

Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

**Zwischenbericht der Strahlenschutzkommission zur
Abschätzung und Bewertung der Auswirkungen des
Reaktorunfalls in Tschernobyl (UdSSR) in der
Bundesrepublik Deutschland**

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission vom 16. Juni 1986

Veröffentlicht in: – Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 5

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Grundlagen	
	a) Einheiten und Begriffe	4
	b) Expositionspfade und Strahlendosen von Geweben und Organen	6
	c) Effektive Dosis	6
	d) Natürliche Strahlenexposition	7
	e) Berechnung der Strahlenexposition	8
	f) Leitnuklide	10
3	Von der Strahlenschutzkommission vorgeschlagene Massnahmen zur Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung	
	a) Ausgangssituation für die Erarbeitung von Empfehlungen der Strahlenschutzkommission	11
	b) Jodkontamination der Nahrung	12
	c) Cäsiumkontamination der Nahrung	16
4	Erläuterungen zu den sonstigen Empfehlungen der Strahlenschutzkommission	
	a) Auswirkungen auf Schwangerschaften	19
	b) Jod 131 in der Muttermilch	20
	c) Strahlenexposition bei der Beseitigung von Stoffen und Gegenständen, in denen sich aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl stammende Radionuklide angereichert haben	20
	d) Strahlenexposition von Landarbeitern bei der Tätigkeit auf kontaminierten landwirtschaftlichen Flächen	22
	e) Freizeitverhalten	22
5	Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland	
	a) Einleitung	22
	b) Dosisabschätzung	23
	c) Vergleich mit der natürlichen Strahlenexposition	27

6	Abschätzung möglicher Strahlenspätsschäden	
	a) Einleitung	28
	b) Somatische Spätsschäden	29
	c) Genetische Wirkungen	31
	d) Strahlenbedingte Entwicklungsstörungen	31
7	Vorschläge und Empfehlungen der Strahlen- schutzkommission zum weiteren Vorgehen	32

1 Einleitung

In der Folge des Reaktorunfalls in Tschernobyl vom 26. April 1986 wurde eine erhebliche Menge radioaktiver Stoffe freigesetzt. Diese Stoffe wurden auf dem Wege der atmosphärischen Ausbreitung über weite Bereiche Europas und der ganzen Welt verteilt. Am 29. April erreichte die radioaktive Wolke mit ihren Ausläufern das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Bedingt durch die regional verschiedenen Wettersituationen (Hochdrucklagen, Regen, Gewitter etc.) traten unterschiedlich hohe Aktivitätskonzentrationen in der Luft und am Boden auf.

Unmittelbar nach Bekanntwerden erhöhter Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland wurde – neben der routinemäßigen kontinuierlichen Überwachung der Umwelt auf radioaktive Stoffe, wie sie bereits seit 30 Jahren durchgeführt wird – von Bund und Ländern ein zusätzliches umfangreiches Meßprogramm aufgenommen. Außer der Bestimmung der Gesamt-Beta-Aktivität in der Luft wurden schwerpunktmäßig Aktivitätsmessungen aller wichtigen Radionuklide, wie z. B. Jod 131, Cäsium 137 und Strontium 90, in Luft, Boden, Wasser, Nahrungs- und Futtermitteln durchgeführt.

Die Strahlenschutzkommission hat sich sofort nach Bekanntwerden des Unfalls mit allen in diesem Zusammenhang stehenden wesentlichen Fragen des Strahlenschutzes und entsprechenden Vorsorgemaßnahmen befaßt.

Die UdSSR hat zunächst gar nicht und bis heute unzureichend über die Unfallsituation und die damit verbundenen Freisetzungen informiert. Aufgrund dieser Situation konnte die Strahlenschutzkommission nur in Abhängigkeit vom jeweiligen Informationsstand, insbesondere den Ergebnissen der Aktivitätsmessungen in der Bundesrepublik Deutschland, ihre Empfehlungen abgeben.

Inzwischen liegt eine ausreichende Zahl von Messungen vor, um in diesem Zwischenbericht neben einer Darstellung der Empfehlungen der Strahlenschutzkommission auch einen ersten Überblick über die Folgen des Unfalls von Tschernobyl für die Bundesrepublik Deutschland und deren Bewohner zu geben.

Die Empfehlungen der Strahlenschutzkommission und dieser Zwischenbericht sind nur möglich geworden durch den beispielhaften Einsatz der zahlreichen Wissenschaftler, Techniker und Helfer in den Meßstellen. Nur durch ihren selbstlosen Einsatz, der in der Öffentlichkeit kaum gewürdigt wurde, war es möglich, eine solche einmalige und für uns neue Situation zu beherrschen und im Interesse der Bevölkerung die sinnvollen Maßnahmen zu treffen.

2 Grundlagen

a) Einheiten und Begriffe

Becquerel (Bq): Einheit der Aktivität. Eine radioaktive Substanzmenge hat die Aktivität 1 Bq, wenn in ihr pro Sekunde eine Kernumwandlung stattfindet.

Gray (Gy):	Einheit der Energiedosis. Ein Objekt erhält die Dosis 1 Gy, wenn ihm durch ionisierende Strahlung pro Masseneinheit 1 Kilogramm die Energie 1 Joule übertragen wird.
Sievert (Sv):	Einheit der Äquivalentdosis. Die Äquivalentdosis ist gleich der Energiedosis multipliziert mit einem Bewertungsfaktor, durch den die relative biologische Wirksamkeit der jeweiligen Strahlenart berücksichtigt wird. Der Bewertungsfaktor für β - und γ -Strahlung ist gleich 1.
Rem (rem):	Ältere Einheit der Äquivalentdosis. Umrechnungen: 1 rem = 0,01 Sv 1 Sv = 100 rem 1 mrem = 0,001 rem (mrem = Millirem)

Um dem Leser den Vergleich mit Dosisangaben in älteren Publikationen zu erleichtern, wird in diesem Bericht zur Beschreibung der Äquivalentdosis die ältere Einheit rem benutzt, die derzeit gültigen Einheiten sind in Klammern ergänzt.

Akuter Strahlenschaden, Strahlenfrühschäden:	Durch Strahlung bewirkte Schädigung der Gesundheit, die kurzzeitig nach der Bestrahlung auftritt (bei: Ganzkörperbestrahlung das akute Strahlensyndrom). Die Schwere des Schadens hängt vor allem von der Dosis ab (nichtstochastische Strahleneffekte).
Somatische Spätschäden:	Strahleninduzierte Schädigung der Gesundheit, die erst nach einer Latenzzeit von Jahren bis Jahrzehnten auftritt (z.B. Leukämie infolge Bestrahlung des roten Knochenmarks sowie Tumoren in anderen Körpergeweben). Die Wahrscheinlichkeit ihres strahleninduzierten Auftretens und nicht die Schwere des Schadens hängt von der Dosis ab (stochastische Strahleneffekte).
Krebsmortalität:	Als Krebsmortalität bezeichnet man die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu sterben. Diese ist angebar als Anzahl der Fälle pro 1 Million Einwohner; die strahleninduzierte Krebsmortalität wird entsprechend angegeben als Anzahl der Todesfälle pro 1 Million Einwohner pro rem. Die mittlere Wahrscheinlichkeit der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland an Krebs zu sterben, beträgt heute etwa 0,2; d.h. etwa 20 % unserer Bevölkerung sterben an Krebserkrankungen.
Genetische Schäden:	Schäden, die als Folge spezifischer Mutationen von Keimzellen nach Bestrahlung der Gonaden bei den Nachkommen des bestrahlten Individuums auftreten können (z.B. Skelettanomalien, Erbkrankheiten). Die Wahrscheinlichkeit ihres strahleninduzierten Auftretens und nicht die Schwere des Schadens hängt von der Dosis ab (stochastische Strahleneffekte).

b) Expositionspfade und Strahlendosen von Geweben und Organen

Die Strahlenexposition des Menschen kann über verschiedene Expositionspfade erfolgen. Expositionspfade sind die Wege der radioaktiven Stoffe von der Freisetzung über Ausbreitungs- oder Transportvorgänge bis hin zum Menschen.

Strahlendosen können aus einer Bestrahlung von außen (externe Strahlenexposition) und aus einer Bestrahlung durch inkorporierte radioaktive Substanzen (interne Strahlenexposition) resultieren. Die Inkorporation erfolgt über den Atmungsweg (Inhalation) und die Nahrungsaufnahme (Ingestion).

Bei der internen Strahlenexposition gilt es zu berücksichtigen, daß die inkorporierten chemischen Elemente sich aufgrund ihres unterschiedlichen physiologischen Stoffwechsels in den Geweben und Organen des menschlichen Körpers in vielen Fällen nicht gleichmäßig verteilen. So wird z.B. Jod vorwiegend von der Schilddrüse aufgenommen, Strontium vorwiegend von den Knochen. Cäsium verteilt sich jedoch annähernd gleichmäßig in allen Organen. In der Regel ergeben sich bei einer Strahlenexposition unterschiedliche Gewebe- und Organdosen.

c) Effektive Dosis

Die Bestrahlung eines Menschen durch eine externe Strahlenquelle oder durch Inkorporation verschiedener radioaktiver Stoffe führt fast stets zur gleichzeitigen Bestrahlung mehrerer Gewebe bzw. Organe im menschlichen Körper. Zur Bewertung der gesamten möglichen Strahlengefährdung infolge der karzinogenen und mutagenen Wirksamkeit ionisierender Strahlen wurde von der ICRP *) der Begriff "effektive Äquivalentdosis" H_E eingeführt und von der Europäischen Gemeinschaft in ihre Grundnormen **) aufgenommen. Sie ergibt sich aus der Summe der mit Wichtungsfaktoren w_G multiplizierten Organdosen H_G . Der Index G ist Symbol für das betreffende Organ bzw. Gewebe.

$$H_E = \sum_G w_G H_G \quad (\text{mit } \sum w_G = 1)$$

Der Wichtungsfaktor w_G ist also ein relatives Maß des Strahlenrisikos für einzelne Organe verglichen mit dem Strahlenrisiko des gesamten Organismus.

*) ICRP Publication 26: Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (angenommen am 17. Januar 1977). In: Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP, Heft 26. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1978

**) Grundnormen der Europäischen Gemeinschaft: Richtlinie des Rates vom 15. Juli 1980 zur Änderung der Richtlinien, mit denen die Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlungen festgelegt wurden. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 246, 23. Jahrgang, vom 17.9.1980

Im folgenden wird die Exposition durch einzelne Strahlenquellen durch diese effektive Äquivalentdosis, kurz effektive Dosis, ausgedrückt. Dabei werden die über alle Altersgruppen und beide Geschlechter gemittelten Wichtungsfaktoren zugrunde gelegt, die von der ICRP als Referenzwerte für Zwecke des Strahlenschutzes empfohlen werden (Tab. 1).

Tabelle 1: Strahlenrisiko-Wichtungsfaktoren w_G für die verschiedenen Körpergewebe (nach den Empfehlungen der ICRP)

	Organ bzw. Gewebe	w_G
Genetisches Risiko	Gonaden	0,25
Krebsrisiko	Brust	0,15
	Rotes Knochenmark	0,12
	Lunge	0,12
	Schilddrüse	0,03
	Knochenoberfläche	0,03
	Restkörper, insgesamt	0,30

d) Natürliche Strahlenexposition

Die mittlere effektive Dosis durch natürliche Strahlenquellen liegt in der Bundesrepublik Deutschland bei etwa 200 mrem (2 mSv) pro Jahr. Annähernd 50 % dieser natürlichen Strahlenexposition wird durch die natürliche Radioaktivität in Häusern verursacht.

In diesem Zusammenhang sei auch auf das natürlich vorkommende Radioisotop Kalium 40 (K 40) im Menschen hingewiesen (K 40 verhält sich ähnlich wie Cäsium 137 (Cs 137)). Die im Standard-Menschen (70 kg Körpergewicht) enthaltene Kaliummenge von 140 g entspricht einem Aktivitätsinventar an K 40 von ca. 4 400 Bq; dies ergibt eine mittlere jährliche effektive Dosis von ca. 18 mrem (180 μ Sv). Der Körper enthält außerdem etwa 3 600 Bq an Kohlenstoff 14 (C 14) und etwa 20 Bq an Tritium (H 3).

Im einzelnen setzt sich die natürlich bedingte mittlere jährliche Strahlenexposition wie folgt zusammen (nach UNSCEAR*)):

*) Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects
United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
1982 Report to the General Assembly, with annexes
United Nations, New York, 1982

Tabelle 2

Effektive Jahresdosis in mrem (mSv)			
Strahlenquelle	Externe Strahlen- exposition	Interne Strahlen- exposition	Gesamt
Kosmische Strahlenquellen: Kosmische Strahlung Kohlenstoff 14, Tritium	25 (0,25)	2 (0,02)	27 (0,27)
Terrestrische Strahlenquellen: Kalium 40 Uran/Radium-Reihe, davon durch Inhalation von Radon 222 und kurzlebigen Zerfallsprodukten Thorium-Reihe, davon durch Inhalation von Radon 220 und kurzlebigen Zerfallsprodukten	12 (0,12) 9 (0,09) 14 (0,14)	18 (0,18) 101 (1,01) 85 (0,85) 19 (0,19) 17 (0,17)	30 (0,3) 110 (1,1) 33 (0,33)
Summe der natürlichen Strahlenquellen	60 (0,6)	140 (1,4)	200 (2,0)

Diese Zusammensetzung gilt auch im Mittel für die Bundesrepublik Deutschland. Es ist zu beachten, daß es sich um Mittelwerte handelt. Die Schwankungsbreite ist erheblich, d.h. die natürliche Strahlenexposition variiert in der Bundesrepublik Deutschland zwischen etwa 100 und 600 mrem (1 und 6 mSv) im Jahr. Diese Tatsache ist bei der Bewertung der durch den Reaktorunfall in Tschernobyl zu erwartenden zusätzlichen Strahlenexpositionen zu berücksichtigen.

Die natürliche Strahlenexposition führt im Laufe eines 70-jährigen Lebens somit zu kumulativen effektiven Dosen im Bereich von 7 bis 40 rem (70 bis 400 mSv).

e) Berechnung der Strahlenexposition

Die durch äußere und innere Bestrahlung im Menschen erzeugten Strahlendosen können modellmäßig rechnerisch erfaßt werden. Solche Modelle sind z.B. in der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage" *) und in den "Störfallberechnungsgrundlagen" **) beschrieben.

*) Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Bestimmung der Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer (Richtlinie zu § 45 StrlSchV): GMBI 1979, Nr. 21, S. 371 und Ergänzungen

**) Störfallberechnungsgrundlagen für die Leitlinien des BMI zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit DWR gemäß § 28 Abs. 3 StrlSchV: BAZ Nr. 245a vom 31.12.1983

Die Dosis durch äußere Strahlenexposition des Menschen, z.B. infolge Aufenthalts auf kontaminierten Böden, wird auf der Grundlage folgender Größen berechnet:

- Zeitabhängige Flächen- und Tiefen-Aktivitätskonzentration des Bodens
- Aufenthaltsdauer des Menschen in Häusern, im Freien etc.
- Dosisleistung, bezogen auf die Aktivitätsverteilung im Boden und die jeweiligen Abschirmfaktoren.

Die Dosis durch interne Strahlenexposition infolge von Inhalation (Einatmung) von Radionukliden wird auf der Grundlage folgender Größen berechnet:

- Mittlere Aktivitätskonzentration der Luft als Funktion der Zeit
- Betrachteter Zeitraum
- Atemrate des Menschen
- Inhalations-Dosisfaktor (resultierende 50-Jahre-Folgeäquivalentdosis, bezogen auf die Zufuhr durch Inhalation von 1 Bq eines Radionuklids und unter Berücksichtigung von dessen Löslichkeit und Stoffwechselverhalten).

Die Dosis durch interne Strahlenexposition infolge Ingestion (Nahrungsmittelaufnahme von mit Radionukliden kontaminierten Speisen und Getränken, z.B. von Blattgemüse oder Milch) wird auf der Grundlage folgender Größen berechnet:

- Spezifische Aktivität des Nahrungsmittels zum Zeitpunkt der Aufnahme
- Verzehrmenge des Menschen im betrachteten Zeitraum
- Ingestions-Dosisfaktor (resultierende 50-Jahre-Folgeäquivalentdosis bei Zufuhr durch Ingestion von 1 Bq eines Radionuklids).

Im folgenden sind einige Beispiele angegeben, die eine einfache Umrechnung auf andere Werte der Bodenkontamination oder der Zufuhr durch Inhalation oder Ingestion gestatten:

Tabelle 3

<u>Bodenstrahlung:</u>	Eine Bodenkontamination von 1000 Bq/m^2 Cs 137 führt bei 1 Jahr Daueraufenthalt in einmalig kontaminiertem Gelände zu einer effektiven Dosis von ca. 1,4 mrem (14 μSv).
<u>Inhalation:</u>	Eine mittlere Aktivitätskonzentration der Luft von 1 Bq/m^3 J 131, die einen Tag lang vorliegt, führt aufgrund der Inhalation zu einer Schilddrüsendosis von 1,1 mrem (11 μSv) für Kleinkinder 0,5 mrem (5 μSv) für Erwachsene.

Tabelle 3 (Fortsetzung)

<u>Mit J 131 kontaminierte Nahrungsmittel:</u>	Der einmalige Verzehr von 100 g Nahrungsmittel (z.B. Blattgemüse oder Milch) mit einer Kontamination von 100 Bq J 131 pro kg führt zu einer Schilddrüsendosis von 3,5 mrem (35 μ Sv) für Kleinkinder 0,4 mrem (4 μ Sv) für Erwachsene
<u>Mit Cs 137 kontaminierte Nahrungsmittel:</u>	Der einmalige Verzehr von 100 g Nahrungsmittel mit einer Kontamination von 100 Bq Cs 137 pro kg führt zu einer effektiven Dosis von 0,009 mrem (0,09 μ Sv) für Kleinkinder 0,014 mrem (0,14 μ Sv) für Erwachsene.

f) Leitnuklide

Bei der nuklidspezifischen Auswertung der Umweltproben nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl wurden folgende Nuklide gefunden:

Strontium 89, Strontium 90, Zirkon 95, Niob 95, Molybdän 99, Ruthen 103, Ruthen 106, Silber 110m, Silber 111, Tellur 129m, Jod 131, Tellur 132, Jod 132, Jod 133, Cäsium 134, Cäsium 136, Cäsium 137, Barium 140, Lanthan 140, Cer 141, Cer 144, Plutonium 238 und Plutonium 239.

Es wurden jedoch nicht alle Umweltproben auf alle Radionuklide untersucht. Die γ -Strahler wurden aufgrund der Spektroskopie miterfaßt. Radionuklide wie Strontium und Plutonium können nur unter erheblichem radiochemischen Aufwand bestimmt werden. Entsprechende Analysen wurden nur stichprobenweise durchgeführt. Dennoch ist durch die feste Relation von Cäsium zu Strontium eine ausreichende Risikoabschätzung möglich.

Modellrechnungen für alle Expositionspfade zeigen, daß von den aufgeführten Radionukliden, unter Berücksichtigung ihrer relativen Aktivitätsanteile in Umweltproben sowie ihrer Radiotoxizität, die Nuklide Jod 131, Cäsium 134 und Cäsium 137 langfristig den größten Beitrag zur Strahlenexposition durch Inkorporation leisten. Bei der externen Strahlenexposition durch die Bodenkontamination sind die beiden Cäsium-Isotope dosisbestimmend. Somit können J 131 und Cs 137 als Leitnuklide zur Ermittlung der Strahlenexposition betrachtet werden.

3 Von der Strahlenschutzkommission vorgeschlagene Maßnahmen zur Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung

a) Ausgangssituation für die Erarbeitung von Empfehlungen der Strahlenschutzkommission

Bei diesem außergewöhnlichen Ereignis konnten weder die für die Ableitungen beim Normalbetrieb von Kernkraftwerken im § 45 der Strahlenschutzverordnung *) festgelegten Dosisgrenzwerte, noch die sog. Störfallplanungsrichtwerte (5 rem (50 mSv) Ganzkörper-, 15 rem (150 mSv) Schilddrüsendosis) direkt benutzt werden, da es sich primär um Vorschriften für die Planung der technischen Auslegung und des Betriebes (§ 45 StrlSchV) und für die Planung baulicher und sonstiger technischer Schutzmaßnahmen gegen Störfälle (§ 28 Abs. 3 StrlSchV) handelt.

Andererseits sind die dort festgeschriebenen Dosiswerte vernünftige Anhaltspunkte zur Beurteilung des Risikos der Bevölkerung. Im Bereich zwischen den o.g. Werten konnte das zu erwartende Risiko aufgrund der großflächigen Kontamination bewertet werden. In den Grundnormen der Europäischen Gemeinschaft für den Strahlenschutz wurde als Grenzwert für die Umgebung von Kernkraftwerken ein Zehntel der für die Beschäftigten geltenden Grenzwerte der Jahresdosis zugrunde gelegt, d.h. eine effektive Dosis von 500 mrem (5 mSv) pro Jahr. In der Bundesrepublik Deutschland gilt das 30/30/90 mrem-Konzept **), um den Grundsatz der Minimierung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch einen direkten Grenzwert insbesondere für kerntechnische Anlagen zur Geltung zu bringen. Hierdurch wird die Strahlenexposition der Bevölkerung durch kerntechnische Anlagen so begrenzt, daß sie noch innerhalb des Schwankungsbereiches der natürlichen Strahlenexposition liegt. Eine geringfügige Überschreitung dieser Grenzwerte stellt keine signifikante Erhöhung der möglichen Gefährdung dar. Für den Störfall, d.h. für ein einmaliges Ereignis, ist für die Schilddrüse eine Folgedosis von 15 rem (150 mSv) zugelassen, die an dem Grenzwert der Jahresdosis für beruflich Strahlenexponierte orientiert ist.

Die Kommission ging bei ihrer Empfehlung von dem Grundsatz aus, daß auch in einem solchen Krisenfall die Strahlenexposition von Personen unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles und der örtlichen Gegebenheiten so niedrig zu halten ist, wie dies vernünftigerweise erreichbar ist (entsprechend Euratom-Grundnormen und § 28 Abs. 1 StrlSchV). Dies entspricht dem Rechtsgrundsatz der Verhältnismäßigkeit von Mittel und Zweck. Die von der Strahlenschutzkommission anlässlich des Reaktorunfalls in Tschernobyl empfohlenen Richt-

*) Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV), BGBl. I, 2905, 13. Okt. 1976

**) Nach § 45 StrlSchV dürfen durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus Anlagen und Einrichtungen im Normalbetrieb folgende Dosisgrenzwerte pro Jahr nicht überschritten werden:

- Ganzkörperdosis durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft	30 mrem (300 µSv)
- Ganzkörperdosis durch Ableitungen mit Wasser	30 mrem (300 µSv)
- Schilddrüsendosis über Ernährungsketten	90 mrem (900 µSv)

werte dürfen daher weder als eine Reduzierung der Werte des § 28 Abs. 3 noch als eine Lockerung der im § 45 StrlSchV festgelegten Grenzwerte mißverstanden werden. Sie dienen in der gegebenen Situation ausschließlich als Entscheidungshilfe zur Verminderung der möglichen Auswirkungen dieses Reaktorunfalls in der Bundesrepublik Deutschland.

