Zeitschrift: Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 50 (1959)

Heft: 1

Artikel: Radioaktive Isotope in unseren Nahrungsmitteln

Autor: Müller, R. / Bäumler, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-983411

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 23.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

[7]) *Pyriki, C.*, Z. U. L. **88**, 254 (1948).
[8]) *Fradford, J. A., Harlan, W. R.* et *Hanmer, H. R.*, I. Indust. Engin. Chem. **28**, 836 (1936) et A. M. A. Laboratory: J. A. M. A. **152**, 917, 1035 (1953); **154**, 677 (1954); **157**, 1309 (1955).
[9]) *Pfyl, B.* et *Schmitt*, O., Z. U. L. **54**, 65 (1927); **66**, 501 (1933).
[10]) *Wenusch, A.*, Der Tabakrauch 1939.
[11]) *Eschle, C.*, Communication privée.
[12]) *Stark, R. R.*, Technical details of the work described in J. A. M. A. **152**, 917 (1953) obtainable upon request from the Chemical Laboratory.
[13]) *Eschle, C.*, ces Trav. **49**, 280 (1958).

Radioaktive Isotope in unseren Nahrungsmitteln

Von *R. Müller und J. Bäumler*
(Aus dem Kantonalen Laboratoirum Basel-Stadt)

In den meisten Nahrungsmitteln kann heute ausser der natürlichen Radioaktivität, herrührend vom Gehalt an Kalium-40, eine zusätzliche Aktivität nachgewiesen werden. Die zahlreichen Versuche mit Atombomben (über 150) haben zu einer derartigen Verseuchung der Atmosphäre mit radioaktiven Spaltprodukten geführt, dass die mit den Niederschlägen auf die Erde fallenden Radio-Isotopen über die ganze Welt verteilt werden und eine gewisse Kontamination unserer Nahrungsmittel verursacht haben.

Von den für die Menschheit gefährlichen radioaktiven Spaltprodukten (^{14}C, ^{131}J, ^{137}Cs usw.) ist besonders das Isotope des Strontiums, ^{90}Sr, hervorzuheben. Die chemische Aehnlichkeit von Strontium und Calcium führt den menschlichen Organismus dazu, dass er an Stelle von Calcium auch Strontium-90 resorbiert und dieses in den Knochen ablagert. Befindet sich Strontium-90 einmal in den Knochen, so kann es infolge seiner grossen Halbwertszeit (25 Jahre) zu Erkrankungen (z.B. Leukämien) führen. Durch den relativ langsamen Stoffwechsel des Knochengewebes vergeht eine ziemlich lange Zeit, bis ein abgelagertes Strontium-90-teilchen wieder aus dem Körper ausgeschieden wird. Die genaue Verweilzeit in den Knochen ist bis jetzt noch unbekannt; man weiss lediglich, dass es einige Jahre dort abgelagert bleibt [1]).

Aus diesem Grunde sind vor allem diejenigen Nahrungsmittel auf ihren Gehalt an Strontium-90 zu prüfen, die dem Menschen als Calciumquelle dienen. Der Calciumbedarf wird bei der Durchschnittsbevölkerung [2]) zu 75 bis 85 % aus der Milch, zu je etwa 5 bis 10 % aus Getreide, Gemüse und andern Lebensmitteln (wie Trinkwasser usw.) gedeckt. Ganz unbedeutend für die Calciumaufnahme sind Fleisch, Eier, Fisch usw. Aus dem Verhältnis von Strontium-90 zu Calcium in den verschiedenen Lebensmitteln kann man den ungefähren Gehalt an Strontium-90 in den menschlichen Knochen abschätzen.

Im Folgenden berichten wir über Messungen der Radioaktivität von verschiedenen Nahrungsmitteln im Verlaufe der Jahre 1957/58 und über Versuche zur Bestimmung radioaktiver Strontiumisotope (^{89}Sr und ^{90}Sr) in Lebensmitteln und Regenwasser.

I. Radioaktivität der Lebensmittel

1. Milch

Wir haben nur eine kleine Anzahl Milchproben untersucht, da aus der Schweiz die ausführlichen Arbeiten von A. Miserez (Eidg. Gesundheitsamt [3])) über Radioaktivitätsmessungen in Milch vorliegen. Es sind dort nicht nur die Gesamtaktivitäten, sondern auch einige Strontium-90-werte angegeben.

Tabelle 1
(Radioaktivität der Milch)

Milch vom Vorzugsmilchstall Rotberg bei Mariastein (Solothurn)	Gesamtaktivität μμc/ml	Metallionenfraktion μμc/ml
19. 9. 58	1,5	0,09
7. 10. 58	1,4	0,06
19. 10. 58	1,5	0,13
10. 11. 58	1,6	0,25

Doch auch aus unseren Resultaten ist ersichtlich, dass die Aktivität der Milch stetig im Zunehmen begriffen ist; vor allem zeigt die Metallionenfraktion (nach Abtrennung der Alkaliionen) eine deutliche Erhöhung.

Aus dem Anstieg der Radioaktivität lässt sich schliessen, dass der Zeitpunkt, bei welchem die Zufuhr und der Zerfall der radioaktiven Spaltprodukte im Gleichgewicht stehen, noch nicht erreicht ist. Bei weiteren Atombombenversuchen im bisherigen Rahmen werden die Aktivitäten der Milch erneut zunehmen und einem gewissen Sättigungswert zustreben.

