

Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

**Wissenschaftliche Grundlagen zur Ableitung von
Dosiswerten und Kontaminationswerten
nach § 6 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes**

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in einer gemeinsamen Sitzung der „Kommission zur wissenschaftlichen
Vorbereitung von Rechtsverordnungen zu § 6 Abs. 1 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes“
der SSK und der Strahlenschutzkommission am 1. Oktober 1987

Veröffentlicht in: – Bundesanzeiger Nr. 210 vom 7. November 1987
– Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 10

Inhaltsverzeichnis

A	Grundsätzliche Überlegungen zu den Rechtsverordnungen nach § 6 Strahlenschutzvorsorgegesetz	3
B	Ableitung von primären Eingreifwerten zur Begrenzung der Strahlenexposition (Dosiswerte)	6
C	Ermittlung sekundärer Eingreifwerte für kontaminierte Lebensmittel (Kontaminationswerte)	9
	Literatur	15
	Ergänzung Erläuterungen zu den Berechnungen der Basiswerte für die sekundären Eingreifrichtwerte	17

A Grundsätzliche Überlegungen zu den Rechtsverordnungen nach § 6 Strahlenschutzvorsorgegesetz

Eines der Hauptziele des Strahlenschutzes der Bevölkerung und beruflich Strahlenexponierter ist es, die zivilisatorisch bedingte Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten, um nicht-stochastische Schäden zu verhindern und das Risiko stochastischer Schäden zu begrenzen.

Nach den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP-Publikation Nr. 26) [IC 78] gibt es 2 getrennt zu betrachtende Kategorien von Ereignissen, die zu einer Strahlenexposition führen können:

1 Eine Strahlenexposition durch eine kontrollierte Strahlenquelle, d.h. unter Bedingungen, unter denen eine Strahlenexposition vorauszusehen ist, die durch Kontrolle der Quelle eingeschränkt werden kann

In diesem Fall kann das von der ICRP entwickelte System der Dosisbegrenzung angewandt werden. Die Hauptforderungen der Dosisbegrenzung sind folgende:

- a) Es darf keine Tätigkeit gestattet werden, die nicht zu einem positiven Nettonutzen führt;
- b) alle Strahlenexpositionen müssen so niedrig gehalten werden, wie es unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Faktoren vernünftigerweise erreichbar ist;
- c) die Äquivalentdosen von Einzelpersonen dürfen die von der Kommission für die jeweiligen Bedingungen empfohlenen Grenzwerte nicht überschreiten.

Dieses System der Dosisbegrenzung ist durch die Euratom-Strahlenschutzgrundnormen vom 15. Juli 1980 (Artikel 6) übernommen und bereits in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 13. Oktober 1976 [BG 76] rechtlich bindend verankert worden:

- Bei allen Tätigkeiten, die der Strahlenschutzverordnung unterliegen, insbesondere beim Betrieb von kerntechnischen Anlagen sowie beim Umgang mit und bei der Beförderung von Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen, besteht die rechtliche Verpflichtung, jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Personen, Sachgütern oder der Umwelt zu vermeiden sowie jede Strahlenexposition unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in der Strahlenschutzverordnung festgesetzten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten (§ 28 Abs. 1 StrlSchV).
- Dosisgrenzwerte sind für Einzelpersonen der Bevölkerung in den §§ 44 ff. StrlSchV, für beruflich strahlenexponierte Personen in den §§ 49 ff. StrlSchV festgelegt.
- Kernkraftwerke und andere kerntechnische Anlagen dürfen nur dann genehmigt werden, wenn auf Grund der Planung durch bauliche und sonstige technische Schutzmaßnahmen

gewährleistet ist, daß bei einem Störfall, also bei einem vorhersehbaren Ereignis die in § 28 Abs. 3 StrlSchV genannten Dosisgrenzwerte nicht überschritten werden.

Durch die aus den o.g. Strahlenschutzprinzipien abgeleiteten Regelungen wird die Einhaltung der Dosisgrenzwerte sichergestellt. Die Dosisgrenzwerte stellen aber keine Trennlinie zwischen Sicherheit und Gefahr dar.

2 Eine unvorhersehbare und unkontrollierte Strahlenexposition aufgrund einer unfallbedingten Freisetzung radioaktiver Stoffe aus einer Strahlenquelle

Die hierbei entstehende Strahlenexposition ist nach ICRP 26 – wenn überhaupt – nur durch geeignete Gegenmaßnahmen im Ereignisfall zu begrenzen.

Solche Gegenmaßnahmen müssen im voraus geplant werden. Darüber hinaus können im voraus Referenzwerte der Dosis festgelegt werden, auf deren Basis im Ereignisfall Maßnahmen durchzuführen sind. Die ICRP befaßt sich in ihrer Publikation Nr. 40 [IC 84] im einzelnen mit Grundsätzen für die Planung von Schutzmaßnahmen der Bevölkerung bei größeren nuklearen Unfällen (siehe Teil B).

Die im Rahmen des Strahlenschutzvorsorgegesetzes [BG 86] festzulegenden Dosis- und Kontaminationswerte beziehen sich nur auf den Fall eines unvorhersehbaren Ereignisses.

Die Zweckbestimmung dieses Gesetzes (§ 1) sieht zum Schutz der Bevölkerung folgendes vor:

- „1. die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen.
2. die Strahlenexposition der Menschen und die radioaktive Kontamination der Umwelt im Falle von Ereignissen mit möglichen, nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen unter Beachtung des Standes der Wissenschaft und unter Berücksichtigung aller Umstände durch angemessene Maßnahmen so gering wie möglich zu halten.“

Bei Ereignissen mit größeren radiologischen Auswirkungen kann es zu einer Strahlenexposition der Bevölkerung auf folgenden Expositionspfaden kommen:

- Bestrahlung aus der radioaktiven Wolke,
- Inhalation von radioaktiven Stoffen,
- Bestrahlung durch radioaktive Stoffe, die auf dem Boden abgelagert sind,
- Ingestion von radioaktiven Stoffen durch Verzehr kontaminierter Lebensmittel.

Der Beitrag dieser verschiedenen Expositionspfade zur Strahlenexposition der Bevölkerung wird sich insbesondere mit zunehmendem räumlichem Abstand vom Ort des Ereignisses verändern. Daneben haben auch die Witterungsbedingungen einen erheblichen Einfluß.

Weiterhin wird der Dosisbeitrag der verschiedenen Expositionspfade zu unterschiedlichen Zeiten nach dem auslösenden Ereignis zum Tragen kommen. So erfolgen die Bestrahlung aus der radioaktiven Wolke und die Inhalation von radioaktiven Stoffen überwiegend in direktem Zusammenhang mit der Freisetzung radioaktiver Stoffe. Die Zeitdauer der Relevanz dieser beiden Expositionspfade ist bestimmt durch die Zeitdauer der Freisetzung und die Zeit für die

Verfrachtung der Radionuklide an den zu betrachtenden Aufpunkt. Im Gegensatz hierzu erstreckt sich die Strahlenexposition durch radioaktive Stoffe, die auf dem Boden abgelagert sind, und diejenige durch Ingestion über wesentlich längere Zeiträume, die bis zu mehreren Jahren dauern. Zudem hängt die Ingestionsdosis stark von der Jahreszeit ab, in der das auslösende Ereignis stattfindet.

