

In der Nacht vom 25. zum 26. April 1986 geriet der Reaktor 4 des Kernkraftwerkes in Tschernobyl außer Kontrolle und in Brand. In der Folge wurden große Mengen radioaktiver Gase und Partikel in die Atmosphäre freigesetzt und weite Teile Europas je nach vorherrschenden Wind- und Klimabedingungen mit radioaktivem Material kontaminiert. Am stärksten waren ein Umkreis von 30 Kilometern um das Reaktorgelände und Teile Weißrußlands, Rußlands und der Ukraine betroffen.

Tschernobyl – Zehn Jahre Messungen mit dem Ganzkörperzähler des Strahlencentrums

Strahlenbelastung von Kindern aus Weißrußland und der Ukraine

■ Von Georg Seibold,
Horst Weintraut
und Gerd Weigand

1 Becquerel [Bq]:
1 Zerfall pro Sekunde
(Einheit der Radioaktivität)

Cs: Cäsium

1 Curie: $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
(alte Einheit der Radioaktivität)

Unmittelbar nach Bekanntwerden des Reaktorunfalls und der Kontamination wurden in Deutschland Vorsorge Maßnahmen ergriffen. So lief zur Abschätzung der Strahlendosen durch inkorporierte Radioaktivität für die Bevölkerung in Hessen ein Meßprogramm an, in dem vorwiegend hessische Kinder am Ganzkörperzähler des Strahlencentrums untersucht wurden. Die-

ses Programm wurde 1988 abgeschlossen, weil bis auf wenige Ausnahmen die ^{137}Cs -Konzentration der Kinder in Hessen bereits unter die Nachweisgrenze auf 0 bis 1 Bq/kg (Körpergewicht) abgesunken war. Dies war sicher für die Bevölkerung – und vor allem für die Kinder – aus den stärker kontaminierten Regionen der ehemaligen UdSSR nicht anzunehmen. Unter Leitung von Prof. Dr. Ernst Ludwig Sattler und Dr. Georg Seibold vom Strahlencentrum wurde deshalb das Ganzkörpermeßprogramm für Kinder aus den betroffenen GUS-Staaten, die hier zu Ferienaufenthalten in Hessen waren, weitergeführt. Über die Ergebnisse und wie sie zu bewerten sind, soll hier berichtet werden. Seit 1991 – nach Auflösung der UdSSR – kamen zunehmend Kinder aus der Ukraine und Weißrußland durch private Initiativen von Kirchengemeinden und anderen

Gruppen zu Urlaubsaufenthalten in die Umgebung von Gießen. Ihre Herkunftsdörfer und -städte lagen in Gebieten, für die der IAEO-Bericht „The International Chernobyl Project“ eine Bodenkontamination von 1 bis 5 Curie pro km^2 ^{137}Cs (entspricht 37 bis 185 kBq pro m^2) angibt. In den Jahren 1991 bis 1995 wurden in Zusammenarbeit mit den Betreuern der Gruppen circa 800 Kinder im Strahlencentrum am Ganzkörperzähler auf Inkorporation von ^{134}Cs beziehungsweise ^{137}Cs untersucht. Darüber hinaus konnte durch wiederholte Messungen bei denselben Kindern – sie waren bis zu zwölf Monate in den Familien untergebracht – erstmals an einer großen Zahl von Kindern die Abnahme der radioaktiven Cäsiumbelastung bei Ernährung mit praktisch unkontaminierten Lebensmitteln hier in Hessen bestimmt werden.

