

**Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der  
Strahlenexposition infolge bergbaubedingter  
Umweltradioaktivität  
(Berechnungsgrundlagen - Bergbau)**

Gültig bis 31.05.2010  
Ersetzt durch:  
Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition  
infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität  
(Berechnungsgrundlagen - Bergbau)  
vom März 2010 (BfS-SW-07/10)

# Inhaltsverzeichnis

## I. Teil: Allgemeine Grundsätze

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Ziele und Grundsätze zur Ermittlung der Strahlenexposition
- 3 Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der bergbaubedingten Strahlenexposition

## II. Teil: Berechnungsverfahren

- 1 Berechnung der äußeren Strahlenexposition durch Gammastrahlung des Bodens beim Aufenthalt im Freien und in Gebäuden
- 2 Berechnung der Strahlenexposition durch Inhalation von Staub beim Aufenthalt im Freien und in Gebäuden
- 3 Berechnung der Strahlenexposition durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel
- 4 Berechnung der Strahlenexposition durch Aufnahme von Boden (Direktingestion)
- 5 Berechnung der spezifischen Aktivität in Lebensmitteln
  - 5.1 Fischfleisch
  - 5.2 Pflanzen
    - 5.2.1 Pflanzen über den Bodenpfad - Pfad D
    - 5.2.2 Pflanzen über den Wasserpfad (Beregnung) - Pfad B
    - 5.2.3 Pflanzen über den Luftpfad - Pfad A
  - 5.3 Milch und Milchprodukte sowie Fleisch und Fleischwaren
  - 5.4 Muttermilch

- Anlage I Parameter zur Berechnung der äußeren Strahlenexposition durch Aufenthalt im Freien und in Gebäuden
- Anlage II Parameter zur Berechnung der inneren Strahlenexposition durch Inhalation von Staub beim Aufenthalt im Freien und in Gebäuden
- Anlage III Parameter zur Berechnung der inneren Strahlenexposition durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel und von Boden
- Anlage IV Allgemeine Werte der natürlichen Umweltradioaktivität

## I. Teil: Allgemeine Grundsätze

### 1. Anwendungsbereich

Diese Berechnungsgrundlagen gelten für die Ermittlung der Strahlenexposition des Menschen<sup>1)</sup> in **Interventionssituationen** aufgrund bergbaulicher Hinterlassenschaften (**bergbaubedingte Strahlenexposition**) in den neuen Bundesländern, insbesondere in nachfolgenden **Anwendungsbereichen**:

- Nutzung, Stilllegung, Sanierung und Folgenutzung<sup>2)</sup> bergbaulicher Anlagen und Einrichtungen<sup>3)</sup>,
- Nutzung, Sanierung und Folgenutzung anderer Grundstücke, die durch bergbauliche Anlagen und Einrichtungen<sup>3)</sup> kontaminiert sind.

Die Berechnungsgrundlagen gelten nicht für untertägige Anlagen und Einrichtungen. Sie gelten ferner nicht für die stoffliche Nutzung und Folgenutzung kontaminierter bergbaulicher Materialien, wie die Verwendung von Haldenmaterialien als Bauzuschlagstoff.

Die Berechnungsgrundlagen sind anzuwenden bei der Nachweisführung zur Einhaltung von Dosisgrenzwerten für Beschäftigte und von Dosisrichtwerten für Einzelpersonen der Bevölkerung, bei der Durchführung von Expositionsabschätzungen an bergbaulichen Hinterlassenschaften sowie bei der Planung und Optimierung expositionsverringender Maßnahmen.

Für die Ermittlung und Bewertung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten gelten die „Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zer

---

<sup>1)</sup> Die Berechnungsgrundlagen sind für die Ermittlung von Kollektivdosen nicht anzuwenden.

<sup>2)</sup> Unter Folgenutzung sollen Nutzung nach Sanierung oder Nutzungseinschränkung verstanden werden.

<sup>3)</sup> Für radioaktive Kontaminationen, die durch chemische Aufbereitungsrückstände entstanden sind oder dadurch beeinflusst werden, sind bei der Berechnung der bergbaubedingten Strahlenexposition erforderlichenfalls spezielle Expositionspfade und -parameter zu berücksichtigen (s.a. Teil I, Ziffer 2.2).

fallsprodukten infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen-Bergbau: Teil Radon)“ vom 30.07.1999.

## 2 Ziele und Grundsätze zur Ermittlung der Strahlenexposition

- 2.1 Die Berechnungsgrundlagen dienen zur Ermittlung der bergbaubedingten Strahlenexposition des Menschen.
- 2.2 Bei der Anwendung der Berechnungsgrundlagen sind von den unter Teil I., Ziff. 2.5 aufgeführten Expositionsszenarien und -pfaden nur die im konkreten Anwendungsfall **tatsächlich relevanten Szenarien und Pfade** zu berücksichtigen. Neben den in den Berechnungsgrundlagen beschriebenen Expositionspfaden sind im Ausnahmefall zusätzliche Expositionspfade zu berücksichtigen, wenn dies durch Besonderheiten des Anwendungsfalls, des Standorts oder der bergbaulichen Hinterlassenschaften begründet ist. Entsprechendes gilt für die Berechnungsparameter und Radionuklide.

Die Auswahl der bei der Ermittlung der bergbaubedingten Strahlenexposition zu berücksichtigenden Expositionsszenarien und -pfade, Berechnungsparameter und Radionuklide hat vorrangig anhand qualitativer Bewertungen zu erfolgen. Zweifelsfälle sind durch vertiefende Untersuchungen der Standort- und Expositionsverhältnisse zu klären.

- 2.3 Die Strahlenexposition ist für **Referenzpersonen an ungünstigsten Einwirkungsstellen** zu ermitteln.
- 2.3.1 a) **Referenzpersonen** sind Einzelpersonen der allgemeinen Bevölkerung<sup>1)</sup> und Beschäftigte, für die in den Anlagen spezifische **Berechnungsparameter** (Dosiskoeffizienten, Atemraten, Expositionszeiten sowie Verzehr- und Aufnahmezeiten) festgelegt sind.

