

Aus dem Institut für gerichtliche und soziale Medizin der Universität Kiel  
(Direktor: Prof. Dr. med. W. HALLERMANN)

und dem Physikalischen Institut der Bundesforschungsanstalt  
für Milchwirtschaft, Kiel (Direktor: Prof. Dr. rer. nat. E. KNOOP)

## Bestimmung und Gehalt radioaktiven Strontiums im menschlichen Knochen

Von

**D. MERTEN und O. PRIBILLA \***

Mit 2 Textabbildungen

Unter den radioaktiven Isotopen, die mit dem Fallout der Atom-bombenexperimente in die Umwelt des Menschen gelangen, ist das Strontium neunzig das wichtigste. Es ist ein  $\beta$ -Strahler mit einer Halbwertzeit von 28 Jahren. Etwa 60—70% des im Fallout enthaltenen Strontiums liegen in wasserlöslicher Form vor. Mit dem Regen und als direkte Ablagerung gelangt es in die oberflächlichen Bodenschichten und damit auch in und auf die Pflanzen. Die chemische Verwandtschaft mit dem Calcium bedingt, daß es mit diesem in biologische Systeme gelangt. So sehen Sie auf Tabelle 1 den Gehalt an Strontium neunzig in den

Tabelle 1. Der 90 Sr-Gehalt von Nahrungsmitteln in  $\mu\mu\text{C/g Ca}$

Getreide	Gemüse/Obst		Milch	Fleisch		Fisch			
Roggen	128	Zwiebeln	30	Milch	15	Kalb	1	Hering	0,1
Weizen	160	Grünkohl	12	Käse	12	Rind	4	Rotbarsch	0,1
Gerste	70	Salat	12			Schwein	2	Lengfisch	0,1
Hafer	10	Blumenkohl	20			Gans	5		
Mais	44	Tomaten	80			Hase	10		
Reis	150	Kartoffeln	20			Hirsch	65		
Mehl	30	Weißenkohl	7						
(Roggen, Weizen)		Bananen	5						
		Apfelsinen	10						

Weitere Einzelheiten s. bei D. MERTEN und E. KNOOP.

Hauptnahrungsmitteln, wie er in der Kieler Bundesanstalt für Milchforschung von MERTEN u. KNOOP bestimmt werden konnte. Die Konzentration wird dabei in  $10^{-9}$  Mikro-Curie pro Gramm Calcium angegeben. Man sieht, daß vor allem Milch und Milchprodukte sowie die übrigen calciumhaltigen Grundnahrungsmittel wie Getreide einen hohen Stron-

\* Nach einem Vortrag, gehalten von O. PRIBILLA auf dem Kongreß der Deutschen Gesellschaft für gerichtliche und soziale Medizin, Zürich, September 1958.

tium neunzig-Spiegel aufweisen. Der Calciumbedarf des Menschen wird vorwiegend aus der Milch gedeckt. Wegen ihrer besonderen Bedeutung gerade auch für die Entwicklung des kindlichen Skelets wurde daher der Strontium neunzig-Gehalt in der Milch Deutschlands seit 1955 in Kiel verfolgt (Abb. 1). Jeder Meßwert entspricht einer Probe aus den verschiedenen Teilen der Bundesrepublik und ist auf den Kubikzentimeter bezogen. Wie Sie sehen, sind die aufzufindenden Strontiumaktivitäten bis zum Jahre 1957 rund um den Faktor drei angestiegen. Von Bedeutung für die Abschätzung des biologischen Risikos, das mit jedem neuen