Überall dort, wo es durch die Expositionspfade

- Bestrahlung aus der radioaktiven Wolke,
- Inhalation von radioaktiven Stoffen,
- Bestrahlung durch radioaktive Stoffe, die auf dem Boden abgelagert sind,

entweder einzeln oder durch deren Zusammenwirken in unmittelbarem zeitlichem und örtlichem Zusammenhang mit dem auslösenden Ereignis zu beträchtlichen Strahlenexpositionen kommen kann, sind zu deren Begrenzung schnelle und möglicherweise sehr weitreichende Maßnahmen erforderlich. Diese Maßnahmen sind in den verschiedenen Bundesländern durch die Gesetze zum Katastrophenschutz geregelt. Um die Besonderheiten der radiologischen Auswirkungen bei einem kerntechnischen Unfall zu berücksichtigen, haben Bund und Länder gemeinsam die Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen [GM 77] erarbeitet.

Über den Bereich hinaus, in dem Maßnahmen des Katastrophenschutzes zur Gefahrenabwehr notwendig sind, kann es über längere Zeiträume über die Expositionspfade "Bestrahlung durch radioaktive Stoffe, die auf dem Boden abgelagert sind" und durch „Ingestion von radioaktiven Stoffen durch Verzehr kontaminierter Lebensmittel“ zu einer erhöhten Strahleneinwirkung kommen. Die hier zur Begrenzung der Strahleneinwirkung notwendigen Maßnahmen gehören zum Regelungsgehalt des § 6 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes. Dieser Paragraph ermächtigt den Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, durch Rechtsverordnungen

- „1. Dosiswerte
2. Kontaminationswerte
3. Berechnungsverfahren und Annahmen, die der Bestimmung von Dosiswerten und Kontaminationswerten zugrunde gelegt werden,“

festzulegen.

B Ableitung von primären Eingreifwerten zur Begrenzung der Strahlenexposition (Dosiswerte)

Die ICRP befaßt sich in ihrer Publikation Nr. 40 [IC 84] mit der Problematik der Festlegung von Referenzwerten für bestimmte Maßnahmen in Unfallsituationen; diese sind in der Bundesrepublik Deutschland teilweise in Katastrophenschutzgesetzen und teilweise im Strahlenschutzvorsorgegesetz geregelt. Hierbei wird u.a. folgendes ausgeführt [IC 84]:

“In einer Unfallsituation sind die Expositionsquellen definitionsgemäß nicht unter Kontrolle, und deshalb ist das von der Kommission empfohlene System der Dosisbegrenzung nicht anwendbar. Die Grundsätze, auf denen die Empfehlungen der Kommission aufbauen, können aber die Grundlage für die Planung von Interventionen bei Strahlenunfällen bilden. Auch kann ein Teil der im System der Dosisbegrenzung empfohlenen Methodik, nämlich die Optimierung, übernommen werden, um die Entscheidungsfindung nach einem Unfall zu unterstützen.

Die für die Planung einer Intervention bei einem Unfall sich ergebenden Grundsätze sind:

- a) Ernsthafte nichtstochastische Effekte sollten durch Einleiten von Gegenmaßnahmen zur Begrenzung der Personendosis auf Werte unterhalb der für diese Effekte geltenden Schwellenwerte vermieden werden.
- b) Das Risiko aufgrund stochastischer Effekte sollte durch Einleiten von solchen Gegenmaßnahmen begrenzt werden, die für die betroffenen Personen eindeutig von Nutzen sind.

Dies kann geschehen, indem die Verringerung der Personendosis und damit des individuellen Risikos, das sich aus einer Gegenmaßnahme ergeben würde, mit der Zunahme des individuellen Risikos als Folge dieser Gegenmaßnahme verglichen wird.

- c) Das Auftreten stochastischer Effekte insgesamt sollte durch Verringerung der kollektiven Äquivalentdosis soweit wie vernünftig durchführbar begrenzt werden.

Diese quellenbezogene Beurteilung kann mit Hilfe von Verfahren der Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt werden und würde einem Optimierungsprozeß darin gleichen, daß die Kosten für die geringere Schädigung der Gesundheit der betroffenen Bevölkerung ausgeglichen werden durch die Kosten für weitere Gegenmaßnahmen.”

Hierzu wird von der ICRP in der Publikation Nummer 40 sinngemäß folgendes weiter ausgeführt:

Die Begrenzung oder Reduktion der individuellen Dosis ist nicht unbedingt mit der Reduktion des Individualrisikos gleichzusetzen, da jede Maßnahme zur Verminderung der Strahlenexposition nicht nur das unmittelbare gesundheitliche Risiko betrifft, sondern unter Umständen auch in soziale und wirtschaftliche Strukturen eingreift. Darüber hinaus bringt jede Gegenmaßnahme ein unterschiedlich hohes gesundheitliches, nicht strahlenbedingtes Risiko mit sich. Dieses Risiko hängt davon ab, wann und wo eine Gegenmaßnahme durchgeführt wird. Alle Gegenmaßnahmen greifen mehr oder weniger gravierend in die normalen Lebensumstände ein. Die Entscheidung für die Einführung irgendeiner Maßnahme sollte grundsätzlich durch

Abwägung der durch die Dosisreduktion erreichbaren Risikominderung und der mit der Maßnahme verbundenen Nachteile getroffen werden.

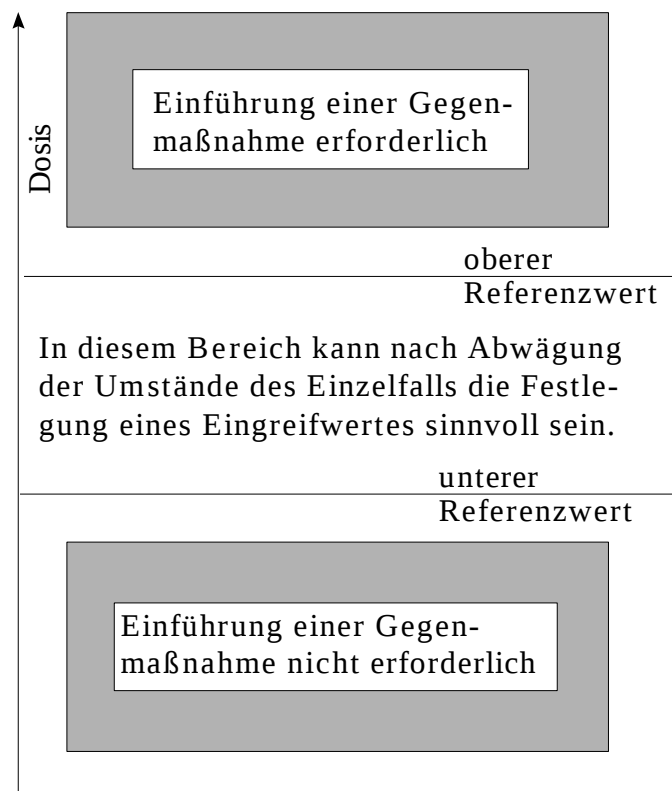
Daher ist es meistens nicht sinnvoll, einen einzigen Referenzwert festzulegen, bei dem eine bestimmte Maßnahme unter allen Umständen durchgeführt werden muß. Es sollte möglich sein, auf der Grundlage der o.g. Strahlenschutzgrundsätze einen unteren Referenzwert anzugeben, unterhalb dessen die Durchführung der Maßnahme nicht gerechtfertigt ist, und einen oberen Referenzwert, ab dem die Durchführung der Maßnahme erforderlich ist. Die Dosisspanne zwischen diesen beiden Werten ist diejenige, innerhalb derer im konkreten Fall die Anordnung der Maßnahme erwartet wird. Dies ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