---

<sup>1)</sup> 6 Altersgruppen gemäß Richtlinie 96/29/EURATOM vom 13.5.1996

b) „**Beschäftigte**“ sind Personen, die berufsbedingt bergbauliche Hinterlassenschaften stilllegen oder sanieren, sofern diese beruflichen Tätigkeiten und Arbeiten der Überwachung unterliegen. Für die Berechnung der Strahlenexposition der Referenzperson „Beschäftigte“ sind die aufgrund der beruflichen Tätigkeit oder Arbeit zu berücksichtigenden Expositionsszenarien, Expositionspfade, Radionuklide und Berechnungsparameter nach den Gegebenheiten des konkreten Einzelfalls festzulegen. Für diese beruflichen Tätigkeiten oder Arbeiten, die sowohl in Betriebsgebäuden als auch auf Betriebsflächen im Freien stattfinden können, wird unterstellt, daß sie insgesamt maximal 2000 Stunden pro Jahr ausfüllen (vgl. Anlage I, Tab. I. 2). Die Strahlenexposition, die ein „Beschäftigter“ außerhalb seiner beruflichen Tätigkeit oder Arbeit erfährt, ist bei der Berechnung der bergbaubedingten Strahlenexposition nicht zu berücksichtigen.

Für die Referenzperson "Beschäftigter" ist bei der Ermittlung der effektiven Dosis aus Meßwerten der Anteil der natürlichen Umweltradioaktivität **nicht** abzuziehen.

c) Personen, die berufliche Tätigkeiten oder Arbeiten im Zusammenhang mit bergbaulichen Hinterlassenschaften durchführen, ohne daß diese Tätigkeiten oder Arbeiten der Überwachung unterliegen, sind der Referenzperson „**Erwachsender**“ („> 17 a“) zuzuordnen. Für diese Tätigkeiten oder Arbeiten wird unterstellt, daß sie im Freien stattfinden und maximal 2.000 Stunden pro Jahr ausfüllen. Ein weiterer, freizeitbedingter Aufenthalt im Freien ist für diese Personen nur soweit zu berücksichtigen, wie o.g. Maximalwert nicht bereits durch berufliche Tätigkeiten oder Arbeiten im Freien ausgeschöpft wird.

2.3.2 a) **Einwirkungsstellen** sind die Orte auf oder in der Umgebung bergbaulicher Anlagen oder Einrichtungen, an denen sich Referenzpersonen aufhalten können oder an denen Lebensmittel erzeugt werden können, die den Anteil gemäß [Teil I., Ziff. 2.6.3](#) am Jahresverbrauch von Referenzpersonen nach [Anlage III, Tab. III. 2](#) abdecken.

b) **Ungünstigste Einwirkungsstellen** sind die Einwirkungsstellen, an denen für die zu betrachtenden Expositionsszenarien und -pfade unter Berücksichtigung realistischer Nutzungen und Verhaltensweisen jeweils die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind im konkreten Anwendungsfall zu bestimmen. Dabei sind je nach Anwendungsbereich und -fall aktuelle Nutzungen zu berücksichtigen und/oder mögliche künftige Nutzungen einzubeziehen.

c) Bei der Bestimmung möglicher **künftiger Nutzungen** sind planungsrechtliche Festsetzungen, im übrigen die Prägung des Gebiets unter Berücksichtigung der absehbaren Entwicklung zu beachten. Soweit Nutzungen durch behördliche Maßnahmen (z.B. Nutzungseinschränkung) oder durch Maßnahmen des Inhabers der bergbaulichen Hinterlassenschaft (z.B. Zugangsbeschränkung) unterbunden werden, bleiben sie bei der Ermittlung der Strahlenexposition außer Betracht. Das gleiche gilt für Nutzungen, die aufgrund der ökologischen Verhältnisse am Standort oder der zeitlichen Begrenzung des Anwendungsfalls ausgeschlossen werden können.

2.4 Die **bergbaubedingte Strahlenexposition** ist im Regelfall als effektive Dosis pro Jahr zu berechnen. Soweit rechtlich zulässig und für den jeweiligen Anwendungsfall zweckmäßig, kann für einzelne Expositionspfade und Radionuklide statt einer Berechnung der effektiven Dosis pro Jahr auch eine anderweitige Bewertung der ermittelten Radionuklidkonzentration oder Ortsdosisleistung nach geeigneten radiologischen Kriterien erfolgen.

## 2.5 Die Berechnungsgrundlagen berücksichtigen

### die **Expositionsszenarien**:

- Aufenthalt in Gebäuden (Wohngebäude<sup>1)</sup>, Betriebsgebäude),
- Aufenthalt im Freien,
- Verzehr von Muttermilch und lokal erzeugter Lebensmittel (pflanzliche und tierische Produkte sowie Wasser)

### und die **Expositionspfade**:

- Äußere Exposition durch Gammastrahlung des Bodens,
- Exposition durch Inhalation von Staub,
- Exposition durch Ingestion von Muttermilch und lokal erzeugter Lebensmittel (Trinkwasser, Fisch, Milch und Milchprodukte, Fleisch und Fleischwaren, Blattgemüse, sonstige pflanzliche Produkte) und
- Exposition durch Direktingestion von Boden.

## 2.6 Bei der Anwendung der Berechnungsgrundlagen ist folgendes zu beachten:

2.6.1 a) Beim **Expositionsszenario Aufenthalt in Gebäuden** (Betriebsgebäude) sind für Beschäftigte realistische Aufenthaltszeiten zugrunde zu legen. Teil I., Ziff. 2.3.1 b) ist zu beachten.

b) Für die Berechnung der Strahlenexposition von Referenzpersonen der allgemeinen Bevölkerung ist in der Regel insgesamt eine Aufenthaltszeit in Wohngebäuden<sup>1)</sup> von maximal 7000 Stunden pro Jahr zugrunde zu legen. Dabei ist ggf.