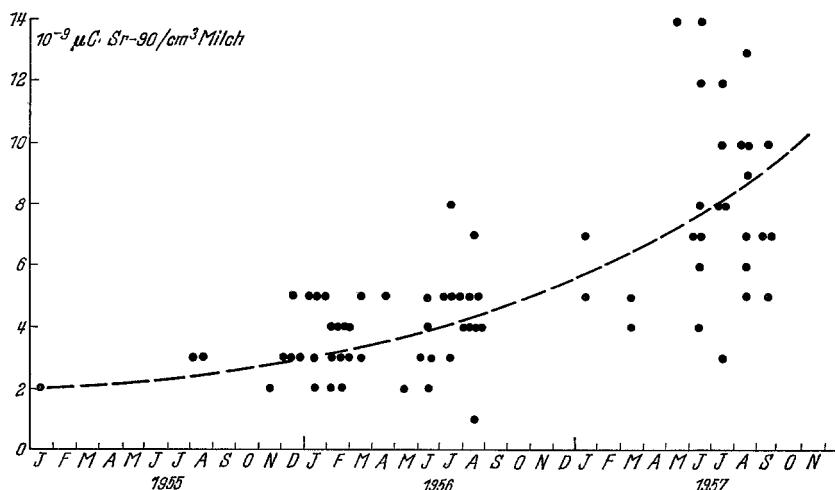


Abb. 1. 90 Sr.-Gehalt in der Milch (Bundesrepublik)

Atombombenversuch wächst, ist aber nicht der Anstieg in der Nahrung, sondern der Gehalt von Strontium neunzig im menschlichen Knochen. Die Schädigungsmöglichkeit durch den Einbau eines langlebigen  $\beta$ -Strahlers in die Knochenstruktur des Menschen ist primär wegen der geringen Reichweite der Strahlung im Gewebe keine genetische. Die Bedeutung des Problems liegt aber darin, daß die Erkrankungsrate für Leukämie und vor allem an Osteosarkomen beeinflußt werden könnte. Besonders wenn die Strahlung am kindlichen, hochempfindlichen Substrat wirksam wird. Die Latenzzeit für die Entstehung der genannten Erkrankungen ist sehr lang und wird naturgemäß beim jungen Individuum eher voll ausgelebt. Für die strahleninduzierten Krebse soll sie rund 20 Jahre, für die Leukämie aber nur etwa 5 Jahre betragen. Dabei ist die Bedeutung quasi unterschwelliger Strahlendosen im Knochen selbst noch kaum erforscht. Es erschien daher notwendig, auch im Kieler Gebiet die Aufnahme des Radiostrontiums in den Knochen zu beobachten. Wie aus dem jüngsten Forschungsbericht der Vereinten

Nationen vom 8. August 1958 hervorgeht, sind bisher vor allem in Amerika und einigen anderen Ländern derartige Untersuchungen durchgeführt worden. Hier sei vor allem auf die Arbeit der Amerikaner KULP, ECKELMANN und SCHULERT verwiesen. In ihr wurden auch Knochenproben aus dem Hamperlschen Institut in Bonn aus den Jahren 1956/57 mitverwertet. Wir konnten in einer ersten Serie von Knochenproben des Jahres 1958 aus dem Raume Schleswig-Holstein erstmals in Deutschland selbst die in Tabelle 2 aufgeführten Werte bestimmen.

Tabelle 2. *Der 90 Strontium-Gehalt in Menschenknochen (in  $\mu\mu$  C/g Ca)*

Altersgruppen	Raum Kiel 1958 (MERTEN-PRIBILLA)	Raum Bonn 1956/57 (nach KULP u. Mitarb.)	England 1956/57
0—10	2; 1,1; 0,4; 0,9	0,08—0,46	0,4—2,4
10—20	—	0,11	0,2—0,5
20—30	0,1		
30—40	0,1		
40—50	0,2; 0,1	0,03—0,08	0,1—0,7
50 und älter	0,1; 0,1; 0,1; 0,1 0,1; 0,2; 0,1; 0,1		