Da das von der ICRP vorgeschlagene Konzept der Notfallschutzplanung ein allgemein gültiges Konzept ist, das sowohl im Vorsorgebereich als auch im Bereich der Gefahrenabwehr (Katastrophenschutz) anwendbar ist, werden für die unterschiedlichen Bereiche und die jeweils notwendigen Maßnahmen verschiedene Referenzwerte vorgeschlagen.

Die Höhe der vorgeschlagenen Referenzwerte berücksichtigt nicht nur das damit verbundene Strahlenrisiko, sondern auch die Schwere des Eingriffs in die sozialen und wirtschaftlichen Strukturen.

Da das Verwerfen von Lebensmitteln für weniger einschneidend gehalten wird als die Räumung eines Gebietes, unterscheiden sich die für diese beiden Maßnahmen vorgesehenen Referenzwerte um den Faktor 10. Wegen dieses beträchtlichen Unterschiedes der Referenzwerte ist es dann auch möglich, die Strahlenexposition durch Ingestion und die Strahlenexposition durch äußere Strahleneinwirkung getrennt zu betrachten.

Abbildung 1: Schematische Darstellung des bei jeder Maßnahme anzuwendenden Dosis-schemas



Die ICRP hat für den Expositionspfad Ingestion einen unteren Eingreifwert von 5 mSv und einen oberen Eingreifwert von 50 mSv für die Strahleneinwirkung während des ersten Folgejahres vorgeschlagen. Hiervon ausgehend haben die Food and Agriculture Organization der Vereinten Nationen (FAO) [FAO 86] und die Kommission der Europäischen Gemeinschaft (EG) [AE 87] *) in ihren Empfehlungen für den zwischenstaatlichen Handel mit Lebensmitteln einen Eingreifwert von 5 mSv vorgeschlagen. Der Kommission erscheint es sinnvoll, auf der Grundlage der Strahlenschutzgrundsätze der ICRP und in Anlehnung an die Konzepte der FAO und der EG für die Rechtsverordnungen nach § 6 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes 5 mSv effektive Folgedosis durch Ingestion während des 1. Folgejahres als Eingreifwert vorzuschlagen. Zusätzlich soll die Strahlendosis in keinem Einzelorgan mehr als 50 mSv betragen, da relativ einfache Maßnahmen wie die Beschränkung der Aktivitätszufuhr mit der Nahrung schon bei zu erwartenden Dosiswerten gerechtfertigt erscheinen, die um eine Größenordnung unter der Dosischwelle für nichtstochastische Wirkungen liegen [IA 85].

Diese Eingreifwerte entsprechen den unteren Eingreifwerten von ICRP 40 und beziehen sich ausschließlich auf den Ingestionspfad. Im Rahmen der Planung der Strahlenschutzvorsorge schlägt die Kommission vor, sich auf die Festlegung dieser unteren Eingreifwerte zu beschränken. Unterhalb dieser Werte werden administrative Gegenmaßnahmen als nicht erforderlich angesehen. Je nach Ausmaß des Ereignisses können aber gemäß § 9 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes unterhalb dieser Eingreifwerte schon Empfehlungen bezüglich bestimmter Verhaltensweisen an die Bevölkerung abgegeben werden, um die Strahlenexposition mit einfachen Mitteln möglichst gering zu halten. Die von ICRP vorgeschlagenen oberen Eingreifwerte werden in den weiteren Ausführungen nicht weiter berücksichtigt, da sie bereits den Bereich des Katastrophenschutzes berühren.

Bei der Bewertung der effektiven Folgedosis von 5 mSv durch Ingestion ist zu berücksichtigen, daß die mittlere natürliche Strahlenexposition (angegeben als effektive Äquivalentdosis) in der Bundesrepublik Deutschland im Mittel 2 mSv pro Jahr beträgt, mit einer Schwankungsbreite von 1 bis 6 mSv pro Jahr. Gegenüber der in 50 Jahren akkumulierten effektiven Äquivalentdosis infolge der natürlichen Strahlenexposition von etwa 100 mSv und deren Schwankungsbreite ist der Eingreifwert von 5 mSv klein, selbst wenn man berücksichtigt, daß in den Folgejahren noch einmal die gleiche Dosis hinzukommen kann. Dementsprechend ist auch das Strahlenrisiko als gering einzuordnen. Unterstellt man die Hypothese einer linearen Korrelation der bei sehr viel höheren Dosen gewonnenen Dosiswirkungsbeziehungen bezüglich der Krebsentstehung auch bei kleinen Dosen (mSv-Bereich) – eine Annahme, die gegenwärtig weder zu beweisen noch zu widerlegen ist –, so läßt sich das rechnerisch herleitbare gesamte Mortalitätsrisiko durch 5 mSv effektive Dosis von der Größenordnung her etwa mit dem mittleren beruflichen Mortalitätsrisiko für ein Arbeitsjahr vergleichen. Dieses rechnerisch herleitbare Mortalitätsrisiko liegt bei einer effektiven Dosis von 5 mSv in der Größenordnung 1:10 000 (das bedeutet etwa 100 Fälle auf 1 Million Personen).

Schließlich führen auch Optimierungsrechnungen, wie sie im Strahlenschutz angewandt werden und prinzipiell auch zur Berechnung von Dosen infolge Ingestion radioaktiv kontaminierter

*) Dieser Vorschlag der Kommission der EG weicht bezüglich der Cäsiumwerte von dem Konzept ab, das von einer Expertengruppe des Grundnormenausschusses gem. Art. 31 der EURATOM-Grundnormen erarbeitet und der Kommission vorgelegt wurde [AE 87].

Lebensmittel eingesetzt werden können, zu Dosiswerten, die in der gleichen Größenordnung liegen wie der vorgeschlagene Eingreifwert.

C Ermittlung sekundärer Eingreifwerte für kontaminierte Lebensmittel (Kontaminationswerte)

Die Strahlenexposition durch Ingestion kontaminierter Lebensmittel kann nicht direkt gemessen werden, sondern muß mit Hilfe von Modellen berechnet werden. Dabei sind zu berücksichtigen:

- Art der Radionuklide,
- Höhe der Kontaminationen durch die verschiedenen Radionuklide,
- nuklid- und altersspezifische Dosisfaktoren,
- Ernährungsgewohnheiten, d.h. altersabhängige Verzehrmenen der verschiedenen Lebensmittel,
- kontaminierter Anteil in bezug auf den Gesamtverzehr eines Lebensmittels.

Zur Berechnung der sekundären Eingreifwerte (Kontaminationswerte für einzelne Lebensmittel) ist es notwendig, die einzelnen Faktoren formelmäßig zu berücksichtigen.

In diesen Formeln steht der Index i stellvertretend für irgendein Radionuklid und der Index k für irgendein Lebensmittel.

Die sekundären Eingreifwerte für ein Lebensmittel k bezogen auf ein Radionuklid i (in der Folge mit “ $A(i,k)$ ” bezeichnet) sind abhängig von den primären Eingreifwerten (Dosiswerte für den Menschen, in der Folge mit “ R ” bezeichnet). Die Einheit der primären Eingreifwerte ist Sievert (Sv) bzw. Milli-Sievert (mSv), die der sekundären Eingreifwerte Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg) bzw. Becquerel pro Liter (Bq/l).

Als weitere Größe geht in die Berechnung der Ingestionsdosisfaktor ein. Dieser Faktor (in der Folge mit “ $F(i)$ ” bezeichnet) gibt für jedes Radionuklid i den Dosiswert an, der durch die Aufnahme einer Aktivitätseinheit dieses Radionuklids verursacht wird [BGA 85.1. BGA 85.2. BGA 85.3, IC 87]. Die Dosisfaktoren sind altersabhängig und werden in der Einheit Sievert pro Becquerel (Sv/Bq) angegeben.

Unterschiedliche Verzehrmenen eines kontaminierten Lebensmittels führen zu unterschiedlichen Dosen. Es ist sicherlich für generelle Festlegungen nicht möglich, die Verzehrmenen jeder einzelnen Person zu berücksichtigen, aber es können die mittleren Verzehrraten aus dem Ernährungsbericht [DGE 84] berücksichtigt werden. Dort wird – für einzelne Altersstufen und die Geschlechter getrennt – der durchschnittliche Verbrauch der einzelnen Lebensmittel (in der Folge mit “ $V(k)$ ” bezeichnet) angegeben.

Formelmäßig läßt sich der Zusammenhang zwischen den Kontaminationswerten und den verschiedenen Faktoren wie folgt angeben:

$$A(i,k) \sim \frac{R}{F(i) \cdot V(k)} \quad (1)$$

Die Formel (1) könnte als Gleichung betrachtet werden, wenn die Kontamination nur durch ein Radionuklid verursacht würde und nur ein Lebensmittel mit gleichmäßiger Kontamination zu betrachten wäre. In Wirklichkeit müssen jedoch die verschiedenen an der Kontamination beteiligten Radionuklide und die verschiedenen Lebensmittel berücksichtigt werden. Außerdem ist noch zu beachten, daß möglicherweise Lebensmittel verschiedener Herkunft und unterschiedlicher Kontamination verzehrt werden. Auch bei gleicher Herkunft kann sich die Kontamination im Verlaufe des Jahres ändern.

Wenn man diese Zusammenhänge im einzelnen berücksichtigen will, muß ein Faktor der relativen Kontamination des Lebensmittels (in der Folge mit "x" bezeichnet) eingeführt werden. Dieser relative Kontaminationsfaktor x (mit einem Wertebereich von $0,1 \leq x \leq 1$) beschreibt die nuklidspezifische Kontamination eines Lebensmittels in Relation zum Eingreifwert der spezifischen Aktivität. Er ist abhängig von der Lebensmittelart k, von der Nuklidart i und der (Jahres-) Zeit T (Zeitpunkt der Deposition). Die Formel (1) wird damit zu:

$$A(i,k,T) = \frac{R}{x(i,k,T) \cdot F(i) \cdot V(k)} \quad (2)$$

Der Faktor x berücksichtigt u.a. die Tatsachen, daß

- es unwahrscheinlich ist, daß alle über ein Jahr aufgenommenen Lebensmittel gleichmäßig so kontaminiert sind, daß selbst für eine Nuklidgruppe während eines Jahres die sekundären Eingreifwerte ausgeschöpft werden,
- die Variation der Kontamination im Verlauf eines Jahres und der Anteil lokal erzeugter bzw. importierter Lebensmittel sehr von den Gegebenheiten des Einzelfalls abhängen.

Da der Wert des Faktors x vor allem von der Jahreszeit abhängt, in der das Ereignis stattfindet, ergeben sich im Einzelfall entsprechend verschiedene Werte.

Die Beachtung aller Lebensmittel und Radionuklide würde die Formel (2) sehr komplex und nur schlecht handhabbar machen. Es sind deshalb Vereinfachungen notwendig, um rasche Entscheidungen herbeiführen zu können.

Die Radionuklide, die bei einer Freisetzung auftreten können, sollten in einige wenige Gruppen eingeteilt werden. Die Kommission schlägt eine Einteilung in folgende fünf Gruppen vor:

- kurzlebige Jodisotope, insbesondere I 131,
- I 129 als sehr langlebiger β -Strahler,
- Strontiumisotope, insbesondere Sr 90 mit langer physikalischer und biologischer Halbwertszeit, das sich im Knochengewebe anreichert,
- Plutonium- und Transplutoniumisotope, die Alphastrahlung emittieren, wie z.B. Pu 239 und Am 241,
- alle übrigen Nuklide mit einer Halbwertszeit von mehr als 10 Tagen, insbesondere Cs 134 und Cs 137 mit längerer biologischer und physikalischer Halbwertszeit und gleichmäßiger Verteilung im Organismus.

Aus dem gleichen Grund sollte man auch die Lebensmittel in einige Gruppen einteilen. Hier wäre eine Einteilung in 5 Gruppen möglich:

- Milch und Milchprodukte,
- Fleisch und Fleischwaren,
- Getreide und Kartoffeln,
- Gemüse und Obst,
- Trinkwasser und Getränke.

In nachfolgender Tabelle 1 sind die jährlichen Verzehrsmengen der verschiedenen Lebensmittelgruppen für drei Altersklassen angegeben, die den weiteren Rechnungen zugrunde gelegt werden.

