.F.: Z. Lebensm. Unters. Forsch. **142**, 1 (1970)
3. Diehl, J.F.: Z. Lebensm. Unters. Forsch. **157**, 317 (1975)
4. Diehl, J.F.: Z. Lebensm. Unters. Forsch. **158**, 83 (1975)
5. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 10. Ed., pp. 758. Washington D.C. 1965
6. Fricke, H., Morse, S.: Amer. J. Roentgenol. **18**, 426 (1927)
7. Diehl, J.F.: Proceedings of the 12th International Congress of Refrigeration (Madrid 1967), Vol. 3, pp. 3, 1969
8. Sheffner, A.L., Spector, H.: Radiation Preservation of Food. Kap. 18, Washington: U.S. Government Printing Office 1957
9. Ingram, M.: Proceedings of the International Conference on Preservation of Foods by Ionizing Radiations. pp. 161. Cambridge, Mass. 1959
10. Wilson, G.M.: J. Sci. Food Agr. **10**, 295 (1959)
11. Merritt, C., Jr., Angelini, P., Graham, R.A.: J. Agr. Food Chem. **26**, 29 (1978)
12. Josephson, E.S.: Radiation Preservation of Food. pp. 471. International Atomic Energy Agency STI/PUB/317, Wien 1973
13. Taub, I.A., Kaprelian, R.A., Halliday, J.W.: Food Preservation by Irradiation. Vol. 1, pp. 371, International Atomic Energy Agency STI/PUB/470, Wien 1978
14. Brasch, A., Huber, W.: Science **108**, 536 (1948)
15. Huber, W., Brasch, A., Waly, A.: Food Technol. **7**, 109 (1953)
16. Hannan, R.S.: Scientific and Technological Problems Involved in Using Ionizing Radiations for the Preservation of Food. pp. 106, London: Her Majesty's Stationery Office 1955
17. Hannan, R.S., Shepherd, H.J.: Sci. Food Agr. **10**, 286 (1959)
18. Groninger, H.S., Tappel, A.L., Knapp, F.W.: Food Res. **21**, 555 (1956)
19. Spinelli, J., Dollar, A.M., Wedemeyer, G.A., Gallagher, E.C.: Int. J. Appl. Rad. Isotopes **20**, 167 (1969)
20. Wick, E.L., Koshika, M., Mizutani, J.: J. Food Sci. **30**, 433 (1965)
21. Harteck, P., Dondes, S.: Peaceful Uses of Atomic Energy, Proc. U.N. Internat. Conf. **29**, 415 (1959)
22. Diehl, J.F.: Z. Lebensm. Unters. Forsch. **168**, 29 (1979)
23. Scherz, H.: Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm. **1**, 103 (1972)

Eingegangen am 18. Juni 1979