



EINFÜHRUNG IN PROBLEME DER RADIOAKTIVITÄT

Radioaktivität ist eine Eigenschaft der Materie. Radioaktive Materie ist instabil, d.h. Atomkerne eines bestimmten Elementes zerfallen unter Aussendung von radioaktiven Strahlen. Von chemische Elementen gibt es verschiedene "Sorten", die sich chemisch gleich verhalten, jedoch durch den unterschiedlichen Aufbau im Atomkern radioaktiv oder nicht radioaktiv sein können. Die Element-Sorten werden als Isotope und die Atomsorten als Nuklide bezeichnet. Von Jod gibt es z.B. die radioaktiven Isotope Jod-131, Jod-132 und das stabile, nicht radioaktive Jod-127. Die radioaktive Strahlung wird unterschieden durch drei Strahlenarten:

- Gamma-Strahlen sind energiereiche elektromagnetische Wellen, die beim Durchgang durch Materie nur sehr wenig abgeschwächt werden.
- Beta-Strahlen bestehen aus negativ geladenen Teilchen mit einer sehr geringen Masse. Ihre Reichweite im menschlichen Gewebe beträgt wenige Zentimeter, in der Luft bis zu einigen Metern.
- Alpha-Strahlen sind energiereiche positiv geladene Heliumkerne. Ihre Reichweite beträgt in der Luft einige cm, im menschlichen Gewebe nur einen knappen mm.

Die Menge eines radioaktiven Stoffes wird durch seine Aktivität angegeben, d.h. durch die Zahl der Atome, die pro Zeiteinheit zerfallen, die Einheit ist

1 Becquerel (Bq) = 1 Zerfall pro Sekunde.

Die veröffentlichten Aktivitätswerte beziehen sich in der Regel auf 1 m³ Luft oder 1 kg bzw. 1 Liter Nahrung.

Tabelle 1 (Meßwerte der Aktivität im Reg.-Bez. Darmstadt Anfang Mai und Durchschnittswerte 1983 für die BRD

		Darmstadt	Durchschnitt 83
Regenwasser (Bq/Liter)	Caesium-137	2000	< 0,001
	Jod-131	600	< 0,04
Gras (Bq/kg)	Caesium-137	500 - 2000	1,3
	Jod-131	500 - 4000	< 5
Milch (Bq/Liter)	Caesium-137	-	0,15
	Jod-131	5 - 500	< 0,02
Salat (Bq/kg)	Caesium-137	bis 720	0,093
	Jod-131	bis 3200	-

Die Halbwertszeit gibt an, wann der Stoff zur Hälfte zerfallen ist:

Tabelle 2 (Halbwertszeiten):

Strontium-90	29 Jahre	Caesium-137	30 Jahre
Jod-131	8 Tage	Plutonium-239	24.400 Jahre

Die biologische Wirkung von radioaktiver Strahlung beruht auf der im Gewebe deponierten Energie und der damit verbundenen Ionisierung des Gewebes. Das Maß für die biologische Wirkung ist die sog. "Äquivalentdosis", die ausgedrückt wird in

$$\text{rem} = 1000 \text{ mrem} = 0,01 \text{ Sievert.}$$

Durch Strahlung können Schädigungen im Zellaufbau erzeugt werden. Auch bei geringen Strahlendosen ist davon auszugehen, daß es keinen sog. Schwellenwert gibt, unterhalb dessen die Strahlung für den Organismus ungefährlich ist. Jede noch so geringe Strahlendosis kann eine biologische Wirkung auslösen, unbenommen davon bleibt aber auch, daß es Reparaturmechanismen im Körper gibt, die für Erholungsprozesse sorgen.

Die Wirkung radioaktiver Strahlung ist unterschiedlich auf den Körper verteilt. Von Ganzkörperbestrahlung wird gesprochen, wenn die Strahlenbelastung im ganzen Körper etwa gleich groß ist. Dies gilt vor allem für das Tritium (radioaktiver Wasserstoff) und das Kalium-40. Von Teilkörperstrahlung wird gesprochen, wenn nur bestimmte Bereiche oder Organe des Körpers betroffen sind. Sie ist besonders wichtig bei Stoffen, wie z.B. Jod-131, das sich in der Schilddrüse anreichert, oder Strontium-90, das hauptsächlich in den Knochen abgelagert wird.

Die natürliche Radioaktivität setzt sich aus drei verschiedenen Komponenten zusammen, aus der kosmischen Strahlung, aus der terrestrischen Strahlung und aus der Inkorporation (Einlagerung) natürlicher radioaktiver Elemente.

Tabelle 3 (natürliche Radioaktivität)

kosmische Strahlung in Meereshöhe	ca. 30 mrem/Jahr
terrestrische Strahlung von außen	ca. 50 mrem/Jahr
Inkorporation natürl. Radionuklide	ca. 30 mrem/Jahr
Durchschnittliche Gesamtbelastung	ca. 110 mrem/Jahr

Die Werte natürlicher radioaktiver Strahlung sind erheblichen Ortsschwankungen unterworfen.

Die radioaktive Wolke aus Tschernobyl belastet die Bevölkerung als künstliche radioaktive Strahlung vor allem über drei Anreicherungs-pfade:

- Die Inhalation der radioaktiven Stoffe durch das Einatmen in die Lunge und Weitertransport im Blutkreislauf.
- Die Ingestion der radioaktiven Stoffe über die Nahrung und Aufnahme durch den Magen-Darm-Trakt.
- Die äußere Strahlung durch Partikel in der Luft und auf dem Boden. Sie wirkt hauptsächlich auf die Haut.

Wichtigster Belastungspfad ist die sog. Inkorporation, d.h. die Aufnahme der Stoffe durch Inhalation oder Ingestion. Sie soll hier nur noch weiter verfolgt werden.

Bei der Ingestion ist vor allem der "Milchpfad" in aller Munde, bei dem die radioaktiven Stoffe mit dem Gras von den Kühen aufgenommen werden und durch Anreicherung in der Milch teilweise höhere Konzentrationen als im Gras nachzuweisen sind. Doch auch der Weg über Obst, Gemüse, Fleisch und Fisch führt die Radionuklide in den menschlichen Körper.

Für den Transfer Boden - Pflanze - Tier - Mensch sind vor allem die langlebigen Substanzen Caesium-137 und Strontium-90 von Bedeutung, die auf grund ihrer chemischen Eigenschaften ähnlich wie Kalium bzw. Calcium aufgenommen werden und in den Stoffwechsel gelangen.

Aus der gemessenen Aktivität in der Nahrung oder in der Luft kann für ein bestimmtes Nuklid und für die einzelnen Organe mit Hilfe sog. Dosisfaktoren die Äquivalentdosis bestimmt werden. Die Höhe der Dosisfaktoren wurden 1979 vom Bundesministerium des Innern (BMI) für die verschiedenen Nuklide und Organe empfohlen, sie sind allerdings, da nicht objektiv meßbar, in der Wissenschaft teilweise heftig umstritten. Für Inhalation und Ingestion werden Modellrechnungen nachfolgend durchgeführt. Das BMI unterscheidet dabei zwischen Erwachsenen und Kindern, geht damit praktisch von "Standardpersonen" aus.

Inhalation

Bei Inhalation hängt die Äquivalentdosis ab von der Aktivität eines bestimmten Radionuklids in der Luft, der durchschnittlichen Atemrate eines Menschen und dem Inhalationsdosisfaktor, der das Maß für die biologische Wirksamkeit ist. Sie wird durch folgende Formel berechnet:

$$\text{Äquivalentdosis (rem/sek)} = \text{Dosisfaktor (rem/Bq)} \times \text{Atemrate (m}^3\text{/sek)} \times \text{Aktivität (Bq/m}^3\text{)}$$

Die Atemrate liegt beim Erwachsenen laut BMI bei $2,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3\text{/sek}$ beim Erwachsenen und bei $6,03 \cdot 10^{-5}$ beim Kleinkind.