---

<sup>1)</sup> „Wohngebäude“ ist als Sammelbegriff für alle Typen von Gebäuden (z.B. auch Schulen, Kindergärten, Sporthallen) zu verstehen, die von der allgemeinen Bevölkerung genutzt werden können.

zu berücksichtigen, daß der Aufenthalt nicht ausschließlich in einem Wohngebäude, das sich auf der „ungünstigsten Einwirkungsstelle“ befindet, erfolgen muß.

c) Grundsätzlich sind beim Szenario „Aufenthalt in Gebäuden“ die Expositionspfade „Äußere Exposition durch Gammastrahlung des Bodens“ und „Inhalation von Staub“ zu berücksichtigen. Diese Pfade sind im Sinne von Teil I., Ziff. 2. 2 relevant, wenn sich Gebäude

- für den Pfad „Äußere Exposition durch Gammastrahlung des Bodens“ **auf oder in unmittelbarer Nähe** (bis zu einer Entfernung von 20 m) und
- für den Pfad „Inhalation von Staub“ **auf oder in der Umgebung** (bis zu einer Entfernung von 100 m)

bergbaulicher Anlagen oder Einrichtungen befinden.

d) Die Berechnung der Strahlenexposition erfolgt für beide zu berücksichtigende Pfade auf der Grundlage von Meßwerten bzw. mittels Transportrechnungen ermittelter Werte für einen Aufpunkt **im Freien**. [Teil I., Ziff. 2.6.5](#) ist zu beachten. Die abschirmende Wirkung des Gebäudes ist in den Berechnungsvorschriften (Teil II., Ziffn. 1 und 2) berücksichtigt.

2.6.2 a) Beim **Expositionsszenario Aufenthalt im Freien** sind für Beschäftigte realistische Aufenthaltszeiten zugrunde zu legen. Teil I., Ziff. 2.3.1 b) ist zu beachten.

b) Für die Berechnung der Strahlenexposition von Referenzpersonen der allgemeinen Bevölkerung ist in der Regel insgesamt eine Aufenthaltszeit im Freien von maximal 2000 h pro Jahr zugrunde zu legen. Dabei ist ggf. zu berücksichtigen, daß der Aufenthalt im Freien nicht ausschließlich an einem Expositionsort, der sich auf der „ungünstigsten Einwirkungsstelle“ befindet, erfolgen muß.

c) Grundsätzlich sind beim Szenario „Aufenthalt im Freien“ die Expositionspfade „Äußere Exposition durch Gammastrahlung des Bodens“, „Inhalation von Staub“

und „Direktingestion von Boden“ zu berücksichtigen. Diese Pfade sind im Sinne von Teil I., Ziff. 2.2 relevant, wenn sich Expositionsorte von Referenzpersonen

- für den Pfad „Äußere Exposition durch Gammastrahlung des Bodens“ **auf oder in unmittelbarer Nähe** (bis zu einer Entfernung von 20 m) von
- für den Pfad „Inhalation von Staub“ **auf oder in der Umgebung** (bis zu einer Entfernung von 100 m) von und
- für den Pfad „Direktingestion von Boden“ **auf**

bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen befinden.

2.6.3 a) Beim **Expositionsszenario Verzehr lokal erzeugter Lebensmittel** ist in der Regel anzunehmen, daß der in Anlage III, Tab. III. 2 angegebene jährliche Verzehr landwirtschaftlicher Produkte (Fisch, Milch und Milchprodukte, Fleisch und Fleischwaren, Blattgemüse, sonstige pflanzliche Produkte) nur zu 25 % durch Lebensmittel abgedeckt wird, die durch die bergbauliche Hinterlassenschaften kontaminiert sind (**Anteil an lokaler Produktion**).

Für den Verbrauch von Trinkwasser ist anzunehmen, daß der gesamte Bedarf durch bergbauliche Hinterlassenschaften kontaminiert ist, sofern nicht besondere Umstände (z.B. Fernwasserversorgung) die Annahme eines geringeren Anteils lokal gewonnenen Trinkwassers rechtfertigen.

b) Grundsätzlich sind beim Szenario „Verzehr lokal erzeugter Lebensmittel“ folgende Expositionspfade zu berücksichtigen:

- Transfer vom Boden zur Pflanze
  - Boden - Pflanze
  - Boden - Pflanze - Muttermilch
  - Boden - Futterpflanze - Kuh - Milch
  - Boden - Futterpflanze - Kuh - Milch - Muttermilch
  - Boden - Futterpflanze - Tier - Fleisch
  - Boden - Futterpflanze - Tier - Fleisch - Muttermilch

- Freisetzung mit der Luft
  - Luft - Pflanze
  - Luft - Pflanze - Muttermilch
  - Luft - Futterpflanze - Kuh - Milch
  - Luft - Futterpflanze - Kuh - Milch - Muttermilch
  - Luft - Futterpflanze - Tier - Fleisch
  - Luft - Futterpflanze - Tier - Fleisch - Muttermilch
  
- Freisetzung mit dem Wasser
  - Trinkwasser
  - Trinkwasser - Muttermilch
  - Wasser - Fisch
  - Wasser - Fisch - Muttermilch
  - Beregnung - Pflanze
  - Beregnung - Pflanze - Muttermilch
  - Beregnung - Futterpflanze - Kuh - Milch
  - Beregnung - Futterpflanze - Kuh - Milch - Muttermilch
  - Beregnung - Futterpflanze - Tier - Fleisch
  - Beregnung - Futterpflanze - Tier - Fleisch - Muttermilch
  - Viehtränke - Kuh - Milch
  - Viehtränke - Kuh - Milch - Muttermilch
  - Viehtränke - Tier - Fleisch
  - Viehtränke - Tier - Fleisch - Muttermilch

Diese Expositionspfade sind - soweit c) nichts anderes bestimmt - im Sinne von Teil I., Ziff. 2.2 relevant, wenn

- beim Kontaminationsweg „Transfer vom Boden zur Pflanze“ die Pflanzen **auf** bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen wachsen und
- beim Kontaminationsweg „Freisetzung mit der Luft“ die Pflanzen **auf oder in der Umgebung** (bis zu einer Entfernung von 100 m) bergbaulicher Anlagen oder Einrichtungen wachsen.

c) Bei der Berechnung der Strahlenexposition sind die Kontaminationswege „Transfer vom Boden zur Pflanze“ und „Freisetzung mit der Luft“ nur zu berücksichtigen, wenn die bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen bzw. die durch Freisetzung mit der Luft kontaminierte Umgebung ausreichend groß und geeignet sind, um den oben angegebenen Anteil an lokaler Produktion für Referenzpersonen der allgemeinen Bevölkerung zu ermöglichen. Entsprechendes gilt im Hinblick auf die Verfügbarkeit und Eignung von bergbaubedingt kontaminierten Wässern für die Pfade „Freisetzung mit dem Wasser“. Teilpfade, bei denen diese Bedingung nicht erfüllt ist, gelten im Sinne von Teil I., Ziff. 2.2 als nicht relevant.