Aufgrund der aufgetretenen Aktivitätskonzentrationen und der daraus folgenden Strahlendosen waren keine Frühschäden – d.h. das akute Strahlensyndrom, wie es im Nahbereich von Tschernobyl aufgetreten ist – zu befürchten. Deshalb stellte die Strahlenschutzkommission in ihren Empfehlungen fest, daß zu keinem Zeitpunkt eine akute Gesundheitsgefährdung der Bevölkerung bestanden hat. Alle im folgenden genannten und begründeten Maßnahmen sind Vorsorgemaßnahmen, um das Risiko einer möglichen Gesundheitsgefährdung durch Strahlenspätschäden, d.h. das zusätzliche Auftreten von spontan immer vorhandenen Erkrankungen wie Krebs und Erbkrankheiten so gering wie vernünftigerweise erreichbar zu halten.

Aus dem Vorgenannten ergibt sich zwangsläufig der Hinweis der Strahlenschutzkommission, daß sie ihre Empfehlungen nur für den konkreten Fall der Begrenzung der Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl getroffen hat.

b) Jodkontamination der Nahrung

Aufgrund der in den ersten Tagen nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl vorliegenden Meßwerte der Aktivitätskonzentrationen in frischer Kuhmilch gab die Strahlenschutzkommission am 2. Mai 1986 folgende Empfehlungen für Erstmaßnahmen:

Wegen der Anreicherung von Jod in der Schilddrüse empfiehlt die SSK, aus Gründen einer möglichst effektiven Vorsorge in Gebieten mit hoher Bodenaktivität sinnvolle Maßnahmen zu ergreifen, durch die die Aktivität in der Milch und damit die Aufnahme von Radiojod in den menschlichen Körper herabgesetzt werden. Dazu kann insbesondere gehören:

- Die Fütterung der Milchkühe mit Frischfutter sollte über mehrere Tage eingestellt werden.
- Frischmilch aus Molkereien sollte nur dann an die Bevölkerung ausgegeben werden, wenn die Aktivität von J 131 in der abgegebenen Milch den Wert von 500 Bq pro Liter nicht überschreitet.
- Milch, die höhere Aktivität aufweist, sollte zu lagerbaren Milchprodukten verarbeitet werden.

Kernpunkt dieser Maßnahmen war die Beschränkung der J 131-Aktivität in der an den Verbraucher gelangenden frischen Kuhmilch.

Eine Arbeitsgruppe der Strahlenschutzkommission hat am 4. Mai 1986 empfohlen *), die spezifische Aktivität von J 131 in frischem Blattgemüse auf 250 Bq/kg zu begrenzen. Die Strahlenschutzkommission hat diesen Wert in ihre Empfehlung vom 7. Mai 1986 übernommen. Zur Begründung der Festlegung der beiden Richtwerte gab sie in dieser Empfehlung folgende Erläuterungen:

*) Mitteilung des BMI vom 4. Mai 1986, s. SSK-Stellungnahme "Reaktorunfall in der UdSSR: Stellungnahme zur Kontamination von Lebensmitteln"

1. Grundlagen

Die Strahlenschutzverordnung sieht für die Bevölkerung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen vor, daß im bestimmungsgemäßen Betrieb eine Schilddrüsendosis von 90 mrem pro Jahr nicht überschritten wird. Für Störfälle liegt der entsprechende Planungs-Richtwert bei 15 rem.

Die Strahlenschutzkommission entschied bei ihren Erörterungen über die Festsetzung von Richtwerten im Zusammenhang mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl, daß keiner dieser beiden Richtwerte hierauf angewendet werden soll. In der gegebenen Situation hielt sie für die Schilddrüsendosis des Kleinkindes einen Richtwert von 3 rem für annehmbar.

Dieser Wert ist insbesondere gerechtfertigt durch die Ergebnisse der Untersuchungen über Spätwirkungen der langjährigen Anwendung von Jod 131 in der nuklearmedizinischen Diagnostik. Die hierüber durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, daß bei Schilddrüsendosen von mindestens 50 rem und Beobachtungszeiten von mehr als 17 Jahren keine Erhöhung der Inzidenz von Schilddrüsenkarzinomen feststellbar war. Damit kann selbst unter Annahme einer erhöhten Strahlenempfindlichkeit des Kleinkindes der Wert von 3 rem als annehmbar angesehen werden.

2. Richtwerte der Aktivitätskonzentration von Jod 131

2.1 Milch

Auf der Grundlage der unter 1. angegebenen Schilddrüsendosis errechnet sich als Richtwert für die Aktivitätskonzentration von Jod 131 in Milch ein Wert von 500 Becquerel pro Liter. Es ist zu beachten, daß dieser Wert auf folgenden Annahmen beruht:

- Der Milchkonsum betrage beim Kleinkind 1 Liter pro Tag.*
- Während einer Woche habe die Milch eine konstante Aktivitätskonzentration von 500 Becquerel pro Liter.*
- Nach einer Woche wird keine wesentliche Zufuhr von Spaltprodukten mehr aus der Atmosphäre erfolgen und die Aktivitätskonzentration dem physikalischen Zerfall entsprechend abnehmen.*

Für den Erwachsenen ist anzunehmen, daß neben Frischmilch auch Frischmilcherzeugnisse (z.B. Joghurt, Quark, Frischkäse) konsumiert werden. Da beim Erwachsenen durch die Zufuhr von Milch der oben angegebenen Aktivitätskonzentration die Schilddrüsendosis nur etwa die Hälfte der des Kleinkindes beträgt, kann eine zusätzliche Zufuhr von Frischmilcherzeugnissen mit der oben angegebenen Aktivitätskonzentration von Jod 131 zugelassen werden. Dies setzt allerdings voraus, daß für die Herstellung von Frischmilchprodukten nur Milch einer Aktivitätskonzentration von weniger als 500 Becquerel pro Liter verwandt wird.

2.2 Frisches Blattgemüse (Spinat, Salat)

Als Richtwert für die Freigabe von frischem Blattgemüse, gegebenenfalls auch nach Lagerung oder Konservierung, zum Verzehr unter den unter 2.1 genannten Verzehrbedingungen wird ein Wert von 250 Becquerel pro kg empfohlen. Dadurch tritt keine wesentliche Erhöhung der Strahlenexposition gegenüber der durch Jod 131 in der Milch bedingten Exposition ein.

2.3 Rhabarber, übriges Gemüse (z.B. Kräuter, Gewürze, Wurzelgemüse, unterirdisches Sproßgemüse wie Spargel)

Wegen der bei der Zubereitung eintretenden Reduzierung der Aktivität (z.B. durch Schälen) oder der geringen pro Tag zugeführten Menge, bei Wurzelgemüse wegen der geringen Aktivität, ist es nicht erforderlich, hierfür Richtwerte der Aktivitätskonzentration von Jod 131 anzugeben.

2.4 Sonstige tierische Produkte und übrige Lebensmittel

Für die sonstigen tierischen Produkte einschließlich Honig und für die übrigen Lebensmittel besteht bei den üblichen Verzehrgeohnheiten keine Notwendigkeit, einen Richtwert für Jod 131 anzugeben.

Bei Lebensmitteln, die in einer geringeren Menge als etwa 0,1 kg pro Tag verzehrt werden (z.B. Kräuter, Gewürze, Eier, Honig, Pilze etc.), sind generelle Einschränkungen beim Verzehr nicht nötig.

Unter speziellen radioökologischen Bedingungen sollten auch weiterhin gezielte Stichprobenmessungen erfolgen.

3. Lagerfähige Produkte

Alle wegen Überschreitung des Richtwertes für Jod 131 hergestellten lagerfähigen Produkte dürfen erst 4 Wochen nach Herstellung zum Verzehr freigegeben werden.

Der Richtwert für das Blattgemüse war relativ restriktiv gewählt, weil bei seiner Festsetzung am 4. Mai 1986 noch keine ausreichenden Kenntnisse über die Nuklidzusammensetzung der radioaktiven Niederschläge vorlagen, und mit diesem Richtwert auch generell die direkte Zufuhr aller anderen Radionuklide von den kontaminierten Pflanzen zum Menschen limitiert wurde.

In ihrer Empfehlung vom 16. Mai 1986 hat die Strahlenschutzkommission eine vorläufige Abschätzung der Dosis durch radioaktives Jod vorgenommen und folgendes festgestellt:

Strahlendosis durch radioaktives Jod und Tellur

– Strahlenexposition von Kleinkindern

Die Strahlenschutzkommission hat in ihrer Empfehlung vom 2. Mai 1986 empfohlen, Frischmilch aus Molkereien nur dann an die Bevölkerung auszugeben, wenn die Akti-

vität von J 131 den Wert von 500 Bq pro Liter nicht überschreitet. Dieser Empfehlung lag das Ziel zugrunde, daß Kleinkinder keine höhere Schilddrüsendosis als 3 rem erhalten sollten.

Rückschauend läßt sich feststellen, daß die tatsächlichen J 131-Konzentrationen relativ schnell unter den empfohlenen Richtwert für Milch von 500 Bq pro Liter abgefallen sind und ein weiterer Rückgang zu erwarten ist.

Daraus läßt sich abschätzen, daß die Schilddrüsendosen in der Regel unter 1 rem liegen.

– Strahlenexposition von Erwachsenen

Für die Berechnung der Strahlenexposition der Erwachsenen durch die Jodisotope ist neben der Aktivitätszufuhr über die Milch auch die Aufnahme über Fleisch und Blattgemüse zu berücksichtigen.

In den Gebieten der Bundesrepublik mit hohen Kontaminationswerten wurden in Fleisch bis zu 1500 Bq J 131 pro kg gemessen. Wegen der vorgeschlagenen Begrenzung werden der Rechnung die Richtwerte für Milch von 500 Bq pro Liter und für Blattgemüse von 250 Bq pro kg zugrunde gelegt.

Unter Annahme der gleichen Verzehrswerten, die der Abschätzung der Strahlenexposition durch Cäsium zugrunde lagen, sowie einer konstanten Aktivitätszufuhr über 8 Tage mit den o.g. Aktivitätskonzentrationen und unter Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls in der Folgezeit ergibt sich eine Aktivitätsaufnahme von ca. 7000 Bq. Daraus läßt sich eine Schilddrüsendosis der Erwachsenen von 300 mrem und eine effektive Dosis von 10 mrem ableiten.

Die Dosis anderer Organe des menschlichen Körpers ist gegenüber der Schilddrüsendosis zu vernachlässigen.

Der Dosisbeitrag durch Tellur 132 (Halbwertszeit: 78 Stunden) und durch das damit im Gleichgewicht stehende J 132 (Halbwertszeit: 2,3 Stunden) ist gegenüber dem Beitrag durch J 131 vernachlässigbar.