Wir haben jeweils Femurstücke und nur bei Säuglingen die gesamten langen Röhrenknochen verascht. Anschließend wurde die Knochenasche nach der Methode von BRYANT aufgearbeitet. Sie besteht darin, daß die Asche in Salpetersäure gelöst und nach Zugabe eines Strontiumträgers mit rauchender Salpetersäure gefällt wird. Dabei bleibt das Calcium in Lösung. Man trennt dann noch die Fremdaktivitäten durch eine Eisenfällung und Bariumtrennung ab und erhält zum Schluß einen Strontiumcarbonat-Niederschlag. Dieser muß zur Einstellung des Gleichgewichtes mit dem sehr viel energiereicher strahlenden Tochterisotop Yttrium neunzig 14 Tage stehen. Aus der dann gemessenen Yttriumaktivität errechnet man unter Zugrundelegung der Trägerstrontiumausbeute die pro Gramm Calcium im Knochen vorhandene Strontium neunzig-Menge. Auf Tabelle 2 sehen Sie in der ersten Spalte unsere Kieler Werte. Zum Vergleich sind in Spalte 2 die in Amerika bestimmten Werte des Bonner Materials aus den Jahren 1956/57 und in Spalte 3 englische (s. 2) Ergebnisse aufgeführt. Der Mittelwert bei Kindern von 0—10 Jahren betrug 1,12 Mikromikro-Curie pro Gramm Calcium. Demgegenüber liegt der Mittelwert älterer Individuen von 20—90 Jahren bei 0,11. Auch bei unseren Versuchen konnte also bestätigt werden, daß der jugendliche Organismus bereits einen wesentlich höheren Gehalt an radioaktivem Strontium aufweist als der ausgewachsene. Während man noch im Jahre 1956 mit einem Faktor 5—6 bei Kindern gegenüber dem Erwachsenen rechnete, haben wir 1958 bereits einen solchen von 10 erreicht. Dabei bleiben die individuellen Schwan-

kungen natürlich erheblich. Die Gesamtrendenz scheint aber eine ansteigende zu sein. Die Durchschnittswerte für kindliche Knochensubstanz liegen somit bei einem Hundertstel der maximal zulässigen Konzentration. Bisher nahm man aus gewissen Analogien zu Radiumschädigungen etwa 100 Mikromikro-Curie pro Gramm Calcium als erlaubten Höchstwert an. Einzelne Autoren sind aber im Hinblick auf die Leukämogenese bereits der Meinung, man solle diesen Grenzwert auf  $\frac{1}{10}$  herabsetzen. Es wird also erforderlich sein, die weitere Entwicklung des Radiostrontium-Spiegels systematisch zu beobachten. Da nun