d) Beim „Verzehr von Säuglingsmilchnahrung oder Muttermilch“ durch die Referenzperson „ $\leq 1a$ “ sind beide Varianten alternativ zu berücksichtigen. Dabei ist für die Variante „Verzehr von Säuglingsmilchnahrung“ davon auszugehen, daß nicht kontaminierte Trockenmilch durch bergbaubedingt kontaminiertes Trinkwasser<sup>1)</sup> aufbereitet wird. Für die Berechnung der bergbaubedingten Strahlenexposition durch „Verzehr von Säuglingsmilchnahrung oder Muttermilch“ ist der höhere der beiden Expositionswerte zugrunde zu legen.

2.6.4 Der **Expositionspfad Direktingestion von Boden** ist für die Altersgruppe „ $\leq 1 a$ “ nicht zu berücksichtigen.

2.6.5 Die Expositionsberechnung basiert für alle Expositionspfade auf der Kenntnis repräsentativer Werte der Photonen-Äquivalentdosisleistung, der spezifischen Aktivität im Boden und in Lebensmitteln sowie der Aktivitätskonzentration in Luft und Wasser. Diese Werte können durch Messungen oder mit Hilfe von Rechenmodellen ermittelt werden. Dabei sind nachfolgende Grundsätze und Hinweise zu beachten:

a) Die Ermittlung der repräsentativen Werte hat vorrangig auf der Grundlage von Messungen an den ungünstigsten Einwirkungsstellen nach Teil I., Ziff. 2.3.2 b) zu erfolgen.

b) Rechnungen sind insbesondere durchzuführen, wenn

- eine Messung technisch nicht möglich oder die Meßergebnisse nur schwer interpretierbar sind,
- der für eine Messung erforderliche Aufwand unangemessen hoch wäre,
- zukünftige Nutzungen zu berücksichtigen sind oder
- bei einer räumlichen Häufung von Expositionsquellen eine einzelquellenbezogene Ermittlung der Strahlenexposition erforderlich ist.

c) Die Berechnungsgrundlagen enthalten keine Modelle, die den Transport radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser und deren Ablagerung in der Umgebung der Expositionsquelle beschreiben.

2.6.6 Bei der Berechnung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltra dioaktivität sind im Regelfall die Nuklide der Uran-Radium- und Uran-Actinium-Reihe zu berücksichtigen. Soweit in Einzelfällen eine bergbaubedingte Strahlenexposition durch Nuklide der Thorium-Reihe anzunehmen ist oder nicht ausgeschlossen werden kann, sind diese Nuklide zusätzlich in die Berechnung einzubeziehen. Teil I., Ziff. 2.2 ist zu beachten.

---

<sup>1)</sup> 0,2 kg Trockenmilch (entspricht 1 l Milch) werden in 0,8 l Wasser aufgelöst. (148 l Wasser + 37 kg Trockenmilch ergeben 185 kg Säuglingsmilchnahrung nach Anlage III, Tab. III.2).

### 3. Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der bergbaubedingten Strahlenexposition

3.1 Soweit die Berechnung der Strahlenexposition gemäß [Teil I., Ziff. 2.6.5 a\)](#) auf der Basis von Meßwerten erfolgt, ist zu berücksichtigen, daß die Meßwerte jeweils auch den Anteil der natürlicherweise vorhandenen Umweltradioaktivität enthalten. Zur Ermittlung der bergbaubedingten Strahlenexposition ist der Anteil der natürlicherweise vorhandenen Strahlenexposition abzuziehen<sup>1)</sup>.

3.2 Zur vereinfachten Prüfung der Einhaltung von Dosisgrenz- bzw. Dosisrichtwerten der bergbaubedingten Strahlenexposition (**relevante Dosiswerte**) kann das folgende, zweistufige Verfahren verwendet werden:

a) Im **ersten Schritt** wird die nach den Vorschriften des II. Teils berechnete Strahlenexposition **ohne Abzug der natürlichen Expositionsanteile** mit den relevanten Dosiswerten verglichen. Soweit dabei für keine Referenzperson eine Überschreitung festgestellt wird, kann ohne weitere Prüfung von der Einhaltung der relevanten Dosiswerte ausgegangen werden. Anderenfalls ist nachfolgender Untersuchungsschritt durchzuführen.

b) Im **zweiten Schritt** werden von der nach a) ermittelten Strahlenexposition einer Referenzperson die in den Tabellen der Anlage IV genannten **allgemeinen Werte der natürlichen Umweltradioaktivität** abgezogen. Bei diesen Werten handelt es sich um einen mittleren Wert der Photonen-Äquivalentdosisleistung sowie um Werte der spezifischen Aktivität in Lebensmitteln, im Boden und im Viehfutter sowie der Aktivitätskonzentration in Wässern (Trinkwasser, Viehtränkewasser, Regenungswasser, Oberflächenwasser) und in Staub für eine durch den Bergbau unbeeinflusste Region.

---

<sup>1)</sup> Für „Beschäftigte“ ist Teil I., Ziff. 2.3.1 b) zu berücksichtigen.

Soweit standortspezifische Werte der natürlichen Umweltradioaktivität gemäß 3.3 vorliegen, sind diese anstelle der allgemeinen Werte der natürlichen Umweltradioaktivität zu verwenden.

Die Differenz der so ermittelten Strahlenexposition gilt für den Vergleich mit den relevanten Dosiswerten als bergbaubedingte Strahlenexposition der Referenzperson. Wird bei diesem Vergleich für keine Referenzperson eine Überschreitung festgestellt, so kann ohne weitere Prüfung von der Einhaltung der relevanten Dosiswerte ausgegangen werden.

3.3 Soweit mithilfe des vereinfachten Verfahrens nach 3.2 eine Einhaltung der relevanten Dosiswerte nicht festgestellt werden kann, sind zur Ermittlung der bergbaubedingten Strahlenexposition **standortspezifische Werte der natürlicherweise vorhandenen Umweltradioaktivität** erforderlich. Die Bestimmung dieser Werte hat im Einvernehmen mit der zuständigen Behörde zu erfolgen.