Zur näheren Beurteilung der von der Strahlenschutzkommission vorgeschlagenen Maßnahmen zur Begrenzung der Strahlenexposition durch J 131 wird auf die in Kapitel 5 aufgeführten Ergebnisse von Ganzkörpermessungen bei Kindern hingewiesen. In ihrer 3. Empfehlung vom 16. Mai 1986 hat die Strahlenschutzkommission entsprechend dem damaligen Kenntnisstand Schilddrüsendosen bis zu 50 mrem (500 μ Sv) angegeben. Diese Dosen wurden aus den bis dahin vorliegenden, durch Ganzkörpermessungen ermittelten maximalen Aktivitätswerten abgeschätzt. In der Zwischenzeit wurden weitere Ganzkörpermessungen durchgeführt, aus denen eine mittlere Schilddrüsendosis von weniger als 300 mrem (3 mSv) abgeschätzt wurde (s. S. 27).

c) Cäsiumkontamination der Nahrung

Die Strahlenschutzkommission hat sich auf ihren Sitzungen am 7. Mai und 16. Mai 1986 mit den möglichen Strahlenexpositionen durch langlebige Radionuklide befaßt, die als Folge des Reaktorunfalls in Tschernobyl aufgrund von Ablagerungen auf Boden und Pflanzen und durch spätere Aufnahme in pflanzliche Nahrungsmittel für Teile der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland zu erwarten sind. In ihrer Empfehlung vom 7. Mai 1986 zur Begrenzung der Strahlenexposition durch den Reaktorunfall in Tschernobyl kam die Strahlenschutzkommission zu folgender Aussage:

Die SSK hat die Bewertung der Strahlenexposition durch langlebige Radionuklide im Fallout nach dem Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl diskutiert. Unter Berücksichtigung der radioökologischen Eigenschaften dieser Radionuklide und der Dosisfaktoren bei Ingestion ergibt sich, daß für die langlebigen Radionuklide Cs 137 als Leitnuclid betrachtet werden kann. Der Beitrag der Strontiumisotope und anderer langlebiger Spaltprodukte ist klein gegen den Beitrag von Cs 137. Das gleiche gilt auch für langlebige Transurane, wie z.B. Plutonium.

In der Mitteilung vom 4. Mai 1986 wurde ein Richtwert für die spezifische Aktivität an Cs 137 ausgegeben. Dieser Wert wurde unter Vorsorgegesichtspunkten sehr restriktiv festgelegt und bezog sich ausschließlich auf das im Freiland zur Ernte anstehende Frischgemüse, da dieses unmittelbar dem Fallout ausgesetzt war.

Die SSK hat nunmehr aufgrund der vorliegenden Daten eine umfassende Analyse durchgeführt, wobei die Abschätzung und Bewertung der durch Cs 137 bedingten Strahlenexposition unter drei Gesichtspunkten erfolgte:

- die vorliegenden Analysen des Fallouts aus früheren Kernwaffenversuchen*
- eine radioökologische Analyse, basierend auf der Allgemeinen Berechnungsgrundlage*
- ein Vergleich mit der Aktivität des natürlich vorkommenden Kalium 40, das sich im Körper des Menschen und in der Umwelt ähnlich wie Cs 137 verhält.*

Diese Untersuchungen führen übereinstimmend zu dem Ergebnis, daß die aus diesem Unfall akkumulierte Dosis durch langlebige Radionuklide kleiner als die Dosis durch die natürliche Kalium 40-Aktivität ist. Im ungünstigsten Fall kommt sie ihr etwa gleich.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich kein Anlaß zur weiteren Aufrechterhaltung eines Richtwertes für Cs 137 und andere langlebige Spaltprodukte in Lebensmitteln.

Generell wird in der Bundesrepublik bereits seit 1958 der Cs 137-Gehalt in Lebensmitteln überwacht. Die SSK empfiehlt daher eine zusätzliche Strahlenschutzüberwachung des Cs 137-Gehaltes in Lebensmitteln nur für Regionen, in denen während der letzten Tage eine außergewöhnlich hohe Cs-Aktivität dem Boden zugeführt wurde.

In der Empfehlung vom 16. Mai 1986 hat die Strahlenschutzkommission eine vorläufige Abschätzung der Dosis infolge Inkorporation von Cs 137 und Cs 134 mit Nahrungsmitteln vorgenommen. Sie stellte folgendes fest:

Strahlendosis durch Cs 137 und Cs 134

Sieht man von Einzelfällen ab, so wurden in den Gebieten der Bundesrepublik mit hoher Kontamination durch den radioaktiven Niederschlag im Fleisch von Weidetieren und Wild Cs 137-Aktivitätskonzentrationen bis 1500 Bq pro kg gemessen. In der Milch wurden Cs 137-Konzentrationen bis zu 300 Bq pro Liter festgestellt. Bei Blattgemüse kann von Werten bis zu 300 Bq Cs 137 pro kg ausgegangen werden.

Die Aktivitätskonzentration im Fleisch kann vorübergehend noch geringfügig ansteigen. Es ist aber anzunehmen, daß wegen der biologischen Halbwertszeit von Cäsium von etwa 100 Tagen in den Tieren die derzeitigen Kontaminationswerte im Fleisch nur noch 3 Monate andauern. Bei Frischmilch und frischem Blattgemüse werden sich die Aktivitätskonzentrationen wesentlich rascher verringern.

Anschließend wird dann nur noch die Cäsium-Kontamination, die vom Boden über die Wurzeln in die Pflanzen erfolgt, in den Nahrungsmitteln zu berücksichtigen sein; dieser Wert wird wesentlich niedriger liegen. Bei der Abschätzung der Strahlenexposition in dem genannten Zeitraum von 3 Monaten wird mit einem Pro-Kopf-Verzehr folgender Mengen an Nahrungsmitteln gerechnet:

–	Fleisch von Weidetieren und Wild	10 kg
–	Milch und Milchprodukte	30 kg
–	Blattgemüse	5 kg

Dies würde bei Annahme der o.g. Höchstwerte der Kontaminationen eine Cs 137-Aufnahme von etwa 25 kBq in diesen 3 Monaten bedeuten. Berücksichtigt man auch das kurzlebige Cs 134 (Halbwertszeit ca. 2 Jahre), so ergibt sich eine Ganzkörperdosis - in diesem Falle gleich der effektiven Dosis - durch beide Cäsium-Isotope von etwa 60 mrem. Da Cäsium im Körper gleichverteilt ist, kann hier auf die Angabe von Organdosen verzichtet werden.

Da bei dieser Dosisabschätzung in allen Fällen eine überdurchschnittlich hohe Kontamination der einzelnen Nahrungsmittel unterstellt wurde, kann davon ausgegangen werden, daß die durch die Cäsium-Aufnahme während der ersten 3 Monate bedingte Strahlendosis im Mittel bei etwa 1/10 der o.g. Dosis liegt. Die in der Folgezeit zu erwartende Strahlenexposition durch Aufnahme von Cäsium wird sich auf niedrigem Niveau über mehrere Jahre erstrecken und Jahresdosen von einigen mrem zur Folge haben.

Bei bisher durchgeführten Ganzkörpermessungen an 19 Kindern in München wurden Aktivitätswerte von Cs 137 festgestellt, die maximal eine Strahlendosis von 1 mrem durch Cs 137 und Cs 134 hervorrufen.

Die Europäische Gemeinschaft hat am 31. Mai 1986 durch Verordnung Höchstwerte der Cäsium-Kontamination von Lebensmitteln für die Einfuhr aus Drittländern erlassen. Aus diesem Anlaß hat die Strahlenschutzkommission am 2. Juni 1986 in ihrer 4. Empfehlung zu den Unfallauswirkungen folgendes festgestellt:

In ihrer 3. Empfehlung vom 16. Mai hat die Strahlenschutzkommission eine vorläufige Abschätzung der möglichen Strahlendosen auf der Basis der in der Bundesrepublik

Deutschland gemessenen Kontaminationswerte vorgenommen. Aufgrund der niedrigen Dosiswerte, die sich bei dieser Abschätzung ergaben, hielt die Strahlenschutzkommission die Festlegung von Richtwerten für die Kontamination mit Cs 134 und Cs 137 nicht für erforderlich.

Seither haben sich die Kontaminationswerte bei dem Fleisch von Weidetieren, der Milch und den Milchprodukten sowie dem Gemüse stark rückläufig entwickelt. Lediglich das Wildfleisch weist noch gelegentlich Kontaminationswerte auf, die bei der Dosisabschätzung vom 16. Mai unterstellt wurden. Somit können die damals abgeschätzten Strahlendosen nur in Extremfällen erreicht werden. Die im allgemeinen zu erwartenden Werte, auch in den stark betroffenen Gebieten der Bundesrepublik, sind weit geringer.

In ihrer Empfehlung vom 2. Mai 1986 hat die Strahlenschutzkommission die Entscheidung der Bundesregierung unterstützt, Einfuhrbeschränkungen für frische Nahrungsmittel, z.B. Gemüse, Obst, Fleisch und Geflügel, aus Ländern mit hohen Kontaminationen zu erlassen. Sie erachtete dies wegen des Fehlens von ausreichenden Informationen über die radiologische Situation in diesen Ländern für notwendig. Sodann sprach die Europäische Gemeinschaft ein bis zum 31. Mai 1986 befristetes Einfuhrverbot für diese Nahrungsmittel aus. Nach Ablauf dieses Einfuhrverbotes hat die Europäische Gemeinschaft in der Verordnung (EWG) 1707/86 vom 31. Mai 1986 die folgenden Werte für die Cäsium-Kontamination bei der Einfuhr von Lebensmitteln aus Drittländern erlassen:

<i>Milch und Milchprodukte</i>	<i>370 Bq/l</i>
<i>Kleinkindernahrung</i>	<i>370 Bq/kg</i>
<i>übrige Lebensmittel</i>	<i>600 Bq/kg</i>

Diese Werte gelten ab 1. Juni bis zum 30. September 1986.

Die Strahlenschutzkommission sieht in der Verordnung der Europäischen Gemeinschaft eine Möglichkeit, die Einfuhr von höher kontaminierten Lebensmitteln aus den vom radioaktiven Niederschlag starker betroffenen Staaten zu verhindern. Sie sieht aber keine Notwendigkeit, diese Werte oder niedrigere für die in der Bundesrepublik Deutschland erzeugten Nahrungsmittel als zu überwachende Richtwerte vorzuschreiben, da die durch die tatsächliche Kontamination der Nahrungsmittel mit Cs 134 und Cs 137 verursachten Strahlendosen als gering im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition berechnet wurden. Im übrigen kann festgestellt werden, daß, abgesehen von einzelnen Werten bei Wildfleisch, die Kontaminationswerte der in der Bundesrepublik Deutschland erzeugten Lebensmittel unterhalb der Richtwerte der Europäischen Gemeinschaft liegen.

Unabhängig hiervon gelten die in der Empfehlung vom 7. Mai 1986 aufgeführten Vorschläge: Für Regionen mit außergewöhnlich hohem Cäsium-Niederschlag empfiehlt sich demnach auch weiterhin eine zusätzliche Überwachung des Cs 137-Gehaltes in Lebensmitteln.

4 Erläuterungen zu den sonstigen Empfehlungen der Strahlenschutzkommission

a) Auswirkungen auf Schwangerschaften

Die Strahlenschutzkommission gab zu den Auswirkungen des Reaktorunfalls auf bestehende Schwangerschaften im Rahmen ihrer Empfehlung vom 16. Mai 1986 folgende Erklärung ab:

Nach dem Unfall im Kernkraftwerk in Tschernobyl in der Sowjetunion wurde eine erhebliche Menge radioaktiver Stoffe freigesetzt. Diese Stoffe wurden auf dem Wege der atmosphärischen Ausbreitung über große Teile Europas verteilt. Auch die Bundesrepublik Deutschland wurde hierdurch einer Strahlenexposition ausgesetzt.

Verständlicherweise gibt es schwangere Frauen in der Bundesrepublik Deutschland, die sich deshalb Sorgen um die Gesundheit ihres ungeborenen Kindes machen.

Die Strahlenschutzkommission hat sich schon seit Jahren mit Fragen der vorgeburtlichen Strahlenexposition beschäftigt und 1984 dazu eine Empfehlung verabschiedet. In dieser Empfehlung wird festgestellt, daß im Bereich niedriger Dosen keine Gefahr für das sich entwickelnde Leben besteht.

Die Strahlenexposition aufgrund dieses Unfalls ist gering. Sie wird etwa in der Größenordnung der natürlichen Strahlenexposition eines Jahres liegen. Vorsorgemaßnahmen für den Verzehr von Milch, Milchprodukten und Gemüse haben eine zusätzliche Minderung der Strahlenexposition ermöglicht.

Eine Schädigung des ungeborenen Lebens ist daher nicht zu befürchten. Sorge aus diesem Anlaß ist zwar verständlich, aber unbegründet. Schwangere Frauen können ihr Kind ohne Angst vor Schäden austragen. Ein Schwangerschaftsabbruch wegen der Auswirkungen des Kernkraftwerkunfalls Tschernobyl ist unter keinen Umständen zu rechtfertigen.

Diese Aussagen stützen sich auf die Ergebnisse einer Arbeitsgruppe der Strahlenschutzkommission, die bereits vor einiger Zeit einen Bericht über Wirkungen nach pränataler Bestrahlung veröffentlicht hat *). Demnach sind Auswirkungen der aufgrund des Reaktorunfalls in Tschernobyl freigesetzten und über der Bundesrepublik Deutschland abgelagerten Radioaktivität auf eine bestehende Schwangerschaft wegen der geringen Strahlendosen nicht zu besorgen.

Ein Schwangerschaftsabbruch aufgrund der Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl ist in der Bundesrepublik Deutschland in keinem Fall zu rechtfertigen. Medizinisch ist eine

*) Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 2: Wirkungen nach pränataler Bestrahlung. Hrsg: Bundesminister des Innern. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1985

Indikation zum Schwangerschaftsabbruch erst bei Strahlendosen zwischen 10 und 20 rem (100 und 200 mSv) gegeben. Darüber hinaus sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, daß ein Schwangerschaftsabbruch ein relativ hohes Gesundheitsrisiko für die Schwangere darstellt. Aus einer retrospektiven Studie über legale Schwangerschaftsabbrüche ist bekannt *), daß die Komplikationsrate nach der 8. Schwangerschaftswoche durch den operativen Eingriff bei etwa 12 % liegt, wobei mit etwa 0,15 Promille an Todesfällen gerechnet werden muß.

b) Jod 131 in der Muttermilch

Hierzu stellte die Strahlenschutzkommission folgendes fest:

Die aus der nuklearmedizinischen Anwendung des J 131 vorliegenden Erfahrungen zeigen, daß 4 - 10 % der von der Mutter aufgenommenen J 131-Aktivität in die Muttermilch übergeht. Demnach ist die Schilddrüsendosis des gestillten Kleinkindes etwa 1/10 des Wertes bei direkter Ernährung mit Kuhmilch.

Kontrollmessungen, die an einigen Stellen durchgeführt wurden, ergaben nur geringfügige J 131-Konzentrationen in der Muttermilch. Typische Meßwerte in München und Berlin lagen bei 5 bis 10 Bq/l. In Nordrhein-Westfalen **) gemessene Werte lagen unterhalb der Nachweisgrenze des verwendeten Meßgerätes in Höhe von 1 Bq/l.

c) Strahlenexposition bei der Beseitigung von Stoffen und Gegenständen, in denen sich aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl stammende Radionuklide angereichert haben

Klärschlamm

Der bei der Abwasserreinigung in Kläranlagen anfallende Klärschlamm reichert die im Abwasser befindlichen radioaktiven Stoffe an. Bei Kläranlagen, die Abwasser aus Mischkanalisationen verarbeiten, traten nach Regenfällen demzufolge erhöhte Konzentrationen an Spaltprodukten im Klärschlamm auf. Spitzenwerte wurden in Baden-Württemberg für Ru 103 bis zu 100 000 Bq/kg Trockensubstanz gemessen; für J 131 und Cs 137 lagen die maximalen Konzentrationen bei etwa 50 % dieses Wertes. Die Hälfte der Meßwerte in der Bundesrepublik Deutschland lagen für Ru 103 unter 10 000 Bq/kg Trockensubstanz, für J 131 und Cs 137 unter 1 000 Bq/kg Trockensubstanz. Der zeitliche Verlauf des Aktivitätsdurchgangs durch eine Berliner Kläranlage zeigt anhand von Tagesstichproben für J 131, Te 132 und Ru 103 im gemessenen Zeitraum vom 8. Mai bis 24. Mai 1986 eine deutliche Abnahme der Aktivität; auch die Cs 137-Werte sind rückläufig.

Aus Untersuchungen, die vom Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes durchgeführt wurden, geht hervor, daß bei der Verbrennung des Klärschlamm-

*) F.-E. Stieve: Akzeptanz von strahlenbedingten Risiken
Vortrag, gehalten auf der 27. Jahrestagung der Vereinigung Deutscher Strahlenschutzärzte am 23./24. Mai 1986 in Münster/Westfalen

**) Staatliches Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund

mes, mit Ausnahme der Jod-Isotope, sämtliche Radionuklide weitgehend in der zurückbleibenden Asche enthalten sind; bei Klärschlammverbrennungen mit Rauchgaswäsche wird auch das Jod zurückgehalten. Das bedeutet, daß nur eine geringe Belastung der Luft mit Radionukliden infolge der Klärschlammverbrennung auftritt. Messungen des vorgenannten Instituts haben ergeben, daß die in der Umgebung eines Klärwerkes mit Schlammverbrennung gemessenen Konzentrationen mit den an anderer Stelle gemessenen Konzentrationen in der Luft vergleichbar waren.

Ebenso wie der Klärschlamm selbst kann auch die nach der Klärschlammverbrennung zurückbleibende Asche auf Mülldeponien verbracht werden. Zwar können durch die Ablagerung auf begrenztem Raum erhöhte Konzentrationen von Radionukliden auftreten. Diese sind jedoch im Hinblick auf die gesamte Bodenkontamination von untergeordneter Bedeutung. Eine Kontamination von Grundwasser durch das langlebige Nuklid Cs 137 ist wegen dessen starker Affinität zu Feststoffen nicht zu befürchten, wie die Erfahrungen mit dem Kernwaffen-Fallout zeigen.

Die Strahlenschutzkommission sah deshalb in ihrer 3. Empfehlung vom 16. Mai 1986 keine Veranlassung, eine gesonderte Entsorgung von Rückständen aus der Klärschlammverbrennung zu empfehlen. Dies gilt auch für die Verbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzte Flächen, bei der laut Verordnung *) eine Menge von 0,5 kg Klärschlamm pro m² Boden nicht überschritten werden darf. Folglich wird die durch den radioaktiven Niederschlag infolge der Freisetzung in Tschernobyl ohnehin vorhandene Kontamination des Bodens mit langlebigen Radionukliden durch das Aufbringen des Klärschlammes nur unwesentlich erhöht.

Luftfilter

Zur Frage der Erfordernis von Luftfilterwechseln hat die Strahlenschutzkommission am 7. Mai 1986 festgestellt:

Filterwechsel bei Klimaanlage usw. ist wegen der radiologischen Situation nicht notwendig. Falls aus betrieblichen Gründen Filter ausgetauscht werden müssen, ist folgendes Vorgehen zu empfehlen:

Das Personal soll Staubmasken tragen. Ein direkter Kontakt der Körperoberfläche mit dem Filter bzw. mit dem Filterstaub ist zu vermeiden. Die Filter sind, z.B. in Plastiksäcken, an einem Ort zu lagern, an dem sich Personen nicht längere Zeit aufhalten. Die endgültige Beseitigung (Entsorgung) kann nach ca. 2 Monaten, wie bisher üblich, erfolgen. Vor dem Essen und nach Beendigung der Arbeiten sind die Hände zu waschen und mit Filterstaub verschmutzte Kleidung abzulegen.

Das Wechseln von Luftfiltern aus Kraftfahrzeugen ist aus Strahlenschutzgründen nicht notwendig. Im Rahmen der üblichen Wartung ausgetauschte Filter können wie normaler Abfall behandelt werden.

Diese Empfehlungen haben auch nach Vorlage neuer Erkenntnisse weiterhin Bestand; typische Oberflächendosisleistungen liegen nach Abklingen der Jodaktivität deutlich unter 1 mrem/h (10 µSv/h).

*) Klärschlammverordnung - AbfKlärV - vom 25.6.1982: BGBl.I, S. 734

Stark kontaminierte Fahrzeuge

Zur Frage einer evtl. erforderlichen Dekontamination von Fahrzeugen, die aus hoch kontaminierten Staaten in die Bundesrepublik einfahren, hat die Strahlenschutzkommission am 7. Mai 1986 folgende Empfehlung ausgesprochen:

Fahrzeuge (Kraftfahrzeuge, Personenzüge, Güterwagen), an denen bei der angeordneten Grenzkontrolle eine Oberflächenaktivität von mehr als 10^5 Becquerel pro m^2 festgestellt wird, sollen nach Möglichkeit dekontaminiert werden. Besondere Maßnahmen für den Schutz des Personals und die mit der Dekontamination beauftragten Personen sind nicht erforderlich.

d) Strahlenexposition von Landarbeitern bei der Tätigkeit auf kontaminierten landwirtschaftlichen Flächen

Zur Frage der möglichen Strahlenexposition von Landarbeitern hat die Strahlenschutzkommission am 16. Mai 1986 festgestellt:

Ausgehend von den höchsten in der Bundesrepublik Deutschland gemessenen Kontaminationen landwirtschaftlicher Flächen hat die Strahlenschutzkommission abgeschätzt, daß die Strahlenexposition der Landarbeiter durch äußere Bestrahlung und durch Inkorporation von Staub zu einer effektiven Dosis von maximal 10 mrem pro Jahr führen kann. Diesen Wert betrachtet die Strahlenschutzkommission als unbedenklich.

e) Freizeitverhalten

Zur Frage etwa erforderlicher Einschränkungen beim Freizeitverhalten der Bevölkerung der Bundesrepublik hat die Strahlenschutzkommission am 7. Mai 1986 wie folgt Stellung genommen:

Die Strahlenschutzkommission sieht keine Veranlassung, unsere natürlichen Lebensgewohnheiten zu ändern. Weder ist ein Kinderspielverbot im Freien notwendig, noch stellen Sandkästen, Tennisplätze und Aschenbahnen eine Gesundheitsgefährdung dar.

Reisen in andere von dem Kernkraftwerksunfall betroffene Länder sind nur dann unbedenklich, wenn die amtlichen Informationen eine ausreichende radiologische Überwachung in diesen Ländern erkennen lassen.

5 Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland

a) Einleitung

Es liegen nunmehr zahlreiche nuklidspezifische Meßergebnisse der durch den Unfall in Tschernobyl verursachten erhöhten Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland vor. Diese betreffen Aktivitätskonzentrationen in Luft, im Boden und Bodenbewuchs sowie in den wichtigsten Nahrungsmitteln. Ferner wurde an zahlreichen Orten die Gamma-Dosisleistung in Luft gemessen. Daraus läßt sich unter Zugrundelegung geeigneter radioökologischer Modelle die bereits aufgetretene und zukünftig zu erwartende Strahlenexposition von Bevölkerungsgruppen in verschiedenen Regionen der Bundesrepublik Deutschland abschätzen. Diese Dosisabschätzungen erfolgten mit Hilfe von Rechenmodellen, die das Verhalten repräsentativer Radionuklide in der Ökosphäre näherungsweise beschreiben (Radionuklidverteilung und Transfer bis zum Menschen). Die Rechenmodelle erlauben die

und Transfer bis zum Menschen). Die Rechenmodelle erlauben die Ermittlung der Strahlendosis aufgrund der Aktivitätsverteilung innerhalb und außerhalb des bestrahlten Individuums. Vereinfachte Modelle sind z.B. in der Allgemeinen Berechnungsgrundlage und in den Störfallberechnungsgrundlagen *) enthalten. Darüber hinaus liegt ein von der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung entwickeltes dynamisches Modell ECOSYS **) vor, das für die Abschätzung von Unfallfolgen mit einmaligem Aktivitätseintrag besser geeignet ist. Die wesentlichen Dosisbeiträge werden durch Aufnahme von Spaltprodukten in die Nahrung sowie durch die externe Gamma-Strahlung von am Boden abgelagerten Radionukliden geliefert. Demgegenüber ist der Beitrag durch Inhalation gering.

b) Dosisabschätzung

Für den Bereich München wurden von der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung unter Verwendung des ECOSYS-Modells die in den Tabellen 4 und 5 zusammengestellten Strahlendosen berechnet. Diesen Berechnungen liegen Aktivitätswerte in Nahrungsmitteln zugrunde, die sich aus dem radioaktiven Niederschlag in dieser Region ergeben haben. Die Berechnungen gehen von folgenden Annahmen aus:

- Alle Nahrungsmittel stammen aus einem Gebiet mit gleichem Kontaminationspegel (München)
- Milchverbrauch: Erwachsene 1/2 l pro Tag
Kleinkinder 1 l pro Tag
- Durchschnittliche altersabhängige Verzehrsmengen der anderen Lebensmittel
- Aufenthaltszeiten zur Ermittlung der externen Gamma-Strahlung:
Erwachsene 80 % im Haus, 20 % im Freien
Kleinkinder 70 % im Haus, 30 % im Freien
- Reduktionsfaktor für externe Gamma-Strahlung über glatten Flächen in der Stadt zur Berücksichtigung der geringeren Radioaktivität als über Wiesen: 0,5.

Die in den Tabellen 4 und 5 angegebenen Variationsbreiten sind auf die unterschiedlichen Kontaminationspegel in der Region und die Unsicherheiten des Modells zurückzuführen.

Die für das 1. Folgejahr angegebene Schilddrüsendosis von 300 - 1300 mrem (3 - 13 mSv) bei Kindern bzw. von 50 - 250 mrem (0,5 - 2,5 mSv) bei Erwachsenen wird im wesentlichen durch die kurzlebigen Radiojod-Isotope verursacht. Dieser Dosisbeitrag fiel daher zum größten Teil in den ersten Wochen nach der Kontamination an. Infolge der beobachteten Einschränkungen beim Verbrauch von Frischmilch in den ersten Wochen ist zu erwarten, daß die

*) s. Fußnoten S. 8

**) GSF-Bericht, S-882 (1982)

tatsächliche, mittlere Schilddrüsendosis durch Radiojod an der unteren Grenze des genannten Bereichs liegt. Die langzeitige Exposition durch Aufnahme von Nahrungsmitteln wird im wesentlichen durch die beiden Cäsium-Isotope Cs 134 und Cs 137 verursacht. Demgegenüber beträgt der Beitrag durch Strontium 90 weniger als 5 %. Die Tabelle 5 zeigt, daß die durch Ingestion und äußere Bestrahlung verursachten Lebenszeit-Dosen etwa gleich groß sind.

Es ist zu betonen, daß die angegebenen Berechnungen auf Kontaminationswerten in Südbayern beruhen, die erheblich höher waren als in den übrigen Regionen der Bundesrepublik, insbesondere im Norden und Westen.

Tabelle 4: Effektive Dosen und Organdosen im 1. Folgejahr (Mai 1986 bis April 1987), ausgehend von den Werten des radioaktiven Niederschlags im Raume München

Altersgruppe, Art der Exposition	Organdosen in mrem (mSv)		Effektive Dosen in mrem (mSv)
	Schilddrüse	Knochenmark, Gonaden	
Kinder (0 - 10 Jahre)			
– Inhalation und Ingestion	300 - 1300 (3 - 13)	30 - 70 (0,3 - 0,7)	40 - 100 (0,4 - 1)
– Ext. γ -Strahlung	30 - 60 (0,3 - 0,6)	30 - 60 (0,3 - 0,6)	30 - 60 (0,3 - 0,6)
Insgesamt	330 - 1360 (3,3 - 13,6)	60 - 130 (0,6 - 1,3)	70 - 160 (0,7 - 1,6)
Erwachsene			
– Inhalation und Ingestion	50 - 250 (0,5 - 2,5)	30 - 60 (0,3 - 0,6)	40 - 80 (0,4 - 0,8)
– Ext. γ -Strahlung	10 - 30 (0,1 - 0,3)	10 - 30 (0,1 - 0,3)	10 - 30 (0,1 - 0,3)
Insgesamt	60 - 280 (0,6 - 2,8)	40 - 90 (0,4 - 0,9)	50 - 110 (0,5 - 1,1)

Die vorliegenden Aktivitätsmessungen in der Bundesrepublik Deutschland lassen erwarten, daß die regionalen Strahlendosen im Bereich zwischen einem Zehntel und dem Zweifachen (in einzelnen Regionen Südbayerns) der für den Münchener Raum abgeschätzten Werte liegen.

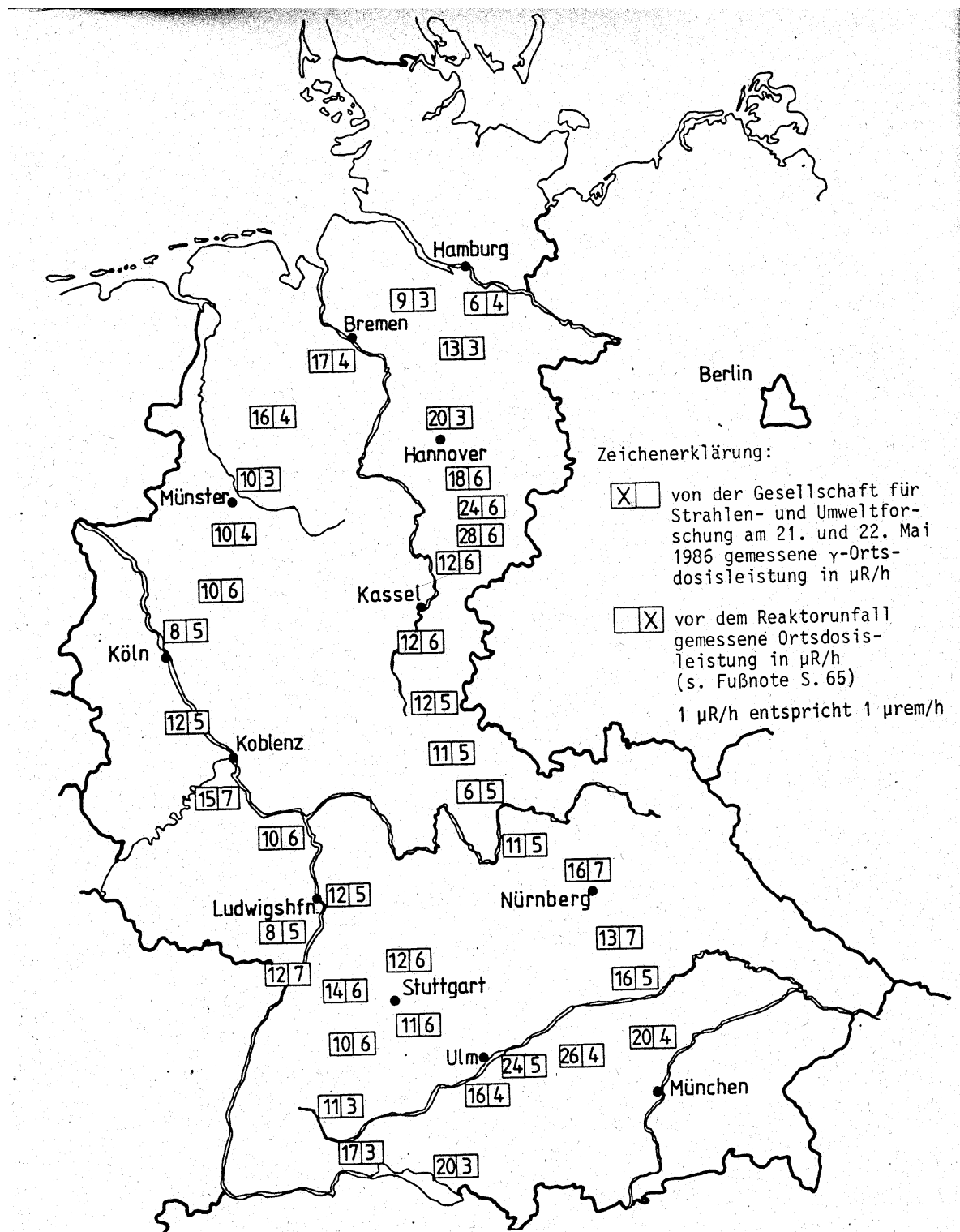
Tabelle 5: Für die gesamte Lebenszeit erwartete Strahlendosen infolge des Unfalls in Tschernobyl, ausgehend von den Werten des radioaktiven Niederschlags im Raume München

Effektive Lebenszeit-Äquivalentdosis			
Altersgruppe	Art der Exposition	Effektive Dosis in mrem (mSv)	Gesamte effektive Dosis in mrem (mSv)
Kinder (0 - 10 Jahre)	Inhalation und Ingestion	100 - 250 (1 - 2,5)	300 - 550 (3 - 5,5)
	Ext. γ -Strahlung	200 - 300 (2 - 3)	
Erwachsene	Inhalation und Ingestion	50 - 200 (0,5 - 2)	150 - 400 (1,5 - 4)
	Ext. γ -Strahlung	100 - 200 (1 - 2)	

Einen Überblick über die Verteilung der Radioaktivität gibt Abbildung 1 auf Seite 26. In ihr ist die Ortsdosisleistung im Freien am 21. und 22. Mai für verschiedene Orte der Bundesrepublik Deutschland wiedergegeben. Diese wurden von der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung gemessen. Gleichzeitig wurden auf dieser Karte typische Werte der durch die natürliche Strahlung bewirkten Ortsdosisleistung im Freien wiedergegeben, wie sie in einem Forschungsvorhaben des Bundesministers des Innern ermittelt und 1977 veröffentlicht wurden *).

*) Die Strahlenexposition von außen in der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche radioaktive Stoffe im Freien und in Wohnungen unter Berücksichtigung des Einflusses von Baustoffen
Herausgegeben vom Bundesminister des Innern, 1977

Abbildung 1: Gamma-Dosisleistungen in verschiedenen Gebieten der Bundesrepublik Deutschland vor und nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl



In Tabelle 6 sind gemessene Werte der J 131-Aktivität in der Schilddrüse von Kindern an verschiedenen Orten der Bundesrepublik Deutschland aufgeführt. Es zeigt sich, daß die berechneten Werte der Jodinkorporation eher zu hoch als zu niedrig sind. Dies kann durch die bereits erwähnten ungünstigen Annahmen über den Milchverzehr erklärt werden.