Tabelle 1: Durchschnittliche Verzehrsmengen pro Person in kg pro Jahr ^{*)}

Lebensmittelgruppe	Einjährige	Zehnjährige	Erwachsene
Milch und Milchprodukte	200	150	120
Fleisch und Fleischwaren	10	40	80
Getreide und Kartoffeln	20	50	100
Gemüse und Obst	20	40	100
Trinkwasser und Getränke	250	350	600

Da die jährlichen Verzehrsmengen der drei Lebensmittelgruppen Fleisch und Fleischwaren, Getreide und Kartoffeln, Gemüse und Obst in den einzelnen Altersgruppen in etwa gleich groß ist, lassen sich diese drei Lebensmittelgruppen zu einer Gruppe zusammenfassen. Diese Lebensmittelgruppe wird in der Folge mit "andere wichtige Lebensmittel" bezeichnet.

Für die einzelnen Nuklidgruppen lassen sich, bezogen auf den primären Eingreifwert, sekundäre Eingreifwerte für die einzelnen Lebensmittelgruppen und Altersklassen errechnen.

Bei dieser Berechnung wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

1. In Anlehnung an das Konzept des Grundnormenausschusses gem. Artikel 31 der EURATOM-Grundnormen der EG [AE 87] werden für jede Nuklidgruppe (einschließlich I 129) unabhängig von den anderen Gruppen sekundäre Eingreifwerte (Kontaminationswerte der Lebensmittel in Bq/kg) berechnet. Dabei geht man für jede Nuklidgruppe von dem unteren Eingreifwert der ICRP Publikation Nr. 40 in Höhe von 5 mSv aus. Demnach könnte also theoretisch jede Nuklidgruppe durch Kontamination der Nahrung eine effektive Dosis durch Ingestion von 5 mSv im ersten Jahr nach dem Ereignis verursachen.

Bei den Nuklidgruppen der Jod- und der Strontiumisotope sowie der Gruppe der Alpha-Strahler, die sich in der Schilddrüse bzw. in der Knochenoberfläche ansammeln,

^{*)} Diese Werte sind identisch mit den Werten der EG und stimmen auch weitgehend überein mit den in der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage" [GM 79] angenommenen Verzehrsgewohnheiten.

geht man in den Berechnungen nicht von der effektiven Dosis von 5 mSv, sondern von einer Organdosis von 50 mSv aus (Begründung siehe Teil B).

2. Für die einzelnen o.a. Nuklidgruppen (einschließlich I 129) ist der primäre Eingreifwert auf die verschiedenen Lebensmittel aufzuteilen. Hierbei sollen für die Nuklidgruppen, außer derjenigen der kurzlebigen Jodisotope, folgende Aufteilungen vorgenommen werden:

– Milch und Milchprodukte	20 %
– Andere wichtige Lebensmittel	$3 \times 20 \% = 60 \%^{*)}$
– Trinkwasser und Getränke	20 %

Für die kurzlebigen Jodisotope soll wegen der kurzen physikalischen Halbwertszeit eine etwas andere Einteilung vorgenommen werden. Hier kommt es praktisch zu keiner Kontamination von Fleisch und Fleischwaren sowie von Getreide und Kartoffeln. Demnach sind lediglich die Kontaminationen von Milch und Milchprodukten, von Gemüse und Obst sowie von Trinkwasser und Getränken zu betrachten.

Deshalb wird folgende Einteilung angenommen:

– Milch und Milchprodukte	75%
– Gemüse und Obst	15%
– Trinkwasser und Getränke	10%

3. Die Berechnungen werden für jede der drei Altersgruppen mit den entsprechenden Dosisfaktoren durchgeführt. Der niedrigste ermittelte Kontaminationswert wird als Eingreifwert für die betreffende Nuklidgruppe (einschließlich I 129) gewählt. Die begrenzenden Altersgruppen, das jeweilige Bezugsorgan und der entsprechende Dosisfaktor sind in Tabelle 3 angegeben. Diese Verfahrensweise geht konform mit dem Vorschlag des Grundnormenausschusses der EG.
4. Abweichend von dem Konzept des Grundnormenausschusses der EG wird, abgesehen von den kurzlebigen Jodisotopen, für alle anderen Nuklidgruppen (einschließlich I 129) zunächst einmal angenommen, daß die gesamte Nahrung eines Jahres gleichmäßig in Höhe der sekundären Eingreifwerte kontaminiert ist. Die so errechneten Werte sind als Basiswerte zu verstehen, unterhalb derer ein Eingreifen staatlicher Behörden in keinem Fall erforderlich ist. Um im konkreten Einzelfall von diesen Basiswerten zu den entsprechenden Kontaminationswerten zu gelangen, sind die Basiswerte gemäß Gleichung (2) durch den Wert des relativen Kontaminationsfaktors zu dividieren.

^{*)} Entsprechend den drei Gruppen der anderen wichtigen Lebensmittel

5. Bei den kurzlebigen Jodisotopen wird wegen der kurzen Halbwertszeit - analog der Vorgehensweise der FAO - mit einem Anteil der jährlichen Verzehrmenge gerechnet, der 5 Halbwertszeiten des I 131 entspricht.

Unter diesen Annahmen ergeben sich die in Tabelle 2 angegebenen Basiswerte für die sekundären Eingreifwerte.

Tabelle 2: Basiswerte für die sekundären Eingreifwerte in Bq/l bzw. Bq/kg, bezogen auf gebrauchsfertige Lebensmittel (bei Lebensmittelkonzentraten oder Trockenprodukten sind die Eindickungsfaktoren zu berücksichtigen)

Nuklidgruppe repräsentiert durch	Milch und Milchprodukte	andere wichtige Lebensmittel (bei I 131 nur Gemüse)	Trinkwasser und Getränke
I 131 ^{*)}	500	1 000	50
I 129 ^{*) **)}	6	50	5
Sr 90 ^{*)}	50	300	40
Am 241 ^{*)}	1	5	1
Cs 134 und Cs 137 ^{*)}	400	500	80

Da für die Basiswerte in Tabelle 2 für jede Nuklidgruppe (einschließlich I 129) als primärer Eingreifwert eine Organdosis von 50 mSv beziehungsweise für die Cäsiumisotope eine effektive Dosis von 5 mSv angenommen wurde, könnte es theoretisch durch Addition der Dosen infolge Strahlenexposition durch mehrere Nuklidgruppen zu einer effektiven Dosis kommen, die größer ist als der primäre Eingreifwert von 5 mSv. Eine derartige Addition der verschiedenen Kontaminationen scheidet jedoch aus mehreren Gründen aus:

- Die Nuklidgruppe der Alphastrahler kann in bezug auf die Nahrung eigentlich nur bei alleiniger Freisetzung dieser Alphastrahler relevant werden. Würden bei einem Kernkraftwerksunfall die Alphastrahler Kontaminationswerte in der Nahrung erreichen, wie sie in Tabelle 2 angegeben sind, so wäre die Kontamination des betreffenden Gebietes durch Spaltprodukte so groß, daß Maßnahmen des Katastrophenschutzes ergriffen werden müßten.
- Am wahrscheinlichsten ist eine gleichzeitige Exposition durch die Nuklidgruppen der kurzlebigen Jodisotope und der Cäsiumisotope. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß Jod fast ausschließlich zu einer Strahlenexposition der Schilddrüse und Cäsium zu einer solchen des Ganzkörpers führt. Bei vollständiger Addition beider sekundärer Eingreifwerte kommt es zu einer Überschreitung des primären Eingreifwertes von 5 mSv effektiver Dosis um 30%.