## II. Teil: Berechnungsverfahren

### 1 Berechnung der äußeren Strahlenexposition durch Gammastrahlung des Bodens beim Aufenthalt im Freien und in Gebäuden

Die bergbaubedingte effektive Jahresdosis  $H_{E,j}$  ist auf der Grundlage von repräsentativen Meßwerten der Photonen-Äquivalentdosisleistung im Freien an möglichen Aufenthaltsorten  $s$  der Referenzperson  $j$  wie folgt zu berechnen:

$$H_{E,j} = f_{\text{Kon},j} \sum_s \left( \dot{H}_{x,s} - \dot{H}_x^U \right) t_{\text{Exp},j,s} a_{x,s} \quad (1.1)$$

Hierin bedeuten:

- $H_{E,j}$  : Effektive Jahresdosis<sup>1)</sup> durch Gammastrahlung für die Referenzperson  $j$  in Sv
- $\dot{H}_{x,s}$  : Photonen-Äquivalentdosisleistung im Freien in 1 m Höhe am Expositionsort  $s$  in Sv h<sup>-1</sup>
- $\dot{H}_x^U$  : Photonen-Äquivalentdosisleistung der natürlichen Gammastrahlung im Freien in 1 m Höhe in Sv h<sup>-1</sup>, s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV. 1](#) (Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß [Teil I., Ziff. 3.3](#) ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen)
- $f_{\text{Kon},j}$  : Umrechnungsfaktor von Photonen-Äquivalentdosis in effektive Dosis für die Referenzperson  $j$ , s. [Anlage I, Tab. I. 1](#)
- $t_{\text{Exp},j,s}$  : Jährliche Aufenthaltszeit der Referenzperson  $j$  am Expositionsort  $s$  in h, s. [Anlage I, Tab. I. 2](#)
- $a_{x,s}$  : Faktor zur Berücksichtigung der Abschirmwirkung am Expositionsort  $s$  auf Gammastrahlung im Freien, dimensionslos, s. [Anlage I, Tab. I. 3](#)

---

<sup>1)</sup> „Effektive Jahresdosis“ bedeutet im folgenden immer nur die bergbaubedingte effektive Jahresdosis

*Hinweis:*

Ist die Photonen-Äquivalentdosisleistung im Freien in 1 m Höhe aus der spezifischen Aktivität der oberen Bodenschicht zu berechnen (s. Teil I., Ziff. 2.6.5 b) ergeben sich die Größen  $\dot{H}_{x,s}$  und  $\dot{H}_x^U$  wie folgt:

$$\dot{H}_{x,s} = C_{Bo,s} g_{ext} \quad (1.2)$$

und

$$\dot{H}_x^U = C_{Bo}^U g_{ext} \quad (1.3)$$

*Dabei bedeuten:*

$C_{Bo,s}$  : Spezifische Aktivität eines Radionuklides der Uran-Radium-Reihe im radioaktiven Gleichgewicht in der oberen Bodenschicht (0 - 30 cm) für den Expositionsort  $s$  in  $Bq\ kg^{-1}$  (TM)<sup>1)</sup>

$C_{Bo}^U$  : Spezifische natürliche Untergrund-Aktivität eines Radionuklides der Uran-Radium-Reihe im radioaktiven Gleichgewicht in der oberen Bodenschicht (0 - 30 cm) in  $Bq\ kg^{-1}$  (TM), s. Teil I., Ziff. 3 bzw. Anlage IV, Tab. IV.4

$g_{ext}$  : Konversionsfaktor für die Umrechnung der spezifischen Aktivität des Bodens (Uran-Radium-Reihe im radioaktiven Gleichgewicht) in die Photonen- Äquivalentdosisleistung im Freien in 1 m Höhe in  $Sv\ kg\ Bq^{-1}\ h^{-1}$ .

Es gilt

$$g_{ext} = 5,3 \cdot 10^{-10}\ Sv\ kg\ Bq^{-1}\ h^{-1}$$

Liegt kein radioaktives Gleichgewicht vor, ist in der oberen Bodenschicht die spezifische Ra-226-Aktivität zu bestimmen, da der Hauptbeitrag zur externen Gammastrahlung aus dem Zerfall der beiden kurzlebigen Zerfallsprodukte Pb-214 und Bi-214 resultiert.

---

<sup>1)</sup> Trockenmasse

## 2 Berechnung der Strahlenexposition durch Inhalation von Staub beim Aufenthalt im Freien und in Gebäuden

Die effektive Jahresdosis  $H_{\text{Inh},j}$  der Referenzperson  $j$  durch Inhalation von Staub ist wie folgt zu berechnen:

$$H_{\text{Inh},j} = \dot{V}_j \sum_s \sum_r (C_{\text{Luft},r,s} - C_{\text{Luft},r}^U) g_{\text{Inh},r,j} t_{\text{Exp},j,s} a_{\text{Luft},s} \quad (2.1)$$

Hierin bedeuten:

- $H_{\text{Inh},j}$  : Effektive Jahresdosis durch Inhalation von Staub für die Referenzperson  $j$  in Sv
- $C_{\text{Luft},r,s}$  : Aktivitätskonzentration des an Staub gebundenen Radionuklides  $r$  in der Außenluft für den Expositionsort  $s$  in  $\text{Bq m}^{-3}$
- $C_{\text{Luft},r}^U$  : Natürliche Untergrund-Aktivitätskonzentration des an Staub gebundenen Radionuklides  $r$  in der Außenluft in  $\text{Bq m}^{-3}$ , s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV.2](#)
- (Sofern  $C_{\text{Luft},r,s}$  aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der [Gleichung \(2.1a\)](#) ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfaßt, gilt  $C_{\text{Luft},r}^U \equiv 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß [Teil I., Ziff. 3.3](#) ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen)
- $\dot{V}_j$  : Atemrate für die Referenzperson  $j$  in  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ , s. [Anlage II, Tab. II. 1](#)
- $g_{\text{Inh},r,j}$  : Inhalationsdosiskoeffizient für das Radionuklid  $r$  und die Referenzperson  $j$  in  $\text{Sv Bq}^{-1}$ , s. [Anlage II, Tab. II. 2](#)
- $t_{\text{Exp},j,s}$  : Jährliche Aufenthaltszeit der Referenzperson  $j$  am Expositionsort  $s$  in h, s. [Anlage I, Tab. I. 2](#)
- $a_{\text{Luft},s}$  : Faktor zur Ermittlung der Staubkonzentration am Expositionsort  $s$  aus der Staubkonzentration im Freien, dimensionslos ( $a_{\text{Luft},s} = 1$  für Aufenthalt im Freien und  $a_{\text{Luft},s} = 0,5$  für Aufenthalt in Gebäuden)