Tabelle 6: Inkorporation von Jod 131 nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl (Ganzkörpermessungen bei Kindern - vorläufige Ergebnisse bis zum 30. Mai 1986)

Meßstelle	Kinder gesamt	Zahl der Kinder mit einer Jodaktivität von		
		< 100 Bq	100 - 300 Bq	300 - 600 Bq
Düsseldorf	5	5	-	-
Frankfurt	70	51	18	1
Homburg/Saar	5	-	5	-
Karlsruhe	8	2	6	-
München	46	22	13	11

Die in München gemessenen Werte der J 131-Aktivität in Kindern ergeben eine mittlere Schilddrüsendosis von weniger als 300 mrem (3 mSv) und liegen damit unter der unteren Grenze der in Tabelle 4 angegebenen abgeschätzten Organdosen.

Ganzkörpermessungen der Cs 137-Inkorporation bei Kindern aus München zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Inkorporation von Cäsium 137 nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl (Ganzkörpermessungen bei Kindern - bis zum 30. Mai 1986)

Kinder gesamt	Zahl der Kinder mit einer Cs 137-Aktivität von		
	< 100 Bq	100 - 300 Bq	300 - 700 Bq
46	17	21	8

Die aus den gemessenen Körperaktivitäten von Cs 137 berechneten Werte der effektiven Dosis liegen unter 1 mrem (10 µSv). Sie weisen ebenfalls darauf hin, daß die für das erste Jahr abgeschätzten effektiven Äquivalentdosen vermutlich eine Überschätzung der realen Strahlenexposition darstellen.

c) Vergleich mit der natürlichen Strahlenexposition

Zur Bewertung der durch den Unfall in Tschernobyl zu erwartenden zusätzlichen Strahlenexposition der Bevölkerung kann die natürliche Strahlenexposition und ihre Schwankungsbreite herangezogen werden. Die mittlere, effektive Äquivalentdosis durch natürliche Strahlenquellen liegt in der Bundesrepublik Deutschland bei etwa 200 mrem (2 mSv) pro Jahr (vgl. Tabelle 2 in Kapitel 2). Dies führt zu einer mittleren natürlichen Lebenszeitdosis von etwa 15 rem (150 mSv). Annähernd 50 % dieser natürlichen Strahlenexposition wird durch die natürliche Radioaktivität in Häusern verursacht. Die Schwankungsbreite der natürlichen Strah-

lenexposition ist erheblich und umfaßt einen Bereich zwischen etwa der Hälfte und dem Dreifachen des oben angegebenen Mittelwertes in der Bundesrepublik Deutschland.

Aus einem Vergleich mit den geschätzten Werten in Tabelle 4 folgt, daß die zusätzliche effektive Dosis der Bevölkerung für Erwachsene im Raume München im 1. Folgejahr etwa 25 - 55 % der mittleren jährlichen natürlichen Strahlenexposition entspricht. Die durch den radioaktiven Niederschlag nach dem Reaktorunfall kumulierte Lebenszeitdosis, die auf etwa 300 - 550 mrem (3 - 5,5 mSv) bei Kindern bzw. 150 - 400 mrem (1,5 - 4 mSv) bei Erwachsenen abgeschätzt wird (s. Tabelle 5), entspricht im Raum München etwa 1 - 5 % der natürlichen Strahlenexposition während der gesamten Lebenszeit. Für den größten Teil der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland dürfte der relative Zuwachs eher bei 1 % oder darunter liegen.

6 Abschätzung möglicher Strahlenspät Schäden

a) Einleitung

Die durch den radioaktiven Niederschlag nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl in der Bundesrepublik hervorgerufenen Strahlendosen sind zu gering, um akute Strahlenwirkungen zu verursachen. Überlegungen bezüglich möglicher Strahlenschäden beziehen sich daher allein auf Spätwirkungen wie die Induktion von bösartigen Erkrankungen oder Erbschäden.

Um eine Vorstellung von der Größenordnung des zusätzlichen Individualrisikos zu geben, soll dieses im folgenden für die möglichen Schadensarten dem natürlicherweise vorhandenen Risiko gegenübergestellt werden.

Dieser Abschätzung wird eine Person zugrunde gelegt, die bedingt durch den Reaktorunfall eine effektive Dosis während der gesamten Lebenszeit von 200 mrem (2 mSv) erhält. Nach den Überlegungen des vorangegangenen Kapitels ist dies der geschätzte Wert der Folgedosis, der für größere Gebiete der Bundesrepublik Deutschland repräsentativ sein dürfte.

Zur Bewertung dieser Strahlendosis ist einerseits die Exposition durch natürliche Strahlenexposition des Menschen heranzuziehen. Andererseits kann die Häufigkeit möglicher strahleninduzierter Spät Schäden aufgrund von Risikokoeffizienten abgeleitet werden, die auf epidemiologischen Beobachtungen bei viel höheren Strahlendosen beruhen. Diese abgeschätzten Häufigkeiten können dann mit den spontanen Häufigkeiten dieser Erkrankungen verglichen werden. Die natürliche Strahlenexposition führt - wie in Kapitel 2 erläutert - in einem Jahr zu einer effektiven Dosis von 200 mrem (2 mSv). Die durch den Reaktorunfall in Tschernobyl bedingte effektive Dosis für die gesamte Lebenszeit ist also von ähnlichem Betrag wie die entsprechende Dosis der natürlichen Strahlenexposition eines Jahres und damit klein gegenüber der über das gesamte Leben summierten Dosis natürlichen Ursprungs von etwa 15 rem (150 mSv).

b) Somatische Spätschäden

Schilddrüsenkrebs

Wie in Kapitel 3 b) aufgeführt, hielt die Strahlenschutzkommission für die Schilddrüsendosis des Kleinkindes einen Richtwert von 3 rem (30 mSv) für annehmbar. Dieser Wert ist insbesondere gestützt durch die Ergebnisse der Untersuchungen über Spätwirkungen bei langjährigen Anwendungen von J 131 in der nuklearmedizinischen Diagnostik. Die hierüber in Schweden durchgeführten Untersuchungen *) haben gezeigt, daß nach mittleren Schilddrüsendosen von 58 rem (580 mSv) bei Erwachsenen und von 159 rem (1,59 Sv) bei Kindern und Jugendlichen und Beobachtungszeiten von 12 bis 25 Jahren statistisch gesichert keine Erhöhung der Erkrankungsrate an Schilddrüsenkarzinomen feststellbar war.

An der genannten schwedischen Studie wird u.a. die Länge der bisherigen mittleren Beobachtungszeit von 17 Jahren kritisiert. Hierzu ist folgendes festzustellen: Unter Zugrundelegung des Risikomodells und der daraus folgenden Risikokoeffizienten des Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkungen atomarer Strahlung (UNSCEAR) sollten in der Patientenpopulation der schwedischen Studie innerhalb von 25 Jahren 47 bis 127 Karzinomfälle auftreten. Es wäre zu erwarten gewesen, daß sich nach 17 Jahren mittlerer Beobachtungszeit und Beobachtungszeiten bis zu 25 Jahren zumindest ein Trend erhöhter Inzidenz abzeichnet.

Bei der Festlegung des Richtwertes der Schilddrüsendosis von 3 rem (30 mSv) für Kleinkinder ist die Strahlenschutzkommission davon ausgegangen, daß Untersuchungen am Menschen keine karzinogene Wirkung für die Schilddrüse durch J 131 im niedrigen Dosisbereich gezeigt haben. Damit kann selbst unter Annahme einer erhöhten Strahlenempfindlichkeit des Kleinkindes der Wert von 3 rem (30 mSv) als annehmbar angesehen werden.

Zur Strahlenexposition des Feten ist folgendes anzumerken: Beim Feten beginnt die Fähigkeit, Jod in der Schilddrüse zu konzentrieren, schon in der 12. Schwangerschaftswoche. Die Aktivitätskonzentration von J 131 in der fetalen Schilddrüse ist im Mittel weniger als doppelt so groß wie diejenige in der Schilddrüse der Mutter. Im wesentlichen wegen der kürzeren biologischen Halbwertszeit und der wachstumsbedingten Massenzunahme ist jedoch die resultierende Schilddrüsendosis beim Feten in der Mitte der Schwangerschaft etwa halb so groß wie bei der Mutter und ist am Ende der Schwangerschaft etwa gleich groß wie die Schilddrüsendosis der Mutter. Diese beträgt etwa ein Zehntel der Schilddrüsendosis beim Kleinkind. Damit kann die fetale Schilddrüsendosis ebenfalls nur ein Zehntel des Wertes für Kleinkinder erreichen.

Die jetzt vorliegenden Ergebnisse von Ganzkörpermessungen an Kindern in verschiedenen Regionen der Bundesrepublik Deutschland zeigen, daß die tatsächlich erreichten Werte der Schilddrüsendosis im Mittel weniger als ein Zehntel des Richtwertes von 3 rem (30 mSv) betragen (s. S. 27).

*) L.-E; Holm: Incidence of malignant thyroid tumors in man after diagnostic and therapeutic dosis of iodine-131; epidemiological and histopathological Department of General Oncology, Radiumhemmet, Carolinska Hospital, Stockholm 1980 .

Ungeachtet der oben zitierten schwedischen Studie, in der neben der natürlichen Rate keine zusätzlichen Schilddrüsenkarzinome beobachtet wurden, läßt sich rechnerisch eine Erhöhung der Mortalität infolge eines Schilddrüsenkarzinoms aufgrund der Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl abschätzen. Dieser Abschätzung liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Schilddrüsendosis 300 mrem (3 mSv) als mittlerer Wert für Kinder zwischen 0 und 10 Jahren in höher belasteten Gebieten wie München.
- Risikokoeffizient nach UNSCEAR *) für die Mortalität durch Schilddrüsenkrebs, hergeleitet im wesentlichen aus Untersuchungen nach externer therapeutischer Bestrahlung von Kindern: $5 \cdot 10^{-6} \text{ rem}^{-1}$ bis $15 \cdot 10^{-6} \text{ rem}^{-1}$ ($5 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}^{-1}$ bis $15 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}^{-1}$) für die gesamte Lebenszeit; hier wird von einem Wert von $10 \cdot 10^{-6} \text{ rem}^{-1}$ ($10 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}^{-1}$) ausgegangen.
- Reduktionsfaktor der Wirksamkeit für J 131 gegenüber externer Strahlung nach NCRP **) von 3.
- Mittlere natürliche Mortalitätsrate des Schilddrüsenkarzinoms: Diese liegt in der Bundesrepublik Deutschland für einen Zeitraum von 50 Jahren bei Kindern von jetzt 0 bis 10 Jahren in der Größenordnung von $100 \cdot 10^{-6}$.

Dies bedeutet bezüglich der natürlichen Krebsmortalität, daß die Wahrscheinlichkeit für die genannte Altersgruppe, innerhalb der nächsten 50 Jahre an einem Schilddrüsenkarzinom zu sterben, etwa 1 : 10 000 beträgt. Dieses natürliche Risiko erhöht sich unter den o.g. Annahmen rechnerisch etwa um 1 %.

In ähnlicher Weise läßt sich rechnerisch eine strahleninduzierte Erhöhung der Inzidenz des Schilddrüsenkarzinoms um 2 % abschätzen.