Die nach Abtrennung des natürlichen Kalium-40 erhaltene Aktivität nähert sich der 0,1μμc/ml-Grenze. Man kann jedoch die Werte der Toleranzdosis für Trinkwasser (0,1μμc/ml für unbekannte Gemische bei Daueraufnahme) nicht ohne weiteres auf die Milch anwenden. Die tägliche Aufnahme von Milch und Wasser ist verschieden, ausserdem bestehen Unterschiede beim Resorptionsvorgang. Diese Fragen der Toleranzgrenzen bedürfen noch der weiteren Forschung und Abklärung.

2. *Gemüse*

Die erhaltenen Resultate unserer Messungen an Gemüse sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Im allgemeinen bewegen sich die Radioaktivitäten zwischen 1–10 μμc/lg.

Tabelle 2

(Radioaktivität von Gemüse)

Gemüse			Gesamtaktivität μμc/lg (pro g frisches Gemüse)		Metallionenfraktion μμc/lg (pro g frisches Gemüse)	
			1957	1958	1957	1958
Spinat		13. 6. 57	7,5		3,8	
		19. 6. 57	5,8		1,6	
		23. 5. 58		7,0		1,6
Salat	Kopf-	21. 6. 57	4,0		1,2	
	Endivien-	15. 3. 58		3,2		0,8
	Kopf-	23. 7. 58		6,3		1,6
	Endivien-	29. 8. 58		6,6		2,1
	Zichorien-	29. 8. 58		8,5		2,5
	Kopf-	25. 10. 58		3,7		0,1
Nüsslisalat		24. 3. 58		32		12
		23. 10. 58		23,3		12
Tomaten	Walliser-	13. 9. 57	2,9		0,02	
	Leimental-	14. 8. 58		1,9		0,02
Kartoffeln		10. 12. 57	3,7		<0,03	
		11. 10. 58		2,9		0,05
Karotten,	rote	26. 4. 57	1,0		<0,01	
		11. 10. 58		2,0		0,07
Kohl	Weisskohl	23. 9. 57	4,6		0,14	
	Wirsing	25. 10. 58		79,6		57,8

Ein Vergleich der Aktivitätswerte im Verlaufe der beiden Beobachtungsjahre zeigt ebenfalls eine Zunahme (z.B. bei Kohl, Salat), die jedoch nicht so stark ist wie bei den Werten der Milch. Auffallend hoch sind die Werte der Blattgemüse, wie Salat und Spinat. Insbesonders zeigten die Proben von Nüsslisalat eine starke Aktivität von 23–32 μμc/lg. Das mag darin seinen Grund haben, dass sich die Würzelchen des Nüsslisalates in den obersten Bodenschichten befinden. Die Pflanze nimmt also ihren Mineralstoffbedarf aus den Bodenschichten auf, die am ausgiebigsten mit radioaktiven Spaltprodukten verseucht sind. Eine radiochemische Analyse des Nüsslisalates, wie sie weiter unten beschrieben (Tabelle 6) wird, ergab, dass der Gehalt an Strontium-90 nicht grösser ist als in anderen Gemüsesorten. Die erhöhte Radioaktivität der Gesamtasche und der Metallionenfraktion ist daher auf junge, kurzlebige Spaltprodukte zurückzuführen.

Die meisten von Niederschlägen herrührenden Radio-Isotope werden in den obersten Humusschichten (5–10 cm) zurückgehalten. Pflanzen mit Pfahlwurzeln, wie die Karotten, nehmen einen Teil ihrer Mineralstoffe aus tieferen Bodenschichten auf, die entsprechend weniger radioaktive Isotope enthalten.

Der Mineralstoffgehalt der verschiedenen Pflanzen scheint einen gewissen Einfluss auf die Höhe der Radioaktivität zu besitzen. Wir haben in Tabelle 3 den Aschen- bzw. Calciumgehalt der durchschnittlichen Radioaktivität der entsprechenden Metallionenfraktion gegenübergestellt.

Tabelle 3

Mineralstoffgehalt und Radioaktivität von Gemüse und Obst [4])

	Mineralstoffe g/100 g	Calciumgehalt mg Ca/100 g	Radioaktivität (ohne Alkali-ionen) in μμc/lg
Gemüse:			
Spinat	1,6—1,8	59	1
Kohl	1,5—1,6	114	1—50
Kopfsalat	0,9—1,3	108	2
Endiviensalat	0,8—1,0	104	2
Kartoffeln	0,7—1,1	16	0,03
Karotten	0,7—0,8	55	0,02
Tomaten	0,6	59	0,02
Früchte:			
Aepfel	0,4	8	0,3
Aprikosen	0,6—0,7	15	0,4
Johannisbeeren rot	0,6—0,7	8	0,3
Himbeeren	0,5—0,6	5	0,3
Erdbeeren	0,7—0,8	29	0,2

Diese ersten Resultate erlauben noch keine endgültigen Schlüsse; doch ist ein gewisser Zusammenhang feststellbar. Gemüse mit hohem Mineralstoff- und Calciumgehalt besitzen die grössten Aktivitäten. Bei den Früchten, die gegenüber dem Gemüse eine kleinere Radioaktivität aufweisen, fällt der relativ kleine Gehalt an Asche und Calcium auf. Doch wird es erst an Hand eines grösseren Untersuchungsmaterials möglich sein, näher auf diese Zusammenhänge einzugehen.

3. Obst

Von den gebräuchlichsten Obstsorten haben wir jeweils Proben aus der Umgebung Basels untersucht, wobei wir darauf achteten, dass die Obstproben in den Jahren 1957 und 1958 wenn möglich aus dem gleichen Garten (gleichen Boden) stammten. Einzig bei den Erdbeeren und Aprikosen benützten wir Früchte aus dem Wallis, da diese Gegend deren Hauptlieferant darstellt.

Tabelle 4

(Radioaktivität von Obst)

Obst		Gesamtaktivität (pro g frisches Obst) μμc/lg		Metallionenfraktion (pro g frisches Obst) μμc/lg	
		1957	1958	1957	1958
Aepfel (Rotberg)	10. 12. 57	2,1		0,31	
	11. 10. 58		1,4		0,33
Aprikosen (Walliser)	5. 8. 57	2,1		0,41	
	14. 8. 58		2,3		0,31
Himbeeren	5. 7. 57	2,9		0,32	
	8. 7. 58		1,5		0,24
Erdbeeren					
Walliser, Berg-	28. 6. 57	2,2		0,89	
Walliser, Tal-	24. 6. 58		1,5		0,22
Walliser, Berg-	2. 7. 58		1,3		0,15
Johannisbeeren, rote	7. 7. 57	2,0		0,25	
	1. 7. 58		2,5		0,38

Vergleicht man die Ergebnisse der Jahre 1957 und 1958, so sieht man, dass die Werte ungefähr gleich geblieben sind. Die Radioaktivitäten (nach Abtrennung der Alkaliionen) betragen etwa 0,1μμc/lg; sie liegen also bei den Früchten etwa um eine Zehnerpotenz tiefer als beim Gemüse.

4. *Trinkwasser*

Tabelle 5

(Radioaktivität von Trinkwasser)

Trinkwasser		Gesamtaktivität µµc/ml		Metallionenfraktion µµc/ml	
		1957	1958	1957	1958
30. 1. 58	Basel (E)		0,0023		<0,001
19. 3. 58	Basel (E)		0,0018		<0,001
9. 4. 57	Basel (E)	<0,0015		—	
9. 5. 58	Basel (E)		0,0011		<0,001
13. 5. 58	Basel (H)		0,0077		0,0013
29. 6. 57	Basel (E)	0,0048		0,0028	
11. 7. 58	Basel (E)		0,0072		0,0043
2. 8. 57	Basel (E)	0,0027		<0,001	
5. 8. 58	Basel (H)		0,0036		0,0027
2. 9. 58	Basel (E)		0,004		0,0015
9. 9. 57	Basel (E)	0,0037		0,0024	
30. 10. 57	Basel (E)	0,0041		0,0041	
19. 11. 57	Basel (H)	<0,0062		0,0034	
27. 11. 58	Basel (E)		0,002		0,0015
8. 4. 57	Grellingen	0,005		0,0028	
25. 6. 58	Arlesheim		0,0053		<0,002
Mineralwasser:					
Eptinger	16. 7. 57	<0,02		<0,008	
	6. 8. 58		<0,02		<0,004
Henniez	16. 7. 57	<0,004		<0,0035	
	6. 8. 58		0,005		<0,003
Aproz	16. 7. 57	<0,03		<0,004	
	6. 8. 58		0,020		0,016
Passugger	16. 7. 57	0,009		0,005	
Zisternenwasser:					
Solothurner Jura	8. 58		0,23		0,10

Die untersuchten Trinkwasserproben stammen zum grössten Teil aus dem Basler Leitungsnetz; es handelt sich durchwegs um Grundwasser (E = aus dem Erlenpumpwerk, Wiesental in Richtung Deutschland; H = aus der Hard, Rheintal in Richtung Augst, Baselland). Durch die Filtrationswirkung des Bodens wird die Hauptmenge der radioaktiven Spaltprodukte von den Bodenteilchen zurückgehalten; die gemessenen Radioaktivitäten liegen an der Grenze der Nachweisbarkeit. Auch bei Quellwasser (Arlesheim, Grellingen) genügt die Filtration der Bodenschicht, um die Aktivität des Regenwassers um etwa 1000 mal zu erniedrigen.

Die Untersuchungen einiger schweizerischer Mineralwasser haben ergeben, dass ihre Radioaktivität äusserst gering ist und meist unterhalb der Empfindlichkeit der Messeinrichtung liegt. Allerdings kann bei dem oft hohen Mineralstoffgehalt nur eine kleine Menge zur Prüfung verwendet werden (entsprechend dem Trockenrückstand), wodurch die noch messbaren Werte etwas höher (etwa 0,005μμc/ml) liegen. Diese Resultate, bei denen es sich durchwegs um Analysen von Quellwasser aus den verschiedensten Gegenden der Schweiz (Baselland, Waadt, Wallis, Graubünden) handelt, bestätigen ebenfalls, dass die Filtration der Bodenschicht ausreicht, um die radioaktiven Spaltprodukte zum grössten Teil zurückzuhalten.

Anders liegen die Verhältnisse beim Zisternenwasser [5]), was aus der Untersuchung einer im Solothurner Jura gefassten Probe hervorgeht. Solches Zisternenwasser, dessen Gesamtradioaktivität über der Toleranzgrenze für Trinkwasser bei Daueraufnahme liegt, sollte mit Vorsicht genossen werden. Es ist empfehlenswert, die Zisternenwasser wiederholt zu kontrollieren und bei einem eventuellen weiteren Anstieg der Aktivität zu filtrieren. Eine kurzfristige Verwendung eines solchen Wassers bedeutet keine Gefährdung, da zur Zeit der grösste Teil der Radioaktivität von ungefährlichen kurzlebigen Isotopen herrührt [6]).

II. Methodik

a) Chemische Trennungen

1. Vorbereitung der Proben:

Die Messung der Gesamtaktivität und der Metallionenfraktion bzw. Erdalkalifraktion setzt reichliches Untersuchungsmaterial voraus. Wir verarbeiteten z.B.:

Trinkwasser:	2–5 Liter, je nach Trockenrückstand
Gemüse (Salat, Spinat usw.):	200–250 g
Obst (Erdbeeren, Himbeeren usw.):	300–350 g
Milch:	200 ml.

Diese Mengen, die je nach Grösse des Zählrohrfensters etwas variieren, genügen jedoch nicht zur Bestimmung von einzelnen Isotopen mittels radiochemischer Trennungen. So benötigten wir zur Ermittlung des Strontium-90-gehaltes folgende Quantitäten:

Regenwasser:	5000 ml
Milch:	2500 ml
Gemüse:	500–700 g
Obst:	1 kg.

Sämtliche Proben wurden zuerst getrocknet oder eingedampft und anschliessend in einer Platinschale verascht. Diese Mineralisation von grösseren Mengen ist eine mühsame und zeitraubende Arbeit (Milch, Trinkwasser). Wir haben die

Erfahrung gemacht, dass sich z.B. Gemüse und Obst nach längerem Trocknen bei 120° C leichter veraschen lassen. Nach dem Verkohlen haben wir die Asche mit verdünnter Salzsäure behandelt und die restlichen Kohleteilchen erneut geglüht.

2. *Auftrennung in Fraktionen:*

Infolge des Kaliumgehaltes unserer Lebensmittel genügt die alleinige Messung der Gesamtasche nicht, um Aussagen über die Radioaktivität machen zu können. Das natürliche Kalium enthält stets 0,01 % des radioaktiven ^{40}K, weshalb zur weiteren Messung die Kalisalze abgetrennt werden müssen.

Erdalkalifraktion:

In essigsaurer Lösung werden die Erdalkaliionen mit Ammoniumoxalat ausgefällt.

Metallionenfraktion:

Fällt man mit Ammoniumoxalat in ammoniakalischer Lösung, so erfasst man neben den Erdalkaliionen auch einige Metallionen der dritten Analysengruppe (Ammoniumsulfidgruppe), der Nebengruppen und Lanthaniden.

Zweck der Messung der Metallionenfraktion ist, in kurzer Zeit, ohne langwierige radiochemische Trennungen vornehmen zu müssen, festzustellen, ob ein Lebensmittel verseucht ist. Daher scheint uns die Metallionenfraktion gegenüber der Erdalkalifraktion den Vorteil zu besitzen, dass auch gewisse Metallionen, wie z.B. Uranylionen, Zirkon, Beryllium, Chrom, Mangan, Zink, bei einer alkalischen Oxalatfällung erfasst werden. Wohl können die meisten Isotopen des Fallouts mit der Erdalkalifraktion nachgewiesen werden; man muss aber auch mit der Möglichkeit einer Verseuchung, z.B. der Gewässer, durch Isotope aus der friedlichen Ausnützung der Atomenergie rechnen. Bei der medizinischen und technischen Anwendung kommen auch Radio-Isotope in Betracht, die bei der Erdalkalifraktion nicht mitgefällt werden.

b) Messung der Radioaktivität

Alle Messungen wurden mit einem dekadischen Impulsuntersetzer der Firma Landis & Gyr durchgeführt. Als Zählrohr dienten uns Stirnfensterzählrohre mit einem Glimmerfenster von 2–3 bzw. 1,0 mg/cm² Flächengewicht.

Background: Derartige Zählrohre besitzen je nach Grösse einen Nulleffekt von 28–38 Impulsen pro Minute. Dieser hohe Leerwert und dessen zeitliche Schwankungen bedingen eine recht lange Messzeit. Um eine Impulsdifferenz von etwa 1 zu erhalten, sind etwa 20 000 Impulse zu zählen. Damit während dieser Zeit die Veränderungen des Nulleffektes erfasst werden, wechselten wir bei unseren Versuchen stündlich zwischen Background- und Probenmessungen ab.

Etwas einfacher gestaltet sich die Ausmessung, wenn die Zählrohre gegen aussen abgeschirmt werden. Am geeignetsten hierzu sind die Bleigehäuse, wie sie im Handel [7]) erhältlich sind. Damit wird der Nulleffekt um etwa 50 % reduziert. Unser Background mit einem Stirnfensterzählrohr (1,0 mg/cm² Glimmer) schwankt zwischen 14–15 Imp./min. Die tageszeitlichen Schwankungen wirken sich nicht so stark aus wie ohne Abschirmung; so beobachten wir innerhalb eines Tages Differenzen von etwa 0,5 Imp./min.

Eichung: Für alle Bestimmungen verwendeten wir Kaliumchlorid. Aus diesem Grunde sind bei der Messung der Aktivität von Strontiumisotopen kleine Messfehler entstanden, da die Radioisotopen verschieden starke β-Strahler sind.

^{40}K	E_{max}	=	1,35 MeV
^{90}Sr	E_{max}	=	0,54 MeV
^{89}Sr	E_{max}	=	1,5 MeV
^{90}Y	E_{max}	=	2,2 MeV

Die Strontium-90-aktivität wird aus der Bestimmung von Yttrium-90 berechnet; Yttrium-90 ist jedoch wie Kalium-40 ein energiestarker β-Strahler, so dass sich dieser Messfehler nicht so stark auswirken dürfte.

Einheiten:

1 c	=	1 Curie = $3{,}6 \cdot 10^{10}$ Zerfälle pro Sekunde
1 mc	=	1 Millicurie (10^{-3} c)
1 μc	=	1 Mikrocurie (10^{-6}c)
1 μμc	=	1 Mikromikrocurie (10^{-12}c), entspr. 2,2 Zerfällen pro Min.

Lebensmittel:	μμc/lg (pro g frische Substanz)
Wasser, Milch:	μμc/ml
Strontium-90:	μμc/lg Ca = 1 S.U. (Strontiumeinheit, in der Tagespresse oft Sunshine genannt)

III. Bestimmung der Strontiumisotopen

a) Methode

Zur Bestimmung von Strontium-90 haben wir die radiochemische Abtrennung der Mineralbestandteile, wie sie von der englischen und amerikanischen Atomenergie-Kommission verwendet wird, gewählt. Sie erlaubt, neben dem Gehalt an Strontium-90 auch noch die Konzentrationen von ^{89}Sr und ^{140}Ba festzustellen. *Die Methode, wie sie im Analysenschema I aufgezeichnet ist, benützt die Löslichkeitsunterschiede von Strontiumnitrat und Calciumnitrat in konzentrierter Salpetersäure zur Isolierung der Strontiumsalze.* Nach Angaben der Literatur [8]) soll die radiochemische Trennung eine Ausbeute von 70–80 % besitzen.

Dabei sind folgende Arbeitsgänge nötig:

1. Eindampfen und veraschen.
2. Sodaschmelze zur Aufschliessung der Silikate und Abtrennung der Kieselsäure mit Perchlorsäure. Dieser Teil kann bei Abwesenheit von schwerlöslichen Silikaten weggelassen werden. In diesem Falle wird das Untersuchungsmaterial erschöpfend mit verdünnter Salzsäure ausgezogen.
3. Fällung der Erdalkaliionen als Carbonate.
   Bei phosphatreichen Aschen muss in essigsaurer Lösung mit Ammoniumoxalat gefällt und nachher der Niederschlag verascht werden. Phosphationen stören die Strontiumnitrattrennung (Ziffer 5), da Calciumphosphat in konzentrierter Salpetersäure ebenfalls schwer löslich ist.
4. Lösen des Niederschlages in Salpetersäure und eindampfen.
5. Strontiumabtrennung in 70–75 %iger Salpetersäure. Strontiumnitrat ist in konzentrierter Salpetersäure schwer löslich, Calciumnitrat dagegen gut löslich.
   Im Falle einer unvollständigen Trennung muss die Behandlung mit konzentrierter Salpetersäure ein zweites Mal durchgeführt werden.
6. Abtrennung von Yttriumhydroxyd in ammoniakalischer Lösung.
7. Fällung von Bariumchromat in essigsaurer Lösung.
8. 12 Tage stehen lassen, zur Anreicherung von ^{90}Y, das aus Strontium-90 gebildet wird.

$$^{90}Sr \xrightarrow[25\,a]{\beta} {}^{90}Y \xrightarrow[63\,h]{\beta} {}^{90}Zr \text{ stabil}$$

9. Erneute Abtrennung von Yttrium als Hydroxyd. Messung der Aktivität von ^{90}Y in Form seines Oxalates.
10. Fällung des Strontiums (89+90) als Carbonat und Messung der Radioaktivität des Niederschlages.

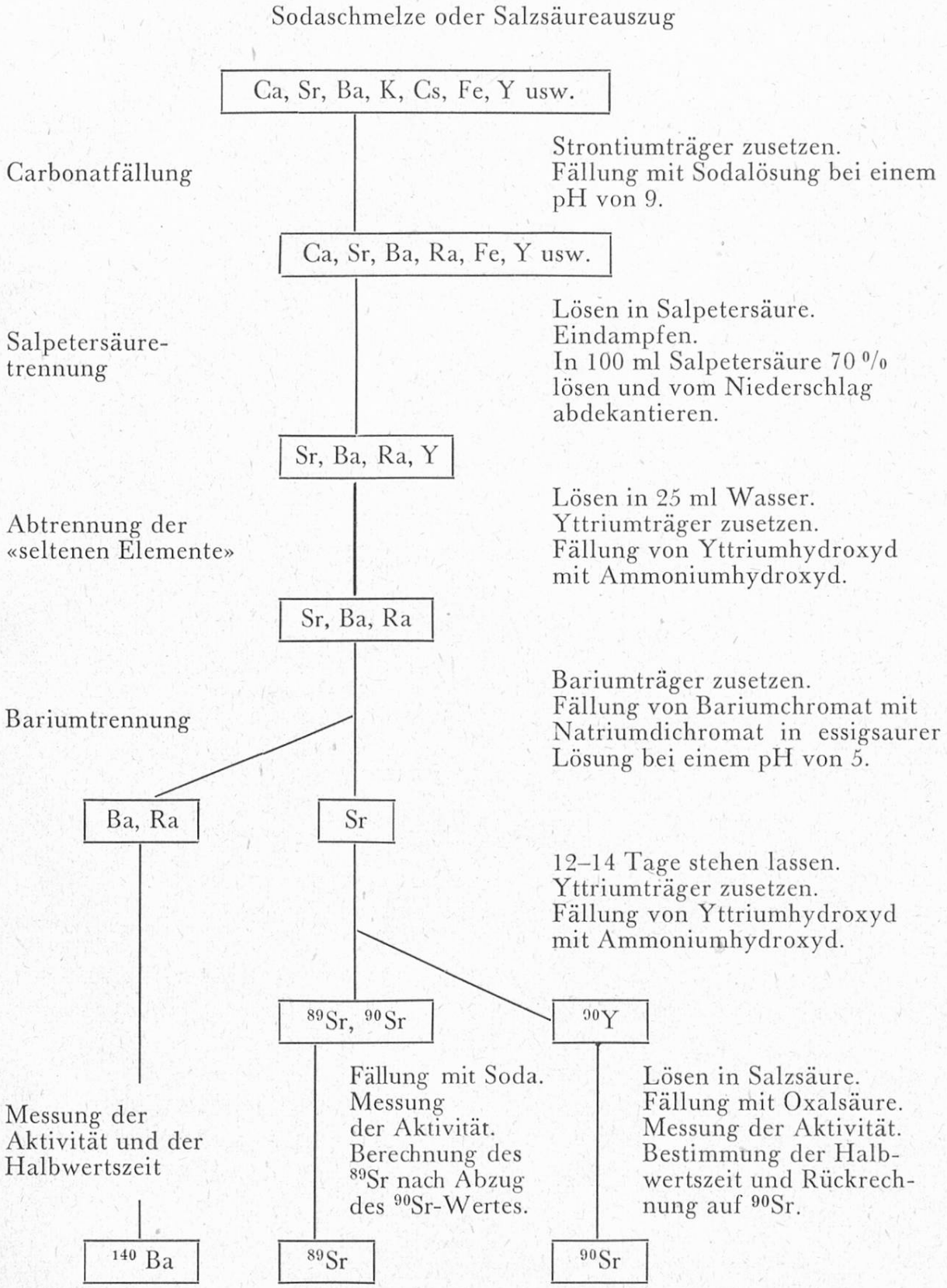
Analysenschema 1

Da die Konzentrationen der Radio-Isotopen so gering sind, dass sie weder wägbar noch filtrierbar sind, werden entsprechende Mengen von nicht radioaktiven Trägersubstanzen («Carrier») zugesetzt:

Strontiumchlorid:	20 mg (in Wasser gelöst)
Yttriumchlorid:	zweimal je 20 mg
Bariumchlorid:	20 mg.

Die Radium-Bariumfraktion sowie die Strontiumfraktion wurde nach 1–2 Monaten erneut gemessen, um an Hand der Halbwertszeiten von ^{140}Ba und ^{89}Sr zu überprüfen, ob es sich auch tatsächlich um diese Isotope handelt. Auch bei der Yttriumfraktion muss das Abklingen der Aktivität kontrolliert werden.

Analysenschema 1
Isolierung der Strontiumisotopen



Bei allen Trennungen und Messungen ist die genaue Zeit zu notieren; infolge der kurzen Halbwertszeiten von ^{140}Ba und ^{89}Sr muss bei den Gehaltsberechnungen die während der Analyse vergangene Zeit berücksichtigt werden.

b) Ergebnisse

Die bei der Bestimmung von Strontiumisotopen in Regenwasser und Gemüsen erhaltenen Resultate sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Die angegebenen Prozentzahlen beziehen sich auf den Anteil an der Gesamtaktivität (bei Regenwasser nach 48 Stunden gemessen).

Tabelle 6

Strontiumaktivität von Regenwasser und Gemüse

		Gesamtaktivität µµc/lg = 100%	Metallionenfraktion µµc/lg	%	^{140}Ba- µµc/lg	%	^{89}Sr µµc/lg	%	^{90}Sr µµc/lg	%	^{90}Sr µµc/lgCa = 1 SU.
1958											
20. 6.	Regenwasser	0,38	0,16	42	0,011	2,9	0,0064	1,7	0,0015	0,38	
21. 7.	Regenwasser	1,0	0,63	63	0,073	7,3	0,015	1,5	0,0044	0,44	
19. 8.	Regenwasser	0,9	0,55	61	0,018	2,0	0,037	4,1	0,0021	0,23	
12.10.	Regenwasser	0,35	0,08	44	—		0,003	0,9	0,0011	0,3	
23. 5.	Spinat	7,0	1,6	23	0,003	0,04	0,010	0,14	0,067	0,96	23,5
23. 7.	Kopfsalat	6,3	1,6	25	—		0,092	1,45	0,054	0,86	49
29. 8.	Salat (Zichorien)	8,5	2,5	36	—		0,024	0,28	0,035	0,41	32
19. 9.	Milch (Rotberg)	1,5	0,09	17	—		0,001	0,1	0,004	0,3	3,6
11.10.	Aepfel	1,4	0,33	24	—		0,015	1,1	0,01	0,7	129
23.10.	Nüsslisalat	23,3	12,0	52	0,08	0,3	0,038	0,16	0,01	0,04	10

Die im Gemüse gefundenen Strontium-90-werte schwanken zwischen 0,004–0,07µµc/lg. *Marley* [9]) gibt für Regenwasserproben aus England einen Durchschnitt von 3–5 µµc pro Liter an; unsere Messungen zeigten einen Strontium-90-gehalt von 0,002–0,005 µµc/ml, d. h. 2–5 µµc pro Liter.

Durch die Aktivitätsabnahme, die bei der Bodenfiltration von Regenwasser entsteht, dürfte der Strontiumgehalt in Trinkwasser (bei Quell- und Grundwasser) wesentlich kleiner sein. Daher ist anzunehmen, dass Quell- und Grundwasser für die ^{90}Sr-aufnahme des menschlichen Organismus keine Bedeutung haben.

Aus obiger Tabelle ist ersichtlich, dass die in den Lebensmitteln gefundenen Sr-90-Werte sehr gering sind, so dass der Mensch auch bei einer täglichen Aufnahme während seines ganzen Lebens die Toleranzdosis von 1 µc nicht erreichen wird.

Während im Regenwasser noch ein beachtlicher Teil der Radioaktivität vom Bariumisotopen ^{140}Ba stammt, sind im Gemüse kaum noch Spuren des letzteren

feststellbar; die Aktivitätswerte liegen unterhalb der Empfindlichkeit der Messeinrichtung. Infolge der kurzen Halbwertszeit von ^{140}Ba (12,8 Tage) ist der grösste Teil der Aktivität im Verlaufe der Passagen Boden-Wurzel-Pflanze abgeklungen.

IV. Diskussion der Ergebnisse

1. Aus den analytischen Resultaten geht hervor, dass nur ein sehr geringer Anteil, nämlich 1–2 % der Gesamtaktivität, von den gefährlichen Strontiumisotopen herrührt. Die Hauptaktivität stammt von kurzlebigen Spaltprodukten. Diese Tatsache wird bestätigt durch das zeitliche Abklingen der Radioaktivität, wie wir es in unserer früheren Arbeit [6]) über die Radioaktivitäten der Niederschläge an Hand der Zerfallskurven von Regenwasserproben zeigen konnten.

Man darf also niemals die Werte der Gesamtaktivität oder der Erdalkalifraktion zur endgültigen Aussage allein verwenden; denn diese Zahlen würden eine zu hohe Dosis vortäuschen. Eine biologische Beurteilung der Strahlenbelastung kann nur stattfinden, wenn bekannt ist, welche Radio-Isotopen die Aktivität verursachen.

2. Die gleichzeitige Bestimmung von Strontium-89 und Strontium-90 erlaubt, infolge der verschiedenen Halbwertszeiten der beiden Isotopen, gewisse Rückschlüsse auf das Alter der Spaltstoffgemische.

Halbwertszeit: ^{89}Sr = 53 Tage
^{90}Sr = 25 Jahre.

Junge Isotopengemische zeigen einen grösseren Gehalt an ^{89}Sr als ältere, bei denen die Strontium-89-aktivität zum grössten Teil abgeklungen ist. Das Verhältnis von ^{89}Sr zu ^{90}Sr ist in der Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7

Verhältnis von ^{89}Sr zu ^{90}Sr

		^{89}Sr zu ^{90}Sr
20. 6. 58	Regenwasser	4,3
21. 7. 58	Regenwasser	3,4
19. 8. 58	Regenwasser	18
12. 10. 58	Regenwasser	2,8
23. 5. 58	Spinat	0,15
23. 7. 58	Kopfsalat	1,7
29. 8. 58	Salat (Zichorien)	0,7
19. 9. 58	Milch (Rotberg)	<0,2
11. 10. 58	Aepfel	1,5
23. 10. 58	Nüsslisalat	3,8

In den Regenwasserproben des Sommers und Herbstes 1958, welche neben dem ^{90}Sr aus der Stratosphäre noch viel ^{89}Sr und ^{90}Sr von neuen Atomexplosionen enthalten, überwiegt der Anteil an Strontium-89.

Im Verlaufe der Zeit, die vergeht vom Moment des Eindringens der Spaltprodukte in den Boden (via Regen) bis zur Ernte des Gemüses, zerfällt fast alles Strontium-89. Dies erklärt das Vorherrschen von Strontium-90 in pflanzlichen Nahrungsmitteln.

3. Die von uns erhaltenen Werte von Strontium-90 stehen im Einklang mit den Ergebnissen der grossangelegten Versuchsreihe der amerikanischen Atomenergie-Kommission (Projekt Sunshine). Somit dürfen wir die von amerikanischen Autoren angestellten Berechnungen auch auf unsere Verhältnisse übertragen. *Kulp* und seine Mitarbeiter [2]) errechneten auf Grund der in den Nahrungsmitteln bestimmten Strontiumwerte und mit Rücksicht auf die amerikanischen Ernährungsgewohnheiten eine Aufnahme von 6,5 S.U. pro Tag für das Jahr 1957. Der UNO-Expertenbericht [10]) schätzt die tägliche Zufuhr von Strontium-90 für die Milch trinkende Bevölkerung im Durchschnitt auf 3,8–5,8 S.U.

4. Der menschliche Organismus resorbiert nur einen gewissen Teil des ihm angebotenen Strontium-90; daher kommt es zu einer Abnahme der in den Nahrungsmitteln ursprünglich vorhandenen Strontiumeinheiten. Diese Verminderung des Verhältnisses von Strontium-90 zu Calcium («Discrimination factor») wird beispielsweise wie folgt angegeben [10])[11]):

Für den Menschen	Nahrung	: Knochen	= 4 : 1
für die Kuh	Futter	: Milch	= 7 : 1 (8:1)
für das Schaf	Gras	: Knochen	= 4 : 1.

Der Strontium-90-Gehalt der menschlichen Knochen beträgt laut UNO-Bericht [10]) für das Jahr 1957 bei Kleinkindern 1–2 S.U. Diese Werte entsprechen in der Tat etwa einem Viertel der in den Nahrungsmitteln festgestellten Mengen.

Zusammenfassend kann an Hand unserer eigenen Untersuchungen und der Ergebnisse englischer und amerikanischer Forscher gesagt werden, dass kein Grund für die Annahme einer alarmierenden Bedrohung der menschlichen Gesundheit besteht. Die jetzigen Strahlendosen liegen weit unterhalb der Werte, welche von den internationalen Kommissionen für Strahlenschutz für die gesamte Bevölkerung als maximal erlaubte Dosis festgesetzt worden sind. Doch muss darauf hingewiesen werden, dass die strahlenbiologische Forschung erst am Anfang steht und viele Probleme noch ungelöst sind. Ausserdem ist, selbst bei einer eventuellen Einstellung der jetzigen Kernwaffenversuche, mit einem weiteren Anwachsen der Strontiumwerte zu rechnen, da noch erhebliche Mengen dieser radioaktiven Substanz in die höheren Luftschichten, die Stratosphäre, gelangt sind, von wo sie im Laufe der nächsten 10 Jahre auf die Erdoberfläche fallen werden.

Zusammenfassung

Es wird die Radioaktivität von verschiedenen Nahrungsmitteln, gemessen in den Jahren 1957 und 1958, mitgeteilt. In einigen Lebensmitteln und Regenwasserproben wurden auch die radioaktiven Isotopen des Strontiums bestimmt.

Die Methoden zur Messung der Radioaktivität in Lebensmitteln sowie der radiochemischen Abtrennung von Strontium-90 werden beschrieben.

Résumé

Il est fait rapport sur les radioactivités de différentes denrées alimentaires constatées en 1957 et 1958. Dans quelques légumes, fruits et eaux de pluie les valeurs des isotopes du strontium sont déterminées.

Les méthodes pour mesurer la radioactivité et pour identifier le strontium-90 par séparation chimique sont également décrites.

Summary

The radioactivity of foodstuffs in the years 1957 and 1958 is given. In some samples of vegetables and rainwater the levels of the radioactives isotopes of strontium are determined.

The methods for the determination of the radioactivity and for the identification of strontium-90 with radiochemical separation are also described.

Literatur

1) *W. F. Libby,* Bull. d. Schw. Akad. d. med. Wissensch. **14**, 314 (1958).
2) *J. L. Kulp, R. Slakter,* Science **128**, 85 (1958).
3) *A. Miserez,* Mitt. **48**, 468 (1957), Mitt. **49**, 36 (1958).
4) *H. Schall* «Nahrungsmitteltabellen», 1949.
5) *P. Huber,* Bull. de. E. G. A. Beilage B 5/1958
(2. Bericht der eidg. Kommission zur Ueberwachung der Radioaktivität).
6) *R. Müller, J. Bäumler,* Mitt. **49**, 247 (1958).
7) z.B. *Frieseke-Höpfner,* Erlangen (Deutschland).
8) Die genaue Vorschrift wurde uns in freundlicher Weise von Herrn *W. Hunzinger* der Reaktor AG, Würenlingen, zur Verfügung gestellt.
UNO «Suggested Procedures for collection of Fallout samples» AAC. 82/Inf. 1 vom 20. IV. 1956.
B. Kahn, A. S. Goldin, J. Am. Water-Works Assoc. **49**, 767 (1957).
9) *W. G. Marley,* Bull. d. Schw. Akad. d. med. Wissensch. **14**, 359 (1958).
10) UNO «Report of the U.N. scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation» 13. Sess. Suppl. 17, A/3838 (1958).
11) *J. L. Kulp,* Bull. d. Schw. Akad. d. med. Wissensch. **14**, 426 (1958).