JUSTUS-LIEBIG-
UNIVERSITÄT
GIESSEN

Dr. Georg Seibold
Dipl.-Phys. Horst Weintraut
Gerd Weigand

Zentrale Biotechnische Betriebseinheit
Strahlencentrum
Leihgesterner Weg 217
35392 Gießen
Telefon (0641) 702-2646

Die Motivation für diese Messungen waren:

1. Fortsetzung des Ganzkörperzähler- Meßprogramms und Vergleich der Meßwerte von Hessen mit den GUS-Staaten
2. Bestimmung der tatsächlichen Inkorporation, um die interne Strahlendosis zu ermitteln
3. Hilfe bei der Bewertung dieser Strahlenbelastung
4. Beantwortung von Anfragen aus Schulen, von Eltern und Verwaltungsstellen
5. Information für die betroffenen Kinder; realistischer Umgang mit Meßwerten; Abbau von Ängsten
6. Bestimmung der biologischen Halbwertszeit von ^{137}Cs
7. Auffinden besonders hoch kontaminierter Kinder zur Reduktion des radioaktiven Cäsiums

Was ist ein Ganzkörperzähler?

Mit einem Ganzkörper-Gamma-spektrometer kann man im Körper aufgenommene radioaktive Nuklide messen, die Gammastrahlen aussenden. Die Strahlung muß allerdings so energiereich sein, daß sie aus dem Körper austritt und mit einem Detektorsystem gemessen werden kann. Diese Bedingung erfüllen die meisten Gammastrahler, die außerdem noch zur Identifikation der Nuklide über ihre Gammastrahlungsenergie aufgelöst werden können. Schematisch ist die Meßanordnung in Abbildung 1 dargestellt. Die Meßkammer ist als Low-Level-Meßraum ausgelegt, das heißt, der natürliche Gammastrahlenuntergrund des Raumes wird möglichst niedrig gehalten, um noch geringe Aktivitäten messen zu können. Dies wurde unter anderem durch ausgesuchte radioaktivitätsarme Baumaterialien erreicht. Die Meßzeiten betragen 10 bis 30 Minuten. Da die Empfindlichkeit sehr von Körpergröße

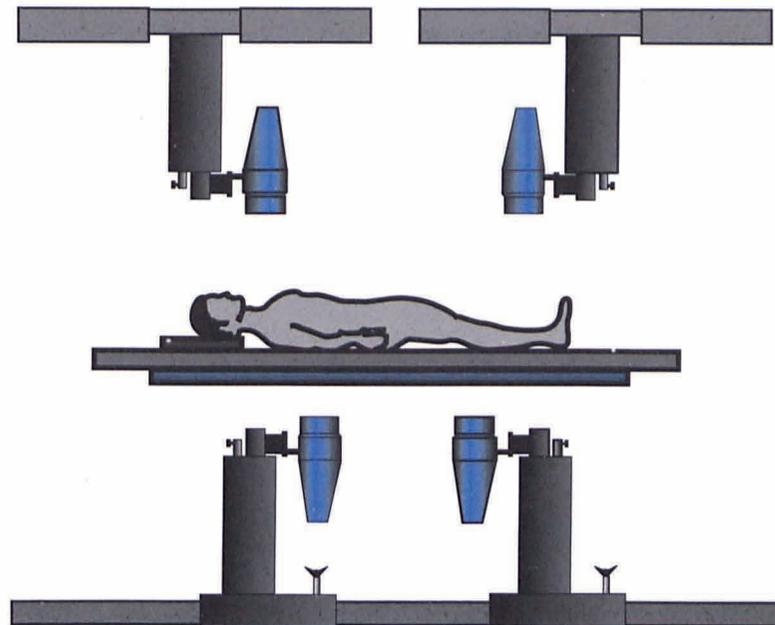


Abbildung 1: Die sogenannte Mehrkristall-Liegeanordnung besteht aus vier $13 \times 15 \text{ cm}$ großen NaJ(Tl) -Kristalldetektoren, von denen zwei oberhalb und zwei unterhalb der Liege angebracht sind. Der gesamte Körper wird so möglichst gleichmäßig für die Messung erfaßt.

NaJ(Tl) :
Natriumjodid mit
Thallium dotiert

und -gewicht abhängt, wird der Ganzkörperzähler über Standard- und Phantommessungen kalibriert. Für viele Radionuklide läßt sich damit die Körperaktivität in Becquerel pro Kilogramm Körpergewicht direkt bestimmen und daraus die Strahlendosis berechnen.