^{*)} Innerhalb jeder Nuklidgruppe beziehen sich die Werte auf die gesamte Aktivität aller Nuklide der Gruppe. Jede Gruppe kann dann völlig unabhängig von den anderen Gruppen behandelt werden.

^{***)} Nur bei Unfällen in einer Wiederaufbereitungsanlage von Bedeutung.

- Eine gleichzeitige Exposition durch die Nuklidgruppen Cäsium, Jod und Strontium ist denkbar bei dem Spaltproduktinventar eines Kernreaktors, der sich erst relativ kurze Zeit in Betrieb befindet. Bei einem solchen Spaltproduktgemisch ist zunächst der Kontaminationswert für Jod 131 die begrenzende Größe, die dazu führt, daß nur wenig Cäsium und Strontium aufgenommen wird. Nach Abklingen des Jod 131 wirkt der sekundäre Eingreifwert des Strontiums, der für die Hauptnahrungsmittel auf eine Organdosis von 50 mSv bezogen ist, begrenzend. Der Kontaminationswert des Strontium und die daraus folgende Dosis wirkt sich aber wegen des geringen Wichtungsfaktors kaum auf die effektive Dosis aus. Er bewirkt aber, daß kaum Cäsium aufgenommen werden kann. Dies trifft nicht zu für Milch und Milchprodukte, da hier sowohl für Strontium als auch für Cäsium die effektive Dosis des Kleinkindes die begrenzende Größe ist. Da jedoch bei der Berechnung für Milch und Milchprodukte nur eine Strahlenexposition von 1 mSv angenommen wird, kann es auch beim Kleinkind nicht zu einer Überschreitung von 5 mSv kommen. Auch durch die Einhaltung der beiden Organdosiswerte für die Schilddrüse und für die Knochen bleibt der Beitrag zur effektiven Dosis gering.

Tabelle 3: Dosisfaktoren (in Sv/Bq), die den Werten der Tabelle 2 zugrunde liegen. In Klammern sind die begrenzende Altersgruppe sowie das Bezugsorgan bzw. der Ganzkörper (effektive Dosis) angegeben.

Nuklidgruppe re-präsentiert durch	Milch und Milchprodukte	andere wichtige Lebensmittel	Trinkwasser und Getränke
I 131	$3,5 \cdot 10^{-6}$ (1 Jahr, Schilddrüse)	$3,5 \cdot 10^{-6}$ (1 Jahr, Schilddrüse)	$3,5 \cdot 10^{-6}$ (1 Jahr, Schilddrüse)
I 129	$8,5 \cdot 10^{-6}$ (1 Jahr, Schilddrüse)	$2,2 \cdot 10^{-6}$ (Erwachsene, Schilddrüse)	$8,5 \cdot 10^{-6}$ (1 Jahr, Schilddrüse)
Sr 90	$1,1 \cdot 10^{-7}$ (1 Jahr, effektive Dosis)	$3,9 \cdot 10^{-7}$ (Erwachsene, Knochenoberfläche)	$1,1 \cdot 10^{-7}$ (1 Jahr, effektive Dosis)
Am 241 *)	$5,6 \cdot 10^{-5}$ (1 Jahr, Knochenoberfläche)	$2,0 \cdot 10^{-5}$ (Erwachsene, Knochenoberfläche)	$5,6 \cdot 10^{-5}$ (1 Jahr, Knochenoberfläche)
Cs 134	$1,2 \cdot 10^{-8}/$ $2,0 \cdot 10^{-8}$ (1 Jahr/Erwachsene, effektive Dosis)	$2,0 \cdot 10^{-8}$ (Erwachsene, effektive Dosis)	$2,0 \cdot 10^{-8}$ (Erwachsene, effektive Dosis)
Cs 137	$9,3 \cdot 10^{-9}$ (1 Jahr, effektive Dosis)	$1,4 \cdot 10^{-8}$ (Erwachsene, effektive Dosis)	$1,4 \cdot 10^{-8}$ (Erwachsene, effektive Dosis)

*) [IC 87]

Literatur

- [AE 87] Vorschlag einer Verordnung (Euratom) des Rates zur Festlegung von Höchstgrenzen der Radioaktivität in Nahrungsmitteln, Futtermitteln und Trinkwasser im Falle anomaler Radioaktivitätswerte oder eines nuklearen Unfalls
KOM(87) 281 endg. (Von der Kommission dem Rat vorgelegt am 16. Juni 1987) 87/C 174/09,
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, C 174, S. 6, 1987
- [BG 76] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 13. Oktober 1976, Bundesgesetzblatt, Teil I Nr. 125, S. 2905, 1976
- [BG 86] Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz - StrVG) vom 19. Dez. 1986, Bundesgesetzblatt, Teil 1. S. 2610, 1986
- [BGA 85.1] D. Noßke, B. Gerich, S. Langner:
Dosisfaktoren für Inhalation oder Ingestion von Radionuklidverbindungen (Erwachsene),
Bundesgesundheitsamt, ISH-Heft 63, April 1985.
- [BGA 85.2] K. Henrichs, U. Elsasser, C. Schotola, A. Kaul:
Dosisfaktoren für Inhalation oder Ingestion von Radionuklidverbindungen (Altersklasse 1 Jahr),
Bundesgesundheitsamt, ISH-Heft 78, November 1985
- [BGA 85.3] K. Henrichs, U. Elsasser, C. Schotola, A. Kaul:
Dosisfaktoren für Inhalation oder Ingestion von Radionuklidverbindungen (Altersklasse 10 Jahre),
Bundesgesundheitsamt, ISH-Heft 80, November 1985
- [DGE 84] Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., Frankfurt am Main (Hrsg.):
Ernährungsbericht 1984,
Herausgegeben im Auftrag des Bundesministers für Jugend, Familie und Gesundheit und des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- [FAO 86] Food and Agriculture Organization of the United Nations:
Recommended limits for radionuclide contamination of foods,
Report of an Expert Consultation, 1 - 5 December 1986
- [GM 77] Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen vom 17. Oktober 1977,
GMBI. S. 683, 1977 und Ergänzungen im GMBI. S. 188, 1981 und
GMBI. S. 232, 1979

- [GM 79] Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Bestimmung der Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer (Richtlinie zu § 45 StrlSchV), GMBL. S. 371, 1979
- [IA 85] International Atomic Energy Agency:
Principles for Establishing Intervention Levels for the Protection of the Public in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, Safety series No 72, S. 24, Vienna, 1985
- [IC 78] Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission:
Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission, Heft 26, Deutsche Ausgabe, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1978
- [IC 84] International Commission on Radiological Protection:
Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accidents: Principles for Planning, ICRP Publication 40, Annals of the ICRP 2, 1984
Pergamon Press, Oxford, New York, Frankfurt
- [IC 87] Entwurf
ICRP Committee 2:
Task Group Report on Age Dependent Dose per Unit Intake of Activity for Members of the Public,
Como, September 1987

Ergänzung

Erläuterungen zu den Berechnungen der Basiswerte für die sekundären Eingreifwerte

Die Berechnung der in Tabelle 2 aufgeführten Basiswerte für die sekundären Eingreifwerte sollen im folgenden an einigen Beispielen erläutert werden. Hierbei ist das Beispiel für die Berechnung der Werte der durch Sr 90 repräsentierten Nuklidgruppe ausführlicher dargestellt, während die weiteren Beispiele kürzer gefaßt sind.

a) **Ableitung der Basiswerte für die sekundären Eingreifwerte der durch Strontium 90 repräsentierten Nuklidgruppe für die Lebensmittelgruppen Milch und Milchprodukte, andere wichtige Lebensmittel sowie für Trinkwasser und Getränke für drei Altersklassen**

Grundlagen für Berechnungen sind die Formel (2) (Berechnung der Kontaminationswerte), die Tabelle 1 (durchschnittliche Verzehrsmengen), die altersabhängigen Dosisfaktoren sowie die Annahmen 1 bis 4 auf den Seiten 11 ff.

Ausgangspunkt ist die Formel (2):

$$A(i,k,T) = \frac{R}{x(i,k,T) \cdot F(i) \cdot V(k)}$$

mit

A = Eingreif-Kontaminationswert

R = primärer Eingreifwert (Dosiswert für den Menschen)

x = relative Kontamination des Lebensmittels

F = Ingestionsdosisfaktor

V = durchschnittlicher Verbrauch des einzelnen Lebensmittels

wobei

i = bestimmtes Radionuklid

k = bestimmtes Lebensmittel

T = Zeitpunkt der Deposition

bedeutet.

Als erstes ist zu prüfen, ob sich der primäre Eingreifwert R auf die effektive Dosis (5 mSv) oder die Organdosis (50 mSv) bezieht. Dazu ist es notwendig, die entsprechenden Dosisfaktoren zu betrachten. Für dieses Beispiel sind die Ingestionsdosisfaktoren für Sr 90 für den Ganzkörper (effektive Dosis) und für die Knochenoberfläche (Sr 90 sammelt sich zu einem großen Prozentsatz am Knochen an) in Sv/Bq in Tabelle A1 angegeben.

Tab. A1: Ingestionsdosisfaktoren für Sr 90 in Sv/Bq

Alter	effektive Dosis	Knochenoberfläche
1 Jahr	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
10 Jahre	$4,0 \cdot 10^{-8}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$
Erwachsene	$3,5 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-7}$

Aus Tabelle A1 ist zu entnehmen, daß im Falle der Altersklasse 1 Jahr ein Wert von 5 mSv effektiver Dosis eher erreicht wird als ein Wert von 50 mSv Organdosis (bezogen auf die Knochenoberfläche). Für die Altersklasse 10 Jahre und Erwachsene gilt das Gegenteil. Dies bedeutet, daß bei den folgenden Rechnungen, soweit sie sich auf die Altersklasse 1 Jahr beziehen, die effektive Dosis und der entsprechende Dosisfaktor, im Falle der Altersklasse 10 Jahre und Erwachsene die Organdosis und der Organdosisfaktor für die Knochenoberfläche zu berücksichtigen sind.

Damit ist auch der Wert der Größe $F(i)$ (Ingestionsdosisfaktor) bekannt.

Die Werte der Größe $V(k)$ (durchschnittlicher Verbrauch des einzelnen Lebensmittels) sind für 5 Lebensmittelgruppen der Tabelle 1 zu entnehmen. Die drei Lebensmittelgruppen Fleisch und Fleischwaren, Getreide und Kartoffeln sowie Gemüse und Obst werden aufgrund fast identischer Verzehrsmengen in den einzelnen Altersklassen zu der Gruppe „andere wichtige Lebensmittel“ zusammengefaßt:

Tab. A2: Durchschnittliche Verzehrsmengen für die drei Altersklassen 1 Jahr, 10 Jahre, Erwachsene in kg

Lebensmittelgruppe	1 Jahr	10 Jahre	Erwachsene
Milch und Milchprodukte	200	150	120
andere wichtige Lebensmittel	50	130	280
Trinkwasser und Getränke	250	350	600

Für die Lebensmittelgruppe andere wichtige Lebensmittel werden in der späteren Rechnung 60 % des primären Eingreifwertes – also 3 mSv effektive Dosis oder 30 mSv Organdosis – berücksichtigt, da diese Lebensmittelgruppe durch Summation dreier Gruppen entstanden ist. Für die beiden anderen Lebensmittelgruppen (Milch und Milchprodukte sowie Trinkwasser und Getränke) werden jeweils 20 % des primären Eingreifwertes berücksichtigt (siehe Annahme 2 auf Seite 12).

Der Wert des relativen Kontaminationsfaktors $x(i,k,T)$ wird gleich 1 gesetzt. Es wird damit die Annahme getroffen, daß jede Lebensmittelart bezüglich einer Nuklidart über das erste Folgejahr hinweg gleichmäßig kontaminiert ist.

Nun werden für jede Altersklasse unter Zugrundelegung von 5 mSv effektiver Dosis (Altersklasse 1 Jahr) bzw. 50 mSv Organdosis (Altersklassen 10 Jahre und Erwachsene) sekundäre Eingreifwerte für die drei Lebensmittelgruppen berechnet:

– **Altersklasse 1 Jahr**

Milch und Milchprodukte:

$$R = 1 \text{ mSv}, F = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}, V = 200 \text{ l}$$

Daraus errechnet sich der Basiswert für den sekundären Eingreifwert wie folgt

$$A = \frac{1 \text{ mSv}}{1,11 \cdot 10^{-7} \text{ Sv / Bq} \cdot 200 \text{ l}} \cong 45 \text{ Bq / l}$$

andere wichtige Lebensmittel:

$$R = 3 \text{ mSv}, F = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}, V = 50 \text{ kg}$$

Daraus ergibt sich ein wert für A von $\cong 545 \text{ Bq/kg}$

Trinkwasser und Getränke:

$$R = 1 \text{ mSv}, F = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}, V = 250 \text{ l}$$

Daraus ergibt sich eine Wert für A von $\cong 35 \text{ Bq/l}$

– **Altersklasse 10 Jahre**

Milch und Milchprodukte:

$$R = 10 \text{ mSv}, F = 4,4 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}, V = 150 \text{ l}$$

Daraus ergibt sich ein Wert für A von $\cong 150 \text{ Bq/l}$

andere wichtige Lebensmittel:

$$R = 30 \text{ mSv}, F = 4,4 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}, V = 130 \text{ kg}$$

Daraus ergibt sich ein wert für A von $\cong 525 \text{ Bq/kg}$

Trinkwasser und Getränke:

$$R = 10 \text{ mSv}, F = 4,4 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}, V = 350 \text{ l}$$

Daraus ergibt sich eine Wert für A von $\cong 65 \text{ Bq/l}$

– **Altersklasse Erwachsene**

Milch und Milchprodukte:

$$R = 10 \text{ mSv}, F = 3,9 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}, V = 120 \text{ l}$$

Daraus ergibt sich ein Wert für A von $\cong 215 \text{ Bq/l}$

andere wichtige Lebensmittel:

$$R = 30 \text{ mSv}, F = 3,9 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}, V = 280 \text{ kg}$$

Daraus ergibt sich ein wert für A von $\cong 275 \text{ Bq/kg}$

Trinkwasser und Getränke:

$$R = 10 \text{ mSv}, F = 3,9 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}, V = 600 \text{ l}$$

Daraus ergibt sich eine Wert für A von $\cong 45 \text{ Bq/l}$

Die Ergebnisse dieser Rechnungen sind in Tabelle A3 zusammengefaßt.

Tab. A3: Sekundäre Eingreifwerte für verschiedene Altersklassen in Bq/kg bzw. Bq/l

Lebensmittelgruppe	Altersklasse		
	1 Jahr	10 Jahre	Erwachsene
Milch und Milchprodukte	<u>45</u>	150	215
andere wichtige Lebensmittel	545	525	<u>275</u>
Trinkwasser und Getränke	<u>35</u>	65	45

Die niedrigsten Werte für die einzelnen Lebensmittelgruppen in der Tabelle A3 sind unterstrichen. Diese Werte berücksichtigen für die Nuklidgruppe, die durch Sr 90 repräsentiert wird, für die einzelnen Lebensmittelgruppen die jeweils begrenzende Altersklasse. Aus diesem Grund wurden diese Werte – allerdings gerundet – in die Tabelle 2 übernommen.

Diese Rechnung kann entsprechend auch für alle anderen Nuklidgruppen – mit Ausnahme der Nuklidgruppe, die durch I 131 repräsentiert wird – durchgeführt werden. Bei der Rechnung für die Nuklidgruppe mit I 131 ist wegen der kurzen physikalischen Halbwertszeit eine andere Wichtung der Lebensmittelgruppen vorgenommen worden:

Milch und Milchprodukte	75 %
Obst und Gemüse	15 %
Trinkwasser und Getränke	10 %

Die aus drei Gruppen zusammengefaßte Lebensmittelgruppe andere wichtige Lebensmittel wird in diesem Fall durch die Lebensmittelgruppe Obst und Gemüse ersetzt, da es wegen der kurzen Halbwertszeit zu keiner nennenswerten Kontamination von Fleisch und Fleischwaren sowie von Getreide und Kartoffeln kommt.

b) Ableitung des Basiswertes für den sekundären Eingreifwert der durch Jod 131 repräsentierten Nuklidgruppe für Milch und Milchprodukte für die Altersklasse 1 Jahr

Für die durch I 131 repräsentierte Nuklidgruppe (in der Folge abgekürzt mit I 131 bezeichnet) ergibt sich für die Lebensmittelgruppe Milch und Milchprodukte und die begrenzende Altersklasse 1 Jahr folgende Ableitung:

Als primärer Eingreifwert, also die eine Beschränkung auslösende Strahlendosis, ist für das durch I 131 belastete Einzelorgan Schilddrüse von einem Wert von 50 mSv Folgedosis auszugehen; es wird angenommen, daß dieser Wert zu 75 % durch Milch und Milchprodukte verursacht wird. Damit gilt für dieses Beispiel:

$$R = 0,75 \cdot 50 \text{ mSv} = 37,5 \text{ mSv}$$

Für die Bestimmung der Basiswerte gilt:

$$x = 1$$

Der Ingestionsdosisfaktor für I 131 in Milch und Milchprodukten beträgt für die Altersklasse 1 Jahr:

$$F = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ Sv/Bq}$$

Für diese Altersklasse wird i.a. eine durchschnittliche Verzehrmenge für Milch und Milchprodukte von 200 kg pro Jahr unterstellt. Speziell für kurzlebige Radionuklide wie I 131 wird wegen der kurzen Halbwertszeit mit einem Anteil der o.g. jährlichen Verzehrmenge gerechnet, der 5 Halbwertszeiten – also ca. 40 Tagen – entspricht. Damit ergibt sich in diesem Fall eine Verzehrmenge von:

$$V = \frac{40 \text{ d} \cdot 200 \text{ kg}}{365 \text{ d}} \cong 22 \text{ kg}$$

Als Basiswert für den sekundären Eingreifwert A ergibt sich damit für die durch I 131 repräsentierte Nuklidgruppe in Milch und Milchprodukten:

$$A = \frac{37,5 \text{ mSv}}{1 \cdot 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ Sv / Bq} \cdot 22 \text{ kg}} \cong 487 \text{ Bq / kg}$$

oder aufgerundet 500 Bq/kg (siehe Tabelle 2).

c) Ableitung des Basiswertes für den sekundären Eingreifwert der Nuklidgruppe, die durch Cäsium 134 und Cäsium 137 repräsentiert wird, für andere wichtige Lebensmittel für die Altersklasse Erwachsene

Für die Nuklidgruppe, die durch Cs 134 und Cs 137 repräsentiert wird, ergibt sich für die Lebensmittelgruppe andere wichtige Lebensmittel und die Altersklasse Erwachsene folgende Ableitung:

Für den durch Cäsium belasteten Ganzkörper ist von einem primären Eingreifwert von 5 mSv Folgedosis auszugehen; dieser Wert wird zu 60 % durch die Lebensmittelgruppe andere wichtige Lebensmittel verursacht:

$$R = 0,6 \cdot 5 \text{ mSv} = 3 \text{ mSv}$$

Für die Bestimmung der Basiswerte gilt:

$$x = 1$$

Aus Gründen der Konservativität wird der Dosisfaktor für Cs 134 unterstellt:

$$F = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$$

Als durchschnittliche Verzehrmenge der Lebensmittel V werden

$$V = 280 \text{ kg}$$

angenommen.

Damit ergibt sich der Basiswert für den sekundären Eingreifwert A der durch Cäsium 134 und Cäsium 137 repräsentierten Nuklidgruppe für die Lebensmittelgruppe andere wichtige Lebensmittel zu:

$$A = \frac{3 \text{ mSv}}{1 \cdot 2 \cdot 10^{-8} \text{ Sv / Bq} \cdot 280 \text{ kg}} \cong 536 \text{ Bq / kg}$$

oder abgerundet 500 Bq/kg (siehe Tabelle 2).