Gesamtrisiko somatischer Spätschäden

Es liegen keine epidemiologischen Untersuchungen vor, die eine direkte Aussage über das strahlenbedingte Krebsrisiko im Dosisbereich von wenigen rem und darunter ermöglichen. Alle Risikoabschätzungen basieren auf der Extrapolation der bei weit höheren Dosen beobachteten strahleninduzierten Krebsinzidenz. Bei der Extrapolation dieser Daten zu niedrigen Dosen wird im allgemeinen eine lineare bzw. linearquadratische Beziehung zwischen der Dosis und dem strahleninduzierten Krebsrisiko zugrunde gelegt. ICRP und UNSCEAR erhielten auf diese Weise Risikokoeffizienten für die strahleninduzierte Mortalität durch alle Krebserkrankungen von der Größenordnung 0,01 % pro rem (bzw. 1 % pro Sv) effektive Dosis. Bei Verwendung dieses Risikokoeffizienten errechnet man also für eine effektive Dosis von 200 mrem (2 mSv) eine Erhöhung der Mortalität durch Krebserkrankungen in der Größenordnung von 0,002 %. Die mittlere Wahrscheinlichkeit der Bevölkerung der Bundesrepublik

*) Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; 1977 report to the General Assembly, with annexes. United Nations, New York 1977

**) NCRP-Report 80: Induction of thyroid cancer by ionizing radiation. National Council of Radiation Protection and Measurement, 7910 Woodmont Avenue, Bethesda M.D. 20814 (1985) USA

Deutschland an Krebs zu sterben, beträgt heute etwa 0,2; d.h. etwa 20 % unserer Bevölkerung sterben an Krebserkrankungen. Das durch den Reaktorunfall bedingte Risiko ist also klein im Vergleich zu der zeitlichen und regionalen Variation der spontanen Krebshäufigkeit; es wird sich deshalb epidemiologisch nicht beobachten lassen.

c) Genetische Wirkungen

Geht man auch hier von einer durch den Unfall bedingten zusätzlichen Dosis der Keimzellen von 200 mrem (2 mSv) aus, so läßt sich folgendes feststellen: Aufgrund der Ergebnisse der experimentellen Strahlen-genetik können 3 bis 4 % der normalerweise auftretenden Erbänderungen (Mutationen) durch die natürliche Strahlenexposition im Laufe einer Generation verursacht werden. Daraus würde sich ergeben, daß die Mutationsrate sich durch den Unfall in Tschernobyl in der Bundesrepublik Deutschland um einige Promille erhöhen wird. Es handelt sich dabei

- (1) um strukturelle und numerische Chromosomenaberrationen (natürliche Häufigkeit bei Neugeborenen ungefähr 0,6 %);
- (2) um dominante und X-chromosomale Erbkrankheiten (natürliche Häufigkeit unter 1 %), diese sind vielfach nicht im Neugeborenenalter erkennbar;
- (3) möglicherweise um bisher nicht genau analysierte Anomalien und Fehlbildungen.

Etwa 2 bis 3 % aller Neugeborenen werden mit irgendeinem ins Gewicht fallenden Defekt geboren, der jedoch vielfach eine äußere nicht genetische Ursache hat oder dessen Ursache unbekannt ist. Es wäre auch bei überaus sorgfältiger epidemiologischer Überwachung und Nachuntersuchung aller Neugeborenen über viele Jahrzehnte hin – aus statistischen Gründen – unmöglich, eine derartig geringe Mutationsratenerhöhung nachzuweisen.

Insbesondere muß bedacht werden, daß die natürliche Mutationsrate nicht konstant ist; so ist z.B. die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von numerischen Chromosomenaberrationen stark vom Alter der Mutter und für manche dominant erblichen Krankheiten vom Alter des Vaters abhängig.

Selbst eine geringe Verschiebung im Fortpflanzungsverhalten und speziell in der Altersverteilung der Mütter hat einen wesentlich stärkeren Einfluß, zum Beispiel auf die Häufigkeit des Down-Syndroms (Mongolismus), als eine erhöhte Keimzellbelastung durch die abgeschätzten Strahlendosen.

Nicht einmal unter den nach den Atombombenabwürfen gezeugten Kindern der Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki, deren Strahlenbelastung der Keimzellen um ein Vielfaches höher war, konnten genetische Wirkungen statistisch nachgewiesen werden.

d) Strahlenbedingte Entwicklungsstörungen

Während der Entwicklung des Säugers im Mutterleib werden Phasen mit sehr unterschiedlichen entwicklungsbiologischen Prozessen durchlaufen. Tierexperimentelle Untersuchungen und Erfahrungen beim Menschen haben gezeigt, daß während der gesamten vorgeburtlichen Entwicklung eine erhöhte Strahlenempfindlichkeit besteht. Als wesentliche Effekte sind nach der Strahlenexposition zu betrachten:

- (1) Der Tod des Embryos oder Feten
- (2) Makroskopisch-anatomische Mißbildungen vor allem des Skeletts
- (3) Weitere Entwicklungsanomalien insbesondere des Zentralnervensystems.

Art und Umfang der Effekte sind auch vom Entwicklungsstadium abhängig, bei dem die Exposition stattfindet.

Der Tod der Frucht tritt vor allem bei Bestrahlung während der ersten Tage der Schwangerschaft ein. Mißbildungen werden nach Strahlenexpositionen während der ersten beiden Schwangerschaftsmonate und Schäden der geistigen Entwicklung nach Bestrahlung im dritten bis sechsten Schwangerschaftsmonat hervorgerufen.

Erfahrungen in der Medizin und bei den Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki sowie tierexperimentelle Daten und Untersuchungen der zellbiologischen Mechanismen legen es nahe, daß Mißbildungen auch in den empfindlichen Phasen erst verursacht werden, wenn Schwellendosen überschritten werden. Die Strahlendosen, die in der Bundesrepublik Deutschland durch den Reaktorunfall in Tschernobyl bei ungeborenen Kindern (Embryo bzw. Fetus) verursacht worden sind, haben erheblich unter diesen Schwellendosen gelegen. Eine erhöhte Rate an Mißbildungen und Entwicklungsanomalien ist daher aufgrund der Strahlenwirkungen nicht zu erwarten.

7 Vorschläge und Empfehlungen der Strahlenschutzkommission zum weiteren Vorgehen

Der Reaktorunfall in Tschernobyl ist ein Anlaß, eine nachhaltige Überprüfung der die Umweltradioaktivität erfassenden Überwachungs- und Informationssysteme vorzunehmen. Für diesen komplexen Bereich, mit dem sich die Strahlenschutzkommission noch eingehender befassen wird, können aus der Sicht des Strahlenschutzes vorerst nur einige erste Empfehlungen ausgesprochen werden.

Aus dem hier vorgelegten Zwischenbericht ersieht man, daß die zahlreichen Messungen und Erhebungen einen relativ guten Überblick über die Kontamination der Umwelt in der Bundesrepublik Deutschland infolge des Reaktorunfalls in Tschernobyl ergaben und daher als Grundlage für die verschiedenen SSK-Empfehlungen dienen konnten. Andererseits sollte aber nach Auswertung der jetzt eingehenden Daten aus den Meßprogrammen sowie aus Übersichtsberichten der verschiedenen Organisationen auf Länderebene und auf Bundesebene der Strahlenschutzkommission die Möglichkeit gegeben werden, dieses Material mit Hilfe ihrer Ausschüsse umfassend zu analysieren, um die Konsequenzen für eine Verbesserung des Gesamtsystems möglichst rasch zu erarbeiten.

Insbesondere hält die Strahlenschutzkommission folgende Maßnahmen für erforderlich:

- a) Sie bittet Erhebungen durchzuführen, wodurch die vielfältigen unterschiedlichen Empfehlungen auf Länder- und kommunaler Ebene entstanden sind. Es wäre zu prüfen, wie die aufgetretenen Verunsicherungen aufgrund der unterschiedlichen Richtwerte und Empfehlungen hätten vermieden werden können.

- b) Neben der eigentlichen Katastrophenschutzplanung bei kerntechnischen Anlagen sollten weitergehende Überlegungen bezüglich Strahlenminimierungs- und Schutzmaßnahmen bei kerntechnischen Notfällen in der Bundesrepublik Deutschland oder ihren Nachbarländern durchgeführt werden.
- c) Während des Reaktorunfalls wurden Bürger der Bundesrepublik, die sich beruflich oder als Touristen in der Umgebung von Tschernobyl aufgehalten haben, relativ hohen Strahlenexpositionen ausgesetzt. An diesen Betroffenen sind an verschiedenen Stellen Messungen und Untersuchungen über die Auswirkung der Bestrahlung vorgenommen worden. Die Strahlenschutzkommission schlägt vor, daß eine Zusammenfassung und koordinierte Auswertung dieser Messungen durchgeführt wird.
- d) Presse, Rundfunk und Fernsehen haben eine Funktion im Gesamtsystem der öffentlichen Sicherheit auch gegenüber Strahleneinwirkungen, da sie der Übermittlung von Verhaltensempfehlungen an die Bevölkerung dienen. Die Strahlenschutzkommission schlägt vor, die gemachten Erfahrungen im Hinblick auf die Unterrichtung der Öffentlichkeit zu analysieren, um eine bessere und effizientere Information sicherzustellen. Sie hält es für dringend notwendig, daß die Bundesregierung und die Länderregierungen die Möglichkeiten von Presse, Rundfunk und Fernsehen zur unmittelbaren Information der Bevölkerung über das zweckmäßige Verhalten in einer bevorstehenden oder befürchteten Gefahrensituation gemeinsam besser nutzen und nur zuvor koordinierte Empfehlungen abgeben.
- e) Die Strahlenschutzkommission empfiehlt, die Probleme des Strahlenrisikos in ausgewogener und verständlicher Form der Bevölkerung und den Politikern darzustellen, damit es künftig nicht zu Überreaktionen kommt. Die Problematik der Strahlenkrebsrisiken sollte in einer anschaulichen Form dargestellt werden, wobei eine bessere Bewertung des Strahlenkrebsrisikos im Vergleich zu anderen Krebsrisiken ermöglicht wird. Die Meßergebnisse und Schutzstrategien müssen stärker unter dem Gesichtspunkt des Abwägens zwischen Nutzen und Risiko betrachtet werden, da die Verminderung des Strahlenrisikos auch mit Risiken anderer Art verbunden sein kann.
- f) Die Strahlenschutzkommission schlägt vor, zu prüfen, inwieweit vorhandene Meßnetze des Bundesamtes für Zivilschutz, des Umweltbundesamtes, des Deutschen Wetterdienstes sowie der Meßstellen der Kernkraftwerke und Großforschungseinrichtungen ertüchtigt und koordiniert zusammengefaßt werden können, um einen schnellen, lückenlosen, an zentraler Stelle abrufbereiten Überblick zu ermöglichen.
- g) Die Strahlenschutzkommission wird die zahlreichen Erfahrungen im Verlauf der Meßprogramme zum Unfall von Tschernobyl, insbesondere bezüglich der Erfassung der Meßwerte, der Auswertung, der Umsetzung und Abschätzung der zu erwartenden Dosiswerte kritisch auswerten. Auch Fragen der überregionalen Auswertung wird sie näher analysieren, um durch entsprechende Empfehlungen zu ermöglichen, daß in Zukunft besser und schneller zuverlässige einheitliche Bewertungen vorgenommen werden können. Meßtechnische Voraussetzungen, Vereinheitlichung von Ergebnisauswertungen, der Einsatz von Computersystemen zur graphischen Darstellung der vielfältigen Meßergebnisse müssen diskutiert und entsprechende Empfehlungen erarbeitet werden.