Tabelle 4 (Inhalationsdosisfaktoren in rem/Bq für Erwachsene)

	Knochen	Schilddrüse	Ganzkörper
Strontium-90	$3,0 \cdot 10^{-4}$	-	$2,6 \cdot 10^{-5}$
Caesium-137	$1,6 \cdot 10^{-6}$	-	$9,2 \cdot 10^{-7}$
Jod-131	-	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$6,2 \cdot 10^{-8}$

Tabelle 5 (Inhalationsdosisfaktoren in rem/Bq für Kleinkinder)

	Knochen	Schilddrüse	Ganzkörper
Strontium-90	$2,6 \cdot 10^{-4}$	-	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Caesium-137	$1,3 \cdot 10^{-5}$	-	$8,5 \cdot 10^{-7}$
Jod-131	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-7}$

Rechenbeispiel:

In Darmstadt lag die Jodaktivität der Luft am 1. Mai in der Zeit zwischen 18.30 und 19.30 bei 166 Bq/m^3 . Für ein Kind ergibt sich damit folgende Schilddrüsenbelastung durch Jod-131:

$$166 \text{ Bq/m}^3 \cdot 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ rem/Bq} \cdot 6,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3\text{/sek} = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ rem/sek}$$

Umrechnen von rem in mrem und multiplizieren mit 3600 sek = 1 Std ergibt damit eine Belastung in dieser Stunde von

$$3,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 \cdot 3600 \text{ sek} = 11,5 \text{ mrem.}$$

Für die Zeit hoher Luftbelastung vom 1. bis 3. Mai errechnet sich ein Wert von etwa 130 mrem für die Schilddrüsenbelastung bei Kleinkindern bzw. 61 mrem für Erwachsene.

Ingestion

Aus der Aktivität eines bestimmten Radionuklids im Nahrungsmittel und bei Kenntnis der Verzehrraten läßt sich wie bei der Inhalation mit Hilfe der Ingestionsdosisfaktoren, die laut BMI für alle Lebensmittel gleich sind, wieder die Äquivalentdosis berechnen:

$$\text{Äquivalentdosis} = \text{Dosisfaktor} \times \text{Aktivität der Nahrung}$$

(rem/kg) (rem/Bq) (Bq/kg)

Tabelle 6 (Ingestionsdosisfaktoren in rem/Bq für Erwachsene)

	Knochen	Schilddrüse	Ganzkörper
Strontium-90	$2,6 \cdot 10^{-4}$	-	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Caesium-137	$2,0 \cdot 10^{-6}$	-	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Jod-131	-	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$8,4 \cdot 10^{-8}$

Tabelle 7 (Ingestionsdosisfaktoren in rem/Bq für Kleinkinder)

	Knochen	Schilddrüse	Ganzkörper
Strontium-90	$6,8 \cdot 10^{-4}$	-	$1,7 \cdot 10^{-4}$
Caesium-137	$1,8 \cdot 10^{-6}$	-	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Jod-131	$9,2 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-7}$

Rechenbeispiel:

Die Strahlenschutzkommission der Bundesregierung hat für Jod-131 in Milch einen Grenzwert von 500 Bq/Liter empfohlen.

1 Liter = 1 Kg Milch gerade noch zulässige Milch führt damit beim Kleinkind zu einer Schilddrüsendosis von

$$499 \text{ Bq/Liter} \cdot 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ rem/Bq} = 0,21 \text{ rem/Liter} = 210 \text{ mrem/Liter}$$

Laut BMI ist für ein Kleinkind ein durchschnittlicher Vollmilchkonsum von 0,82 Liter/Tag anzusetzen. Damit wird die Schilddrüse eines Kleinkindes, das eine Woche mit derart kontaminiertes Milch ernährt wird, mit insgesamt 1200 mrem belastet.

Die Strahlenschutzverordnung legt Dosisgrenzwerte für die Normalbevölkerung fest. Dabei sollen diese Grenzwerte an den ungünstigsten Einwirkungsstellen in der Umgebung einer kerntechnischen Anlage im Normalbetrieb nicht überschritten werden. Sie sind also Maximalwerte an ungünstigen Stellen, die auf keinen Fall einheitlich für die Gesamtbevölkerung anzuwenden sind. Die Strahlenschutzverordnung fordert darüber hinaus, daß die künstliche Strahlenbelastung des Menschen auch unterhalb dieser Grenzwerte so gering wie möglich gehalten werden.

Tabelle 8 (Dosisgrenzwerte für die Normalbevölkerung)

Organ	Grenzwert in mrem/Jahr
Keimdrüsen	30
Knochen	180
Haut	180
Schilddrüse	90
Ganzkörper	30

Quellen: Die Folgen von Tschernobyl, IFEU-Bericht Nr. 43, Heidelberg
Tschernobyl und die Folgen, Dokumentation des Hessischen
Sozialministers Armin Claus
Messung von Aktivitäten und Berechnung von Dosiswerten,
Dr.Miska, THD