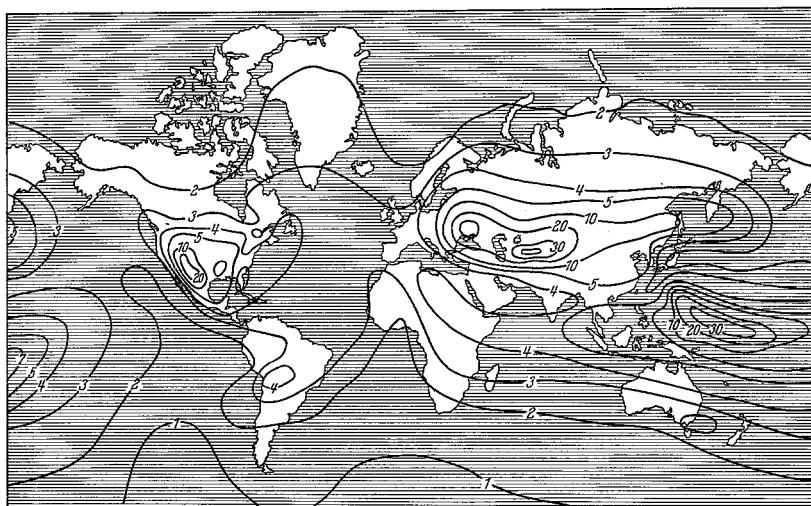


Abb. 2. Linien gleicher 90 Sr.-Dichte im Boden nach M. YASUO

MERTEN u. KNOOP bei der Milch und pflanzlichen Nahrungsmitteln auffällige Unterschiede zwischen Werten aus Gegenden über 1500 m Meereshöhe und regenreichen Ländern einerseits sowie trockenen Flachlandgebieten auffinden konnten, möchten wir Sie bitten, uns entsprechendes Untersuchungsmaterial einzusenden. Die Unterschiede sind auch für den Knochen zu erwarten, da der regionale Fallout ungleichmäßig über die Welt verteilt ist. Auf Abb. 2 sehen Sie die Linien gleicher Strontium 90-Dichte im Boden eingezeichnet (M. YASUO). Die nördliche Halbkugel weist einen wesentlich größeren Gehalt auf als die südliche. Dies hängt mit der Häufigkeit der Experimente in der Wüste von Nevada und Sibirien zusammen, wobei auch meterologische Besonderheiten von Bedeutung sind. Wenn Sie unsere Arbeit unterstützen wollen, wären wir für die Einsendung von Unterschenkelknochen (Tibia) in Menge von 50—100 g Frischgewicht dankbar. Nach den UNO-Empfehlungen sollten die Proben mit dem Datum des Todes oder der Obduktion, dem Alter, dem

Herkunftsart und bei Kindern nach Möglichkeit auch der Ernährungsweise (Brustkind oder künstlich ernährt) versehen sein. Bei Säuglingen müßten dann, um genügend Material zu haben, die gesamten langen Extremitätenknochen eingesandt werden. Dabei interessieren in erster Linie die Altersklassen bis 20 Jahre. Sie würden uns damit helfen, weitere Grundlagen zur Abschätzung der Gefährdung des Menschen durch das Strahlenrisiko des Atomstaubes zu erarbeiten.

### Zusammenfassung

Es wird ein erster Überblick über den Gehalt der Grundnahrungsmittel an Strontium 90 gegeben. Vor allem der Anstieg dieses aus dem Fallout der Atombombenexperimente stammenden langlebigen  $\beta$ -Strahlers in der Milch Deutschlands seit 1955 um den Faktor 3 wird demonstriert. Eine erste Untersuchungsserie an menschlichen Knochen des Jahres 1958 im Kieler Raum zeigt, daß bei jugendlichen Individuen ein um rund den Faktor 10 höherer Gehalt an Sr<sup>90</sup> gegenüber den Altersklassen 20—90 Jahren erreicht ist. Dies steht in Übereinstimmung mit ausländischen Erfahrungen. Es erscheint wegen der noch völlig ungeklärten Bedeutung des Einbaus eines Radioisotopes in den Knochen selbst erforderlich, die begonnenen Untersuchungen im größeren Rahmen fortzusetzen, um weitere Grundlagen zur Abschätzung des biologischen Risikos der Atombombenexperimente vor allem im Hinblick auf Leukämie- und Carcinogenese des Menschen zu erarbeiten. Um Übersendung entsprechenden Untersuchungsmaterials wird gebeten.

### Literatur

BRYANT, F. J., G. N. HENDERSON, G. S. SPICER and M. S. W. WEBB: Rep. Nr AERA C/R 2583, London 1958. — KULP, I. L., R. ECKELMANN, A. R. SCHULER: <sup>90</sup>Sr in man. Science 125, 219 (1957). — MERTEN, D., und E. KNOOP: Der <sup>90</sup>Sr-Gehalt von Milch in den Jahren 1955 bis 1957. Kieler milchwirtsch. Forsch.-Ber. 10, 1 (1958). — Der 90-Sr Gehalt in Nahrungsmitteln. Im Druck. — MIYAKE YASUO: Reprinted of the research in the effects and influences of the nuclear bomb test explosions. Tokyo 1957. Report of the United Nations Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York 1958.