Schilddrüsenbelastung nach Tschernobyl

H. Kuni, B. Schmid, M. Bachmann
Abteilung für klinische Nuklearmedizin im Medizinischen Zentrum für Radiologie der Philipps-Universität Marburg, Baldingerstraße, 3550 Marburg

Zusammenfassung

Eine Felduntersuchung der Schilddrüsenaktivität bei 1.590 Personen vom 12.05.-1.06.1986 ergab Werte von 0-349 Bq. In der Altersgruppe 14-45 a fiel die mittlere Aktivität von 109,9 Bq (berechnet zum 11.05.) mit einer effektiven Halbwertszeit von 15,0 d in Übereinstimmung mit dem Modell von ICRP 29 ab. Das entspricht einer Organdosis von ≈0,4 mSv. Kinder von 1-7 a berechneten sich zum 11.05.≈40% niedriger, zum Ende der Untersuchung aber um den Faktor ≈1,6 höher (T1/2efff = 111,0 d). Das Klientel hatte weitgehend alle Ratschläge zur Inkorporationsprophylaxe beachtet. Eine signifikante Korrelation mit dem Milchkonsum belegt, dass dieser Inkorporationspfad strenge Limitierung verdient. Die Verwendung jodierten Speisesalzes erwies sich als ungenügend wirksam. Neben Verbesserungsvorschlägen zur Inkorporationsprophylaxe wird der Vorschlag einer Schilddrüsenblockade mit hohen Joddosen im Kindesalter unterstützend aufgegriffen.

Einleitung

Nach dem Durchzug der Radioaktivitätswolke aus dem Kernreaktorunfall von Tschernobyl am 1./2. Mai 1986 untersuchten wir die Belastung der Schilddrüse durch ^{131}I mit Reihenmessungen der Schilddrüsenaktivität. Wir gingen von der Arbeitshypothese aus, dass Beschäftigte in der Land- und Forstwirtschaft sich einer Inhalation der Radioaktivität besonders schwer entziehen konnten und dass in der ländlichen Bevölkerung besonders häufig (kontaminierte) Lebensmittel aus eigener Herstellung verzehrt werden. Die Untersuchungen wurden deshalb in den ländlichen Gemeinden um Marburg herum durchgeführt und im Vergleich dazu in einigen Gemeinden in Südhessen, wo wesentlich höhere Luftaktivitäten gemessen worden waren als in Nordhessen.

Methodik

Vom 12.05. bis 1.06.1986 wurden 1.590 Personen gemessen (davon 117 von außerhalb). Folgende Daten wurden zusätzlich ermittelt: Alter, Größe, Gewicht, Geschlecht, schilddrüsenspezifische Medikation, Schilddrüsenerkrankung und Schilddrüsenoperation, Verwendung von Jodsalz, Verzehr von Milch und Gemüse, Aufenthalt im Freien – insbesondere vom 1.05.-4.05.1986 -, die körperliche Belastung dabei sowie Exposition durch Regen, Berufstätigkeit, Wege der Informationsbeschaffung und Befolgung der Ratschläge. Über eine fortlaufende

Untersuchungsnummer war später eine Veröffentlichung auch der individuellen Messergebnisse unter Wahrung des Datenschutzes möglich [6].

Um eine möglichst große Empfindlichkeit zu erzielen, wurde der Szintillationskristall bis auf 15 mm hinter die Kollimatorkante vorgeschoben. (s. Abb. 1). Bei dieser Geometrie beeinflusst die Abschattung des Nulleffektes durch den Hals das Messergebnis stark. Deshalb wurde mit je einem stoffüberzogenen wassergefüllten Plastikbeutel (500 ml Inhalt) an beiden Seiten des Halses der effektive Durchmesser der Sondenabschattung so vergrößert, dass auch bei Säuglingen der Durchmesser des Kollimators überschritten wurde. Der Abstand Hautoberfläche-Kristall wurde in Zentimeter geschätzt und diente zur Geometriekorrektur mit Hilfe einer experimentell ermittelten Eichkurve.

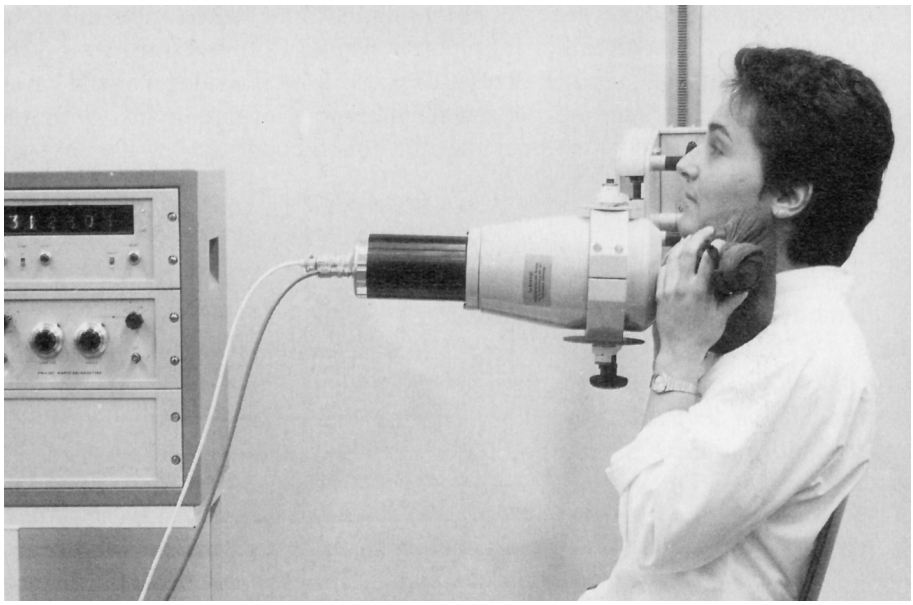

Abbildung 1. Messgeometrie
Die Probandin hält die Wasserbeutel, die den Hals zu einer gleichmäßigen Abschattung der Umgebungsaktivität ergänzen

Das Szintillationsmessgerät wurde jeweils am Vorabend positioniert und eingeschaltet. Das Einkanalspektrometer wurde auf 354 keV mit 25% Fensterbreite eingestellt. In jedem Messzyklus wurde dreimal je 1 min lang gemessen. Mindestens zweimal täglich wurde außer dem Nulleffekt des Raumes ein Oberkörperphantom

aus gewebeäquivalentem Kunststoff gemessen. Damit wurde der Effekt der Abschattung durch den Hals (im Durchschnitt 2,68) ermittelt, denn ein mit Sicherheit unverseuchter Hals stand nicht zur Verfügung. Außerdem wurden täglich Standards (37 Bq und 370 Bq ^{131}I in 1 ml H_2O) sowie die Schilddrüsenaktivität der Untersucher (B.S. und M.B.) gemessen.

Zur Berechnung der Netto-Schilddrüsenaktivität wurde der Phantommesswert vom Brutto-Schilddrüsenmesswert subtrahiert und dieser dann durch Multiplikation mit dem Geometriefaktor in Becquerel umgerechnet. Als Haut-Organ-Abstand wurde 1 cm angenommen. Der Faktor lag für einen Organ-Kristall-Abstand von 2-5 cm bei 1,3 –2,3 Bq/Ipm (im Mittel 3,4 cm mit 1,6 Bq/Ipm). Die Auswertung erfolgte mit SPSS^x ("Statistical package for the social sciences") auf der SPERRY 1100/60 des Universitäts-Rechenzentrums.

Ergebnisse

Wir fanden bei den 1.590 Probanden (Alter 1-86 a) Schilddrüsenaktivitäten von 0 bis 349 Bq. Die Mittelwerte der Ortsansässigen nahmen mit der Zeit ab und unterschieden sich untereinander bei Beachtung des Zeitablaufes nur geringfügig (Tab. **1**). Die 117 Auswärtigen zeigten keine systematische Abweichung.

Tabelle 1. Schilddrüsenaktivität der Ortsansässigen

Datum	Ort	$\bar{x}$	s	n
12./15.05.	Langenstein	97,2	37,9	128
14./15.05.	Erfurtshausen	82,7	30,5	157
16./17.05.	Mardorf	97,1	35,1	165
18./19.05.	Bottenhorn	84,7	24,8	168
20./21.05.	Münchhausen	75,4	30,7	180
22./23.05.	Amöneburg	70,6	27,1	129
24./25.05	Lohra	45,3	20,5	141
28./29.05.	Rossdorf	53,9	20,3	175
30./31.05.	Traisa	54,6	30,9	137
1.06.	Schneppenhausen	61,8	30,5	93

Diejenigen, die im Fragebogen die Einnahme von Schilddrüsenhormon-Tabletten und/oder eine Schilddrüsenoperation bejaht hatten, zeigten im Durchschnitt signifikant niedrigere Speicherwerte (Tab. 2). Sie wurden deshalb in allen weiteren Auswertungen nicht berücksichtigt.

Ein statistisch signifikanter Einfluss der übrigen im Fragebogen erhobenen Merkmale war mit einer Ausnahme nicht festzustellen: In der Altersgruppe 14-45 Jahre zeigten die Milchtrinker eine signifikant höhere Schilddrüsenaktivität (Tab. **2**). Dieser Effekt zeigte sich auch in dieser Altersgruppe deutlich beim Vergleich von Extremgruppen, wobei jeweils das Quartil der höchsten und niedrigsten

Speicherwerte im 2X2-Feldertest gegenübergestellt wurden (Tab. **3**). Bei dieser Analyse konnte auch ein Einfluss des Parameters "Jodsalzgebrauch" gezeigt werden, der keine signifikante Abweichung vom Ortsmittelwert bewirkte.

Tabelle 2. Signifikante relative Abweichung vom Ortsmittelwert (Δ)

	ja		nein		p
	Δ	n	Δ	n	
SD-Tabletten	-18%	155	+2%	1.318	<0,01
SD-Operation	-25%	40	+1%	1.427	<0,01
Milchkonsum (14-45 a) (ohne SD-Tabletten/-OP)	+6%	284	-1%	290	<0,01

Tabelle 3. Extremgruppenvergleich, Alter 14-45 Jahre

		untere 25% ≙ Δ ≤ -20%	obere 25% ≙ Δ ≥+22%	φ
Milchkonsum	ja	60	81	0,15
	nein	84	63	
Jodsalzgebrauch	ja	63	71	0,11
	nein	71	85	

In den anderen Altersgruppen zeigte sich kein einheitliches Verhalten, insbesondere fiel auf, dass die mittlere Organaktivität bei Kindern unter 8 Jahren zu Beginn der Reihenuntersuchung ca. ein Drittel unter der der Erwachsenen lag und gegen Ende Mai das Erwachsenenniveau erreichte. Bei der zeitlichen Analyse der Daten orientierten wir uns an den Modellrechnungen der ICRP-Publikation 29. Durch die protrahierte Aktivitätszufuhr nimmt die Organaktivität bis zum 10. Tag zunächst zu, um dann in den folgenden Wochen mit einer effektiven Halbwertszeit von ca. 15 Tagen abzufallen, also wesentlich langsamer als nach einer einmaligen Aktivitätsapplikation, die zu einer effektiven Halbwertszeit von 6-7 Tagen führt. Die effektive Halbwertszeit der beiden echten Längsschnittuntersuchungen (Eigenmessungen von B.S. und M.B.) war mit 14,7 Tagen modellkonform.

Da die Varianz durch den Zeitablauf erheblich größer war als die zwischen den aufeinanderfolgenden Messorten, werteten wir unser Kollektiv als Pseudo-Längsschnitt aus. Als Vereinfachung wurde während der Untersuchungszeit ein exponentieller Abfall der Schilddrüsenaktivität unterstellt und eine Regressionsgerade aus den logarithmierten Aktivitätswerten berechnet (ohne Gruppe 1-7 mit einem Wert von 0 Bq).

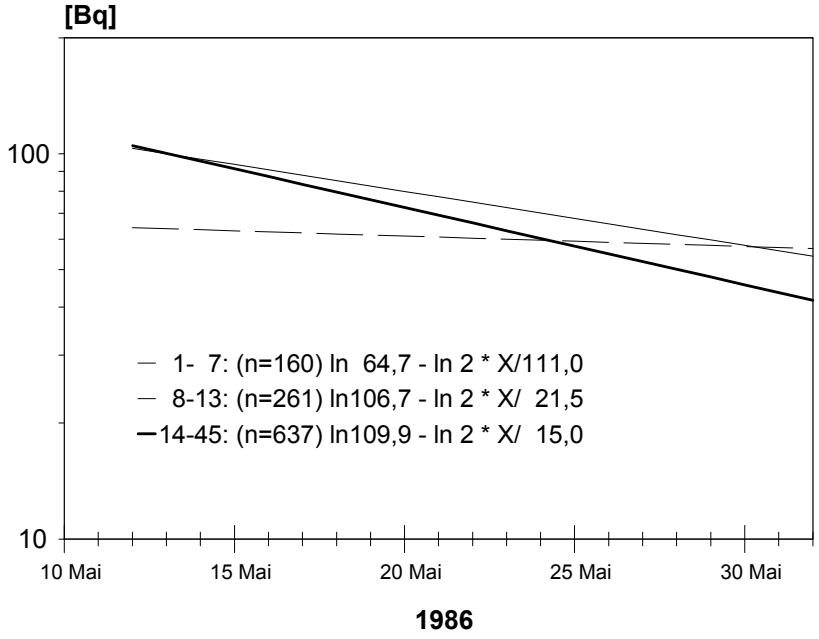

Abbildung 2. Regressionsgerade des natürlichen Logarithmus der Schilddrüsenaktivität für 3 Altersklassen

Tabelle **4** zeigt, dass die im gesamten Kollektiv gefundene effektive Halbwertszeit deshalb etwas größer als der nach dem Modell erwartetet Wert ist, weil die Älteren und vor allem die Kinder z.T. erheblich größere Halbwertszeiten aufweisen. Die mittlere Altersgruppe zeigt einen modellkonformen Wert (Abb. 2)

Tabelle 4. Zeitlicher Verlauf der Schilddrüsenaktivität (Regressionsgeraden für den natürlichen Logarithmus der Aktivität). Y_0: Y-Achsenabschnitt bei t=0 am 11.05.

Alter	n	Y_0 [Bq]	$T_{1/2eff}$ [Tage]
1-90	1.419	97,5	19,5
1-13	421	87,4	31,8
1- 7	160	64,7	111,0
8-13	261	106,7	21,5
14-45	637	109,9	15,0
46-90	361	92,8	18,1

Diskussion

Die bei nuklearmedizinischen Aufnahmemessungen übliche Geometrie mit 25-30 cm Abstand musste durch eine empfindlichere Kurzdistanz ersetzt werden. Um so größer waren die Anforderungen an die Abstandskorrektur, die Standardisierung der Halsabschattung sowie die korrekte Nulleffektsubtraktion. Die Selektivität der starken Jodanreicherung in der Schilddrüse erlaubt trotz Verwendung eines NaI-Kristalls mit seiner begrenzten spektralen Auflösung einen spezifischen Radionuklidnachweis.

Bei den Modellberechnungen der ICRP-29 ist die Ingestion der weit überwiegende Pfad einer Radiojodaufnahme nach einer akuten Freisetzung in die Atmosphäre. Der fehlende Zusammenhang der gefundenen Schilddrüsenaktivität mit dem Ausmaß der örtlichen Oberflächenkontamination überrascht deshalb nicht, da praktisch alle Untersuchten auf den Verzehr eigener Produkte verzichtet hatten. Der in der Gruppe der Erwachsenen gerade noch nachweisbare Einfluss des Milchkonsums belegt die Bedeutung des in Hessen besonders streng gehandhabten Grenzwertes für die Milchkontamination von 20 Bq/l im Vergleich zu dem Interventionswert der Bundesregierung von 500 Bq/l [2,9].

Besonders bemerkenswert ist die Übereinstimmung der Messergebnisse beim Erwachsenen mit den Modellberechnungen der ICRP-29 hinsichtlich der effektiven Halbwertszeit von ca. 15 Tagen. Die weitgehende Inkorporationsprophylaxe durch die von uns Untersuchten erklärt, dass das Aktivitätsniveau mit 109,9 Bq im vermuteten Maximum etwa um den Faktor 8 unter dem theoretisch zu erwarteten Wert von ca. 800 Bq blieb. Dazu beigetragen hat sicherlich, dass durch weitgehenden Verzicht der Landwirte auf Grünfütterung, unterstützt durch finanziellen Ausgleich der hessischen Landesregierung, die tatsächliche Milchkontamination nicht nur weit unter dem theoretisch zu erwartenden Niveau blieb, sondern auch deutlich unter dem Interventionsgrenzwert von 20 Bq/l (Abb. **3**). Allerdings liegt die Schilddrüsenaktivität in Relation zur Milchkontamination so hoch, dass wohl andere, nicht so streng kontrollierte Pfade relativ an Bedeutung gewonnen haben müssen.

Diese Situation änderte sich Mitte Mai markant. Aufgrund der Milchmessungen in einem Referenzbetrieb in Delkenheim, der den im April begonnenen Weidebetrieb beibehalten hatte, konnte zu diesem Zeitpunkt erwartet werden, dass auch bei Grünfütterung der Interventionswert von 20 Bq/l nicht mehr überschritten würde. In der Realität stiegen die Milchwerte allerdings deutlich stärker an, als das theoretisch zu erwarten war (Abb. **3**). Die Abweichung des Aktivitätsverlaufs in der Milch des Referenzbetriebes in Delkenheim gegenüber dem zunächst modellkonformen Verlauf führen wir auf einen Weidewechsel zurück, der am 14.05. erfolgte [4]. Der überproportionale Anstieg der Milchaktivität rechtfertigt nachträglich die weitere finanzielle Subvention bei Verzicht auf Grünfütterung (durch die hessische Landesregierung bis 23.05., durch den Landkreis Marburg-Biedenkopf bis 27.05.).

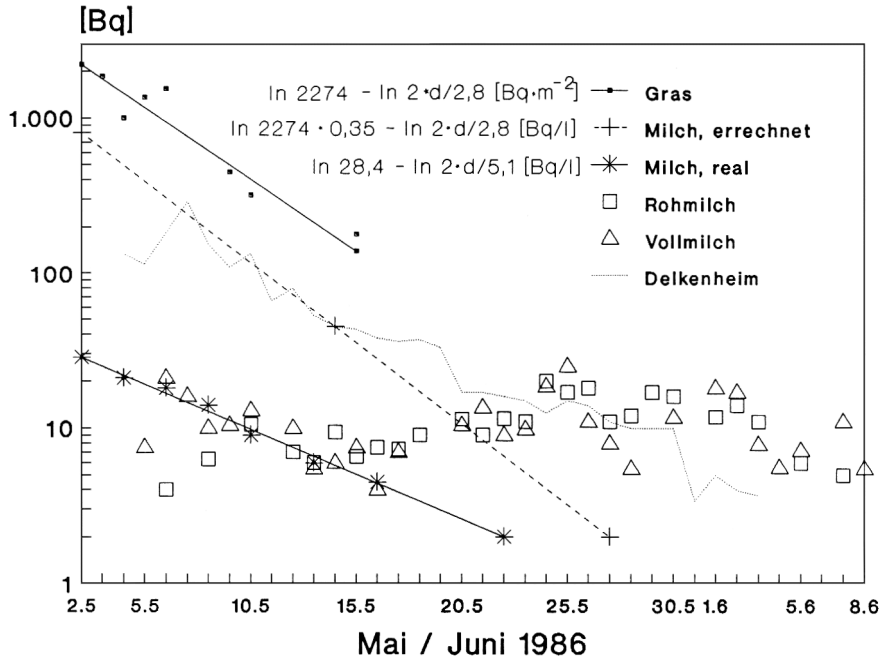

Abbildung 3. Mittelwerte der ^{131}I-Aktivität in Gras und Milch. Gras: Alle verfügbaren Messwerte in Bq/m^2. Roh- und Vollmilch: Proben aus dem Landkreis Marburg-Biedenkopf und allen angrenzenden Landkreisen ohne Kreisstädte. Berechnete Milchaktivität nach ICRP-29, 1978. Delkenheim: Milchaktivität des Referenzbetriebes mit Weidehaltung. Regressionsgerade für die natürlichen Logarithmen der Messwerte (Bei Milch: Vollmilch 5.05.-17.05.1986), Y_0 am 2.05., Steigung als $\ln 2_{T1/2eff}$ [d^{-1}]. Messwerte aus [2]

Ein sofortiger Schnitt mit Beseitigung des Grases nach einer Kontamination zu Beginn der Wachstumsperiode hätte diesen Pfad nicht nur für Radiojod, sondern auch für Radiocäsium erheblich begrenzt, wobei durch den nachfolgenden Zuwachs der Biomasse die Verluste relativ gering geblieben wären. Eine Verfütterung von Grasschnitt statt Weidebetrieb dürfte ebenfalls die ^{131}I-Kontamination der Milch unter solchen Verhältnissen dämpfen.

Nach den Modellrechnungen der ICRP 29 war für Kinder bei identischer Dynamik der Speicherkurve über der Schilddrüse eine um den Faktor ≈1,25 höhere Aktivität als bei den Erwachsenen zu erwarten. Die bei Kleinkindern besonders rigoros durchgeführten und durchführbaren Maßnahmen zur Inkorporations-begrenzung haben wohl dazu beigetragen, dass in der Realität die Speicherwerte zunächst sogar ≈40% unter den Werten der Erwachsnen lagen. Auch die älteren Kinder überschritten das Erwachsenenniveau nicht. Die lange effektive Halbwertszeit bei den Kindern führen wir darauf zurück, dass nach der

"Entwarnung" Mitte Mai die überdurchschnittlichen Restriktionen gelockert wurden und sich bei den Kindern nun die physiologisch zu erwartende höhere Aktivitätsaufnahme ausprägte. Dies bedeutet zugleich, dass die Strahlenbelastung der hinsichtlich der Krebsinduktion ca. dreifach empfindlicheren kindlichen Schilddrüse [7] leider nicht in dem Ausmaß proportional niedriger war, als sich dies nach den initialen Speicherwerten darstellt.

Die Bestätigung der vom ICRP 29-Modell vorhergesagten effektiven Halbwertszeit beim Erwachsenen unterstreicht die Feststellung der ICRP, dass bei Anwendung der "Konzentrationsfaktor"-Methode statt der "Systemanalyse"-Methode im Falle einer akuten Freisetzung von Radiojod die Strahlenbelastung der Schilddrüse etwas um den Faktor 3 unterschätzt wird. Unterstellt man für den von uns nicht erfassten Zeitraum ebenfalls einen modellkonformen Verlauf der Aktivität auf dem von uns gefundenen durchschnittlichen Niveau und nimmt man auch die durchschnittliche Schilddrüsengröße des ICRP-Modells an, ist eine Folgeäquivalent-dosis der Erwachsenenschilddrüse von ca. 0,m4 mSv für den Durchschnitt abzuschätzen.

Wir halten es trotz der großen Stichprobe nicht für zulässig, aus unseren Messergebnissen auf die Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung zu schließen. Indizien für ein spezifisches Teilkollektiv sind: hoher Anteil von Schilddrüsenoperationen und schilddrüsenspezifischer Medikation; hoher Anteil, bei dem eine Verwendung von Jodsalz bejaht wurde; fast einhellige Befolgung aller Empfehlungen zur Inkorporationsbegrenzung. Ein Vergleich mit anderen mitgeteilten Daten (z.B. Schmier 1986 [10] sowie die von verschiedener Seite publizierten Messungen Hähnles [5,8,11] ist schon wegen der unterschiedlichen Methodik problematisch.

Wie die signifikant niedrigeren Speicherwerte bei Untersuchten mit Schilddrüsenoperation oder schilddrüsenspezifischer Medikation zeigen, kann der Radioaktivitätseintrag nach Tschernobyl auch als (unfreiwilliger) landesweiter Radiojodtest interpretiert werden. Hierbei verdient der minimale Effekt von Jodsalz besondere Beachtung. Dieser Befund unterstreicht erneut die unzureichende Form und Dosis der derzeitigen Jodprophylaxe. Eine hinreichende Jodversorgung würde die Speicherwerte markant absenken und damit nebenbei eine Dosisreduktion im Fall einer Freisetzung von Radiojod bewirken.

Trotz der häufig unterschätzten Induktionsrate von Schilddrüsentumoren durch ionisierende Strahlen gibt es wohl keinen Dissens, dass hohe Joddosen zur wirksamen Blockierung der Schilddrüse nach Tschernobyl nicht indiziert waren. In einem Strumaendemiegebiet ist autonomes Gewebe besonders häufig. Die Auslösung klinischer Hyperthyreosen hätte eine wesentlich größere Gesundheitsgefahr bedeutet als die Reduktion der Häufigkeit von Schilddrüsentumoren es gerechtfertigt hätte [12]. Jedoch sollte der Vorschlag von Frick, bei Kindern Joddosen in der Größenordnung von 100 mg zu verabreichen, ernsthaft diskutiert werden [1]. Einer vermutlich mehrfach größeren Gefahr der Krebsinduktion im Kindesalter steht nämlich eine wohl zu vernachlässigende Häufigkeit von Schilddrüsenautonomien gegenüber. Es wird allerdings hohe Anforderungen an den

Informationsstand der Bevölkerung stellen, wenn eine Verwendung durch Erwachsene verhindert werden soll.

Literatur

1 Frick W, Gesundheitsamt Landkreis Waldeck-Frankenberg, 3540 Korbach, Persönliche Mitteilung (1987)

2 HSM Der hessische Sozialminister (Hrsg.): Die Folgen von Tschernobyl, Wiesbaden (1986)

3 ICRP 29 International Commission on Radiological Protection: Radionuclide Release into the Environment. Assessment on Doses to Man. Publ. 29, (1978) Pergamon Press, Oxford, New York

4 HLfU (1988) Hessische Landesanstalt für Umwelt: Schreiben an den Verfasser, Wiesbaden

5 Krollmann F, Hähnle L, Aktuelle Probleme der Jodprophylaxe nach Tschernobyl. (1987)
In: Pfannenstiel P (Hrsg.) Jod und Schilddrüse. pmi, Frankfurt, 18-30

6 Kuni H, Arbeitsgruppe Kuni und Landkreis Marburg-Biedenkopf (Hrsg.): Schilddrüsenbelastung nach Tschernobyl (1986), Marburg

7 NIH Report of the National Institutes of Health ad hoc working group to develop radioepidemiological tables. NIH Publ. 85-2748, (1985), Washington (DC)

8 Pohlit W, Werner E, Tschernobyl: Abschätzungen und Messungen der Strahlenbelastung (1986). Wissenschaftsmagazin der JWG-Universität, Frankfurt, 1/2: 10-18

9 Sauer GW, Tschernobyl gegen Grundgesetz? (1986) Die Neue Gesellschaft/Frankfurter Hefte, 8: 696-700

10 Schmier H, Ganzkörperuntersuchungen an ausgewählten Personengruppen. (1986) In: GSF (Hrsg.) mensch+umwelt, Radioaktivität und Strahlenfolgen, Neuherberg, 49-52

11 Werner E, Pohlit W, Tschernobyl – Langzeitfolgen für unsere Ernährung (1986). Wissenschaftsmagazin der JWG-Universität, Frankfurt, 3: 8-15

12 Wolff J, (1985) Risks for stable and radioactive iodine in radiation protection of the thyroid (1985) In: Hall R, Köbberling J (eds.) Thyroid Disorders Associated with Iodine Deficiency and Excess. Serono Symposia Publ., Raven Press New York, 111-128