*Hinweise:*

a)

Bei der Ermittlung der Strahlenexposition sind folgende Radionuklide zu berücksichtigen: U-238, U-234, Th-230, Ra-226, Pb-210, Po-210, U-235, Pa-231 und Ac-227 (Teil I., Ziff. 2.6.6 ist zu beachten).

b)

Die durch Resuspension auf oder in der Umgebung bergbaulicher Anlagen oder Einrichtungen (bis zu 100 m Abstand, vgl. Teil I., Ziff. 2.6.2 c) resultierende Aktivitätskonzentration  $C_{\text{Luft},r,s}$  kann, soweit kein standortspezifischer Wert vorliegt, mittels eines Referenzwertes der Schwebstaubkonzentration aus der spezifischen Aktivität des Bodens für den Expositionsort  $s$  wie folgt abgeschätzt werden:

$$C_{\text{Luft},r,s} = (C_{\text{Bo}(0,02),r,s} - C_{\text{Bo}(0,02),r}^{\text{U}}) S_{\text{Staub}} \quad (2.1a)$$

*Hierin bedeuten:*

$C_{\text{Bo}(0,02),r,s}$ : Spezifische Aktivität des Radionuklides  $r$  in der Staubfraktion (Teilchen mit einem Durchmesser  $< 0,02$  mm) der oberen Bodenschicht für den Expositionsort  $s$  in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM)

$C_{\text{Bo}(0,02),r}^{\text{U}}$ : Spezifische natürliche Untergrund-Aktivität des Radionuklides  $r$  in der Staubfraktion (Teilchen mit einem Durchmesser  $< 0,02$  mm) der oberen Bodenschicht in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM), s. Teil I., Ziff. 3 bzw. Anlage IV, Tab. IV.4 (Sofern  $C_{\text{Bo}(0,02),r,s}$  aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der Gleichung (2.1b) ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $C_{\text{Bo}(0,02),r}^{\text{U}} \equiv 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß Teil I., Ziff. 3.3 ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen).

$S_{\text{Staub}}$ : Referenzwert der Schwebstaubkonzentration:  $5 \cdot 10^{-8} \text{ kg m}^{-3}$

c)

Liegen nur spezifische Aktivitäten der gesamten (ungesiebten) Bodenprobe vor, so kann mithilfe eines Aufkonzentrationsfaktors, der aus Untersuchungen an vergleichbaren Bodenmaterialien (insbesondere ähnlicher Anteil der Staubfraktion) abgeleitet wurde, die spezifische Aktivität  $C_{Bo(0,02),r,s}$  wie folgt berechnet werden:

$$C_{Bo(0,02),r,s} = (C_{Bo,r,s} - C_{Bo,r}^U) AF_{0,02;r} \quad (2.1b)$$

Hierin bedeuten:

$C_{Bo,r,s}$  : Spezifische Aktivität des Radionuklides  $r$  in der gesamten (ungesiebten) Probe der oberen Bodenschicht für den Expositionsort  $s$  in  $Bq\ kg^{-1}$  (TM)

$C_{Bo,r}^U$  : Spezifische natürliche Untergrund-Aktivität des Radionuklides  $r$  in der gesamten (ungesiebten) Probe der oberen Bodenschicht in  $Bq\ kg^{-1}$  (TM),

s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV.4](#)

(Sofern  $C_{Bo,r,s}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfaßt, gilt  $C_{Bo,r}^U = 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß [Teil I., Ziff. 3.3](#) ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen).

$AF_{0,02;r}$  : Aufkonzentrationsfaktor, der das mittlere Verhältnis der spezifischen Aktivitäten des Radionuklides  $r$  der Staubfraktion und der Gesamtprobe beschreibt, dimensionslos ( $AF_{0,02;r} \approx 4$  für alle Radionuklide  $r$ )

d)

Unter der Voraussetzung, daß sowohl das natürliche Isotopenverhältnis zwischen der Uran-Radium-Reihe und der Uran-Actinium-Reihe als auch radioaktives Gleichgewicht in diesen Zerfallsreihen vorliegen, kann die Strahlenexposition aus der Aktivitätskonzentration eines an Staub gebundenen Radionuklids aus der Uran-Radium-Reihe unter Verwendung des Inhalationsdosiskoeffizienten für das Radionuklidgemisch folgendermaßen berechnet werden:

$$H_{\text{Inh},j} = \dot{V}_j g_{\text{Inh},j} \sum_s (C_{\text{Luft},s} - C_{\text{Luft}}^U) t_{\text{Exp},j,s} a_{\text{Luft},s} \quad (2.1c)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$C_{\text{Luft},s}$  : Aktivitätskonzentration eines an Staub gebundenen Radionuklids der Uran-Radium-Reihe in der Außenluft für den Expositionsort  $s$  in  $\text{Bq m}^{-3}$

$C_{\text{Luft}}^U$  : Natürliche Untergrund-Aktivitätskonzentration eines an Staub gebundenen Radionuklids der Uran-Radium-Reihe in der Außenluft in  $\text{Bq m}^{-3}$ , s. [Teil I., Ziff. 3](#)

(Sofern  $C_{\text{Luft},s}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfaßt, gilt  $C_{\text{Luft}}^U \equiv 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß [Teil I., Ziff. 3.3](#) ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen).

$g_{\text{Inh},j}$  : Inhalationsdosiskoeffizient für die Referenzperson  $j$  und das Radionuklidgemisch in  $\text{Sv Bq}^{-1}$ , s. [Anlage II, Tab. II. 2](#)

### 3 Berechnung der Strahlenexposition durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel

Die Berechnung der Strahlenexposition durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel soll gemäß [Teil I., Ziff. 2.6.5](#) vorrangig auf der Grundlage repräsentativer Meßwerte der spezifischen Aktivität in den für den menschlichen Verzehr bestimmten pflanzlichen und tierischen Produkten sowie der Aktivitätskonzentration im Trinkwasser durchgeführt werden. Hingegen sollte die Anwendung der Berechnungsvorschriften des Teils II., Ziff. 5, die auf Werten der spezifischen Aktivität im Boden sowie der Aktivitätskonzentration im Oberflächenwasser, Beregnungs- und Viehtränkewasser basieren, auf die durch [Teil I., Ziff. 2.6.5 b\)](#) erfaßten Fälle begrenzt bleiben.

Die effektive Jahresdosis  $H_{\text{Ing},j}$  der Referenzperson  $j$  durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel ist wie folgt zu berechnen:

$$H_{\text{Ing},j} = \sum_n p_n U_{n,j} \sum_r (C_{n,r} - C_{n,r}^U) g_{\text{Ing},r,j} \quad (3.1)$$

Hierin bedeuten:

$H_{\text{Ing},j}$ : Effektive Jahresdosis für die Referenzperson  $j$  durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittels in Sv

$C_{n,r}$ : Spezifische Aktivität in  $\text{Bq kg}^{-1}$  bzw. Aktivitätskonzentration in  $\text{Bq l}^{-1}$  des Radionuklides  $r$  im Lebensmittel  $n$

$C_{n,r}^U$ : Spezifische natürliche Untergrund - Aktivität in  $\text{Bq kg}^{-1}$  bzw. - Aktivitätskonzentration in  $\text{Bq l}^{-1}$  des Radionuklides  $r$  im Lebensmittel  $n$ , s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV.3](#)

(Sofern  $C_{n,r}$  aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der in Teil II., Ziff. 5 angegebenen Gleichungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfaßt, gilt  $C_{n,r}^U \equiv 0$ ).

$n$ :	Index zur Kennzeichnung der Lebensmittel	
	$n = Mi$	Milch und Milchprodukte
	$n = FI$	Fleisch und Fleischwaren
	$n = Fi$	Fischfleisch
	$n = BI$	Blattgemüse
	$n = Pf$	Pflanzliche Produkte außer Blattgemüse
	$n = W$	Trinkwasser
	$n = MM$	Muttermilch
	$n = SM$	Säuglingsmilchnahrung

$p_n$ : Anteil an lokaler Produktion des Lebensmittels  $n$  am Jahresverbrauch, dimensionslos, s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)

$U_{n,j}$ : Jahresverbrauch des Lebensmittels  $n$  durch die Referenzperson  $j$  in kg (in l für  $n = W$ ), s. [Anlage III, Tab. III. 2](#)

$g_{\text{Ing},r,j}$ : Ingestionsdosiskoeffizient für das Radionuklid  $r$  und die Referenzperson  $j$  in  $\text{Sv Bq}^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 1](#)

#### *Hinweise:*

a)

*Bei der Ermittlung der Strahlenexposition durch Ingestion sind folgende Radionuklide zu berücksichtigen: U-238, U-234, Th-230, Ra-226, Pb-210, Po-210, U-235, Pa-231 und Ac-227 (Teil I., Ziff. 2.6.6 ist zu beachten). Bei der Bestimmung der spezifischen Aktivität bzw. Aktivitätskonzentration durch Messung ist davon auszugehen, daß in den genannten Lebensmitteln das radioaktive Gleichgewicht innerhalb der Uran-Radium- und Uran-Actinium-Reihe gestört ist.*

b)

Die Strahlenexposition durch Verzehr von Milch und Milchprodukten sowie Fleisch und Fleischwaren ist nur für durch bergbauliche Anlagen oder Einrichtungen kontaminierte Flächen zu berücksichtigen, die für eine weidewirtschaftliche Nutzung geeignet sind und jeweils eine Mindestgröße von 1 ha aufweisen. Die Teilpfade Beregnung von Weidepflanzen und Viehtränke sind dann zu berücksichtigen, wenn bergbaubedingt kontaminierte Wässer in für diese Nutzungen geeigneter Qualität und ausreichender Menge verfügbar sind (s. auch Teil I., Ziff. 2.6.3 c). Mit der Beregnungsrate von  $1 \text{ l m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Anlage III, Tab. III. 4) und der Annahme einer durchschnittlichen Beregnungsdauer von  $1 \text{ h d}^{-1}$  ergibt sich für die Beregnung o.g. Fläche eine Mindestkapazität von  $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Dieser Wert verringert sich entsprechend, sofern Vorrichtungen zur Wasserspeicherung genutzt werden können. Der tägliche Wasserkonsum eines Rindviehs beträgt 75 l (Anlage III, Tab. III. 4).

c)

Erfolgt die Ermittlung der Strahlenexposition durch Ingestion pflanzlicher und tierischer Produkte auf der Grundlage repräsentativer Meßwerte in diesen Lebensmitteln, so ist unter den Voraussetzungen, daß

- die landwirtschaftliche Nutzfläche sich auf bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen befindet,
- nur die terrestrischen Expositionspfade relevant sind (keine Beregnung und keine Viehtränke) und
- ein repräsentativer Wert der spezifischen Aktivität für die obere Bodenschicht vorliegt,

der Anteil der natürlichen Untergrund-Aktivität wie folgt zu berücksichtigen:

$$H_{\text{Ing},n,j} = \sum_n p_n U_{n,j} \sum_r C_{n,r} \left(1 - C_{\text{Bo},r}^U / C_{\text{Bo},r}\right) g_{\text{Ing},r,j} \quad (3.1a)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$H_{\text{Ing},n,j}$ : Effektive Jahresdosis für die Referenzperson j durch Ingestion des lokal erzeugten Lebensmittels n in Sv

$C_{\text{Bo},r}^{\text{U}}$  : Spezifische natürliche Untergrund - Aktivität des Radionuklides  $r$  in der oberen Bodenschicht (0 - 10 cm für Weideboden, 0 - 20 cm für Garten- und Ackerboden) in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM), s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV.4](#)

$C_{\text{Bo},r}$  : Repräsentativer Wert der spezifischen Aktivität des Radionuklides  $r$  für die obere Bodenschicht (0 - 10 cm für Weideboden, 0 - 20 cm für Garten- und Ackerboden) in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM)

d)

Bei der Ermittlung der Strahlenexposition aus Meßwerten der Aktivitätskonzentration in Muttermilch ist keine natürliche Untergrund-Aktivitätskonzentration in Rechnung zu stellen.