Warum wird heute nur noch ^{137}Cs gemessen?

Nach der Explosion des Reaktors wurde noch Radioaktivität mit unterschiedlicher Intensität bis zum 10. Mai 1986 freigesetzt. Eine Abschätzung [2] zeigt, daß die freigesetzte Radioaktivität aerosolgebunden (ca. 10^{18} Bq) oder als Edelgase (ca. $1,7 \times 10^{18} \text{ Bq}$) in die Atmosphäre gelangte. Der überwiegende Teil dieser radioaktiven Nuklide hat eine kurze physikalische Halbwertszeit, ist damit abgeklungen und heute nicht mehr meßbar.

Dies bedeutet aber auch, daß für die Zeit unmittelbar nach der Katastrophe für die Bevölkerung der verschiedenen Regionen vielfach höhere Strahlenexpositionen zu berücksichtigen sind als heute.

Besonders ^{131}Jod (Halbwertszeit 8 Tage) sowie $^{132}\text{Tellur}$ und ^{132}Jod führten kurzzeitig zu hohen Strahlendosen, verstärkt noch durch die Anreicherung in der Schilddrüse nach Inhalation, besonders aber bei Kindern durch die konsumierte Milch. Aus Messungen an der Schilddrüse wurden Kollektivdosen für Kinder von 0,015 bis 0,3 Sievert berechnet; Individualdosen erreichten aber auch Werte von 0,1 bis 5 Sievert.

Heute dagegen sind allein die langlebigen Radionuklide ^{134}Cs (Halbwertszeit 2 Jahre), ^{137}Cs (Halbwertszeit 30 Jahre), ^{90}Sr (Halbwertszeit 28 Jahre), ^{238}Pu , ^{239}Pu und ^{240}Pu (Halbwertszeiten von 86, 24.000 und 6.500 Jahren) von Bedeutung für die externe und interne Strahlenexposition. Strontium und Plutonium wurden jedoch überwiegend in einer Zone von 30 km um den Reaktor abgelagert. Berücksichtigt man außerdem, daß die Plutonium-Isotope Alphastrahler sind, $^{90}\text{Strontium}$ ein Betastrahler ist, also mit einem Gammazähler nicht zu messen sind, wird es verständlich, warum eine Ganzkörpermessung

1 Sievert [Sv]:
1 Joule absorbierte
Strahlungsenergie pro kg Körpergewicht (Einheit der Äquivalentdosis)

$^{137/134}\text{Cs}$: radioaktive Cäsiumisotope

Sr: Strontium

Pu: Plutonium



Georg Seibold hat Biologie und Biophysik in Gießen und Hamburg studiert und ist im Institut für Biophysik im Strahlencentrum promoviert worden. Sein wissenschaftliches Arbeitsgebiet ist die Strahlenbiologie und speziell die Auswirkungen radioaktiver Strahlung auch auf den Menschen. Weitere wissenschaftliche Projekte sind der Einsatz radioaktiver Isotope und deren Meßtechnik, Bildanalyse und moderne biophysikalische Arbeitsmethoden als wissenschaftliche Dienstleistung bei interdisziplinären Forschungsprojekten. Die besondere strahlenökologische Problematik und die gesundheitlichen Folgen in der Ukraine nach der Reaktor-katastrophe von Tschernobyl konnte er anlässlich einer Einladung nach Kiew 1994 studieren.

K: Kalium

Strahlencentrum Gießen
Messdatum: 12-MAY-92

Giessen, den 12-MAY-92

Name: XXXXXXXXXX
Geburtsdatum: 01.12.79 Gewicht [kg]: 45.0
Spektrennamen: GKZ102 Messzeit [min]: 15.0

Nuklid	Gesamt-Akt. [Bq]	Bq/kg	1/4-a-Dosis [uSv]
Cs-137	72240.9 +/- 281.8	1605.4	1156.66
Cs-134	4207.0 +/- 71.1	93.5	73.76
K-40	3719.9 +/- 268.2	82.7	63.86
Ges.Cs	76447.9 +/- 352.9	1698.8	1230.42

Cs-137 : 411860.4 Counts
Cs-134 : 22370.4 Counts
K-40 : 2123.1 Counts

Abbildung 2: Meßprotokoll

gen sich auf ^{137}Cs und ^{134}Cs beschränkt.

Das Cäsium nimmt in der Radioökologie eine Sonderstellung ein: Es strahlt intensiv, „vagabundiert“ und ist löslich, wird also zum Teil von Pflanzen aufgenommen und gelangt so in die Nahrungskette des Menschen.

Bei dem Reaktorunfall wurden etwa 2,3 Megacurie ^{137}Cs und 1,2 Megacurie ^{134}Cs freigesetzt. Dies führte zu unterschiedlichen Bodenkontaminationen in ganz Europa, besonders aber zu hochkontaminierten Regionen in Weißrußland, der Ukraine und Rußland. Dort werden Bodenkontaminationen von etwa 37 kBq/m² (1 Curie/km²) bis zu 555 kBq/m² (>15 Curie/km²) gemessen. In diesen letztgenannten Zonen, die als besondere Kontrollzonen ausgewiesen sind, leben circa 270.000 Einwohner. Das Verhältnis von ^{137}Cs zu ^{134}Cs betrug anfangs 2:1 und ist inzwischen wegen der geringeren Halbwertszeit von ^{134}Cs auf heute 20:1 abgesunken.

Die Messung

Die Kinder wurden möglichst sofort nach ihrer Ankunft hier in Gießen gemessen. In der Abbildung 2 ist ein Meßprotokoll mit den darin enthaltenen Daten: Gesamtaktivität (Bq), der Radionuklidkonzentration (Bq/kg) und der Jahresdosis (μSv pro Vierteljahr) wiedergegeben. Um eine Korrelation zwischen künstlich erzeugter und natürlicher Radioaktivität anzugeben, wurde ebenfalls das ^{40}K gemessen. Ein Gramm

Kalium enthält 31 Bq des natürlich vorkommenden Radionuklids ^{40}K , so daß sich allein schon daraus bei jedem Menschen eine Körperaktivität von circa 50 Bq/kg ergibt.

Die aus der Gesamtaktivität resultierende interne Strahlendosis wird nach

$$D (\text{intern}) = A \times (\text{DFi}) [\text{mSv/a}]$$

D: interne Dosis

DFi: Dosisfaktor

A: Aktivität in kBq

berechnet. Der Dosisfaktor wird in mSv pro kBq pro Jahr angegeben. Er ist bei Kindern höher als bei Erwachsenen und altersabhängig. Es wird davon ausgegangen, daß die ^{137}Cs -Körperaktivität über das ganze Jahr als konstant angenommen werden kann.

Die berechneten Werte für die Jahresdosis wurden für jede Kindergruppe für die Jahre 1991 bis 1995 getrennt in eine Verteilung aufgenommen, deren x-Achse in unterschiedliche Dosisbereiche aufgeteilt war. Sie umfaßt Dosisbereiche von 0 bis 2.000 μSv , die an der natürlichen Umgebungsstrahlung ausgerichtet sind. Diese natürliche Umgebungsstrahlung ist in der Bundesrepublik ortsabhängig und beträgt circa 2.000 μSv /Jahr. Die Anzahl der Kinder pro Gruppe schwankte zwischen 18 und 46. Diese Verteilungen wurde für verschiedene Herkunftsorte in eine Karte (Abbildung 3) übernommen. Die Meßwerte für die Gesamtcesiumbelas-

stung aller Kinder wurden außerdem in drei Kategorien eingeteilt, die sich nach der Einteilung, wie sie in dem Meßprogramm der Bundesrepublik 1991 bis 1993 [3] vorgenommen war, richtete. Die Grenzen zwischen der 1. und 2. Kategorie entsprechen einer internen Strahlendosis von 0,3 mSv/Jahr, die Grenzen zwischen der 2. und 3. Kategorie entspricht circa 1 mSv pro Jahr. Dieser natürlichen Strahlenbelastung sind etwa 40 Prozent der Bevölkerung ausgesetzt.

Tabelle 1: Klassifizierung zur Bewertung der internen Strahlenbelastung pro Jahr für Kinder

Kategorie 1	< 4 kBq	81 %
Kategorie 2	4 – 15 kBq	13 %
Kategorie 3	> 15 kBq	6 %

Aus diesen Angaben ist ersichtlich, daß nur etwa 6 Prozent der Kinder höhere Strahlendosen als 1 mSv pro Jahr durch das aufgenommene $^{134/137}\text{Cs}$ erhalten. Für Kinder aus dem Ort Oleman wurden jedoch besonders hohe Ganzkörperkontaminationen gemessen. Daraus ergeben sich Werte von bis zu 5 mSv pro Jahr, was aber auch noch weit unter der Grenze für beruflich strahlenexponierte Personen liegt, wie sie in der Strahlenschutzverordnung festgelegt ist (derzeit 10 mSv pro Jahr). Ursache für die unterschiedliche Ganzkörperaktivitäten sind vorwiegend in den Ernährungsgewohnheiten und in der Kontamination der Lebensmittel zu sehen. So ist der Bezirk um Oleman ländlich geprägt, wo die Bewohner sich überwiegend von den eigenen landwirtschaftlichen Produkten ernähren. Die Waldnähe, die Ernährung durch Milch und Pilze sowie unterschiedliche Bodenqualität und -kontamination erklären die erhöhte Ganzkörperaktivität. Zu berücksichtigen ist allerdings, daß in den kontaminierten Gebieten die Kinder auch einer externen Strahlendosis ausgesetzt

sind, die von der lokalen Bodenkontamination mit Radiocäsium abhängt. Diese externe Strahlendosen sollte man für die Berechnung der gesamten Strahlenbelastung berücksichtigen, die sich

aus der internen und der externen Dosis zusammensetzt. Die Abschätzung der externen Dosis hängt jedoch sehr von radioökologischen Parametern ab:

- lokale inhomogene

Kontamination,

- Bodenbeschaffenheit (bearbeiteter oder unbearbeiteter Boden),
- ländliche oder städtische Bereiche,
- Waldnähe und anderes.

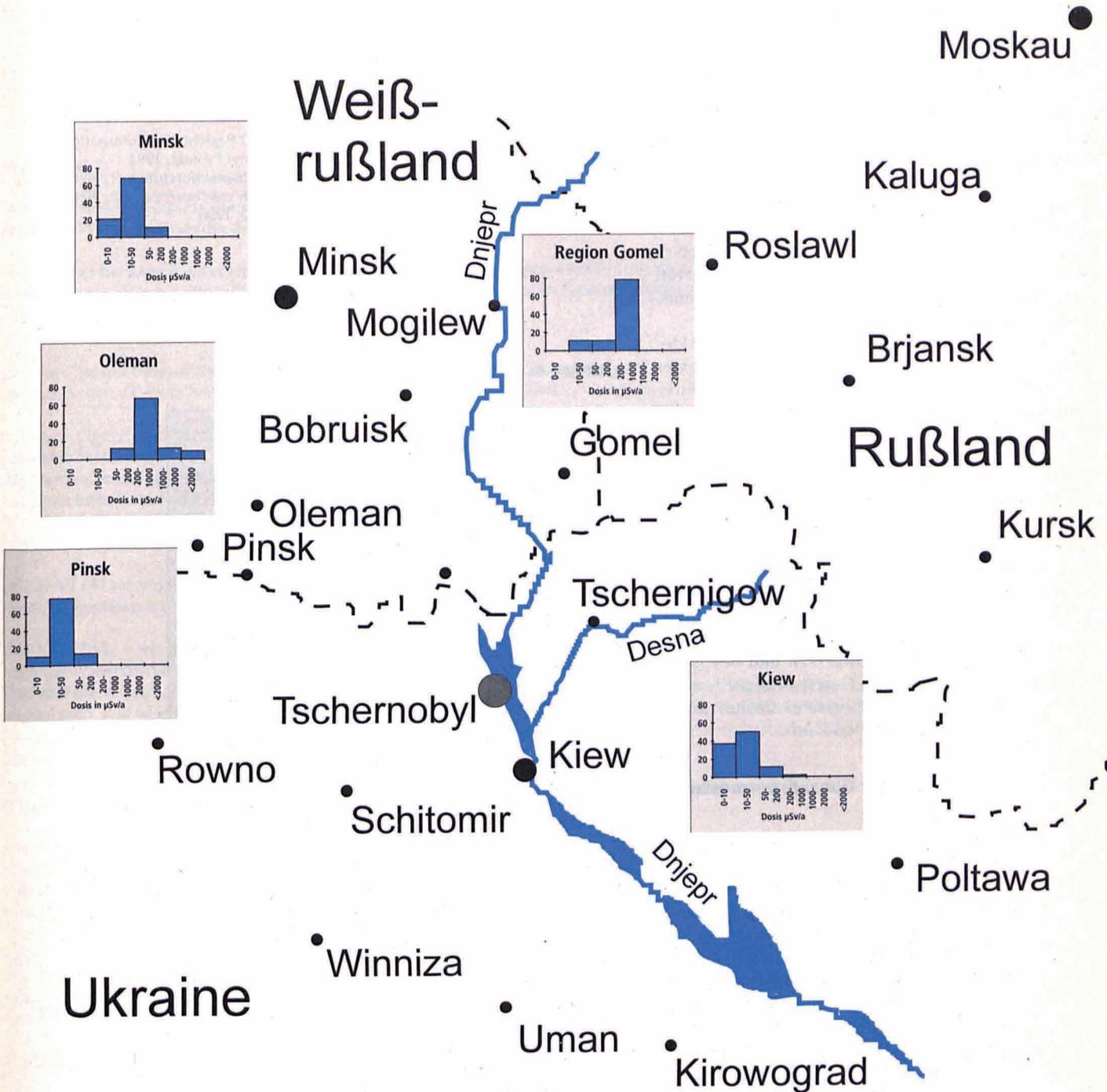


Abbildung 3: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Jahresdosisbelastung durch Radiocäsium in Gebieten der ehemaligen Sowjetunion (sämtliche Werte von 1993 bis auf Kiew 1991)



Horst Weintraut, Jahrgang 1961, studierte an der Universität Gießen Physik und Philosophie. Seit acht Jahren arbeitet er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Zentralen Abteilung - jetzt Zentrale Biotechnische Betriebseinheit - des Strahlencentrums. Seine Hauptarbeitsgebiete sind die digitale Bildanalyse, die Radioisotopenmeßtechnik sowie die Softwareentwicklung. Er legt besonders Wert auf eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mit den Fachbereichen 13 bis 20.

In der Literatur [3] werden für die externe Strahlendosen Werte von 0,3 bis 1 mSv pro Jahr angegeben, also in der Größenordnung, wie sie für die internen Dosen berechnet werden.

Wird das Cäsium im Körper gespeichert ?

Einige Kinder waren für längere Zeit in Familien untergebracht, so daß etwa 30 Kinder wiederholt gemessen werden konnten. Diese Werte sind für ein Kind, das zwischen durch für etwa 13 Wochen wieder in seinem Heimatort gelebt hat, in der Abbildung 4a und für mehrere Kinder in der Abbildung 4b gezeigt. Der Kurvenverlauf zeigt eindeutig, daß durch die Ernährung mit unkontaminierten Lebensmitteln die ^{134/137}Cäsiumaktivität im Körper abnimmt. Aus der Abnahme der Radioaktivität kann die Zeit berechnet werden, in der sich die Cäsiumaktivität durch Ausscheidung halbiert, wenn keine weitere Zufuhr an ^{134/137}Cs erfolgt. Sie wird als biologische Halbwertszeit des Radiocäsiums bezeichnet, ist altersabhängig und beträgt für Kinder im Alter von 5 bis 12 Jahren circa 54 Tage. Für Erwachsene liegen diese Werte bei circa 100 bis 120 Tagen. Die biologische Halbwertszeit ist viel kürzer als die physikalische Halbwertszeit und bestimmt damit die Geschwindigkeit, mit der inkorporiertes Cäsium abgebaut werden kann.

Fazit der Ganzkörpermessungen:

1. Die Kinder in den Städten sind weitgehend frei von inkorporierter Radioaktivität. Es werden Belastungen von wenigen Bq pro kg Körpergewicht gemessen, in Minsk und Kiew zum Beispiel überwiegend 0 bis 3 Bq/kg.
2. In ländlichen Regionen, die mit 1–5 Curie/km² belastet waren, wurden sehr unterschiedliche Werte für die Ganzkörperbelastung mit ^{134/137}Cs gemessen.
3. Es besteht eine Korrelation zwischen den Ernährungsgewohnheiten, der Bodenkontamination, dem Grad der Selbstversorgung

und dem Grad der Radiocäsiumbelastung.

4. Durch eine Aufklärung der Betreuer, der Kinder und – wie wir hoffen – der Eltern wurde eine Änderung der Ernährungsgewohnheiten erreicht, mit dem Ziel, weniger kontaminierte Lebensmittelprodukte und Obst zu verzehren. Bei Kindern, die ein Jahr später erneut gemessen wurden, konnte tatsächlich eine Reduktion der Ganzkörperbelastung festgestellt werden.

5. Bei Betreuern und Kindern konnten Ängste abgebaut und ein realistischer Umgang mit den Meßwerten vermittelt werden.

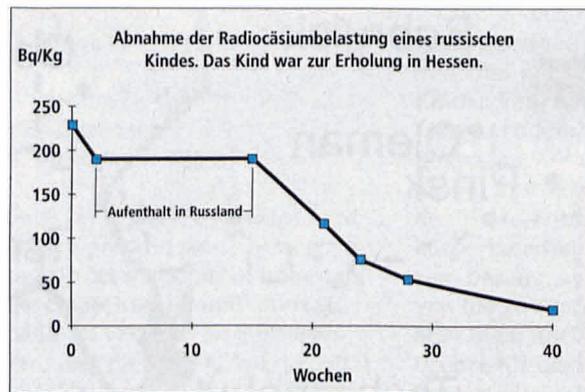
6. Nur bei wenigen Kindern (circa 6 bis 8%) liegt die interne Strahlendosis durch ^{134/137}Cs-Inkorporation über dem Wert für die natürliche Strahlenbelastung.

7. Die biologische Halbwertszeit von ^{134/137}Cs wurde für Kinder von 5 bis 12 Jahren mit 54 Tagen bestimmt. ■

LITERATUR

- [1] IAEO Bericht, The international Chernobyl Projekt, 1991
- [2] Strahlenschutzpraxis 2, Heft 1, 1996
- [3] Strahlenschutzpraxis 2, Heft 1, S. 10–13, 1996

Abbildung 4a



Abnahme der inkorporierten Radiocäsiumbelastung bei Ernährung mit unkontaminierten Lebensmittel.

4a: Messwerte eines einzelnen Kindes linearer Maßstab; 4b: Übersichtshalber wurden nur die Werte weniger Kinder eingetragen. Man beachte den logarithmischen Maßstab.

Abbildung 4b