#### 4 Berechnung der Strahlenexposition durch Aufnahme von Boden (Direktingestion)

Die effektive Jahresdosis  $H_{\text{Ing,Bo},j}$  der Referenzperson  $j$  durch direkte Aufnahme von Boden ist wie folgt zu berechnen:

$$H_{\text{Ing,Bo},j} = U_{\text{Bo},j} \sum_s t_{\text{Exp},j,s} \sum_r (C_{\text{Bo}(0,5),r,s} - C_{\text{Bo}(0,5),r}^U) g_{\text{Ing},r,j} \quad (4.1)$$

Hierin bedeuten:

- $H_{\text{Ing,Bo},j}$  : Effektive Jahresdosis für die Referenzperson  $j$  durch direkte Aufnahme von Boden in Sv
- $C_{\text{Bo}(0,5),r,s}$  : Spezifische Aktivität des Radionuklides  $r$  in der Feinkornfraktion (Teilchen mit einem Durchmesser  $< 0,5$  mm) der oberen Bodenschicht am Expositionsort  $s$  in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM)
- $C_{\text{Bo}(0,5),r}^U$  : Spezifische natürliche Untergrund - Aktivität des Radionuklides  $r$  in der Feinkornfraktion der oberen Bodenschicht in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM), s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV.4](#)  
(Sofern  $C_{\text{Bo}(0,5),r,s}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfaßt, gilt  $C_{\text{Bo}(0,5),r}^U \equiv 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß [Teil I., Ziff. 3.3](#) ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen).
- $U_{\text{Bo},j}$  : Boden-Aufnahmerate der Referenzperson  $j$  in  $\text{kg h}^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 5](#)
- $t_{\text{Exp},j,s}$  : Jährliche Aufenthaltszeit der Referenzperson  $j$  am Expositionsort  $s$  in h, s. [Anlage I, Tab. I. 1](#)
- $g_{\text{Ing},r,j}$  : Ingestionsdosiskoeffizient für das Radionuklid  $r$  und die Referenzperson  $j$  in  $\text{Sv Bq}^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 1](#)

*Hinweise:*

a)

*Bei der Ermittlung der Strahlenexposition sind folgende Radionuklide zu berücksichtigen: U-238, U-234, Th-230, Ra-226, Pb-210, Po-210, U-235, Pa-231 und Ac-227 (Teil I., Ziff. 2.6.6 ist zu beachten).*

b)

*Liegen nur Werte der spezifischen Aktivität der gesamten (ungesiebten) Bodenprobe vor, so kann mithilfe eines Aufkonzentrierungsfaktors, der aus Untersuchungen an vergleichbaren Bodenmaterialien (insbesondere ähnlicher Anteil der Feinkornfraktion) abgeleitet wurde, die spezifische Aktivität  $C_{Bo(0,5),r,s}$  wie folgt berechnet werden:*

$$C_{Bo(0,5),r,s} = (C_{Bo,r,s} - C_{Bo,r}^U) AF_{0,5;r} \quad (4.1a)$$

*Hierin bedeuten:*

$C_{Bo,r,s}$  : *Spezifische Aktivität des Radionuklides  $r$  in der gesamten (ungesiebten) Probe der oberen Bodenschicht in  $Bq\ kg^{-1}$  (TM)*

$C_{Bo,r}^U$  : *Spezifische natürliche Untergrund-Aktivität des Radionuklides  $r$  in der gesamten (ungesiebten) Probe der oberen Bodenschicht in  $Bq\ kg^{-1}$  (TM), s.*

*Teil I., Ziff. 3 bzw. Anlage IV, Tab. IV.4*

*(Sofern  $C_{Bo,r,s}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfaßt, gilt  $C_{Bo,r}^U \equiv 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß Teil I., Ziff. 3.3 ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen).*

$AF_{0,5;r}$  : *Aufkonzentrierungsfaktor, der das mittlere Verhältnis der spezifischen Aktivitäten des Radionuklides  $r$  der Feinkornfraktion und der Gesamtprobe beschreibt, dimensionslos ( $AF_{0,5;r} \approx 2$  für alle Radionuklide  $r$ )*

c)

Unter der Voraussetzung, daß sowohl das natürliche Isotopenverhältnis zwischen der Uran-Radium-Reihe und der Uran-Actinium-Reihe als auch radioaktives Gleichgewicht in diesen Zerfallsreihen vorliegen, kann die Strahlenexposition aus der Aktivitätskonzentration eines der oben unter a) genannten Radionuklide aus der Uran-Radium-Reihe unter Verwendung des Ingestionsdosiskoeffizienten für das Radionuklidgemisch nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$H_{\text{Ing},j} = U_{\text{Bo},j} g_{\text{Ing},j} \sum_s (C_{\text{Bo},s} - C_{\text{Bo}}^U) t_{\text{Exp},j,s} \quad (4.1b)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$C_{\text{Bo},s}$  : Spezifische Aktivität der oberen Bodenschicht am Expositionsort  $s$  für ein Radionuklid der sich im Gleichgewicht befindlichen Uran-Radium-Reihe in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM)

$C_{\text{Bo}}^U$  : Spezifische natürliche Untergrund - Aktivität der oberen Bodenschicht für ein Radionuklid der sich im Gleichgewicht befindlichen Uran-Radium-Reihe in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM), s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV.4](#) (Sofern  $C_{\text{Bo},s}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfaßt, gilt  $C_{\text{Bo}}^U \equiv 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß [Teil I., Ziff. 3.3](#) ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen).

$g_{\text{Ing},j}$  : Ingestionsdosiskoeffizient für das Radionuklidgemisch und die Referenzperson  $j$  in  $\text{Sv Bq}^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 1](#)

d)

Bei der Ermittlung der Strahlenexposition ist davon auszugehen, daß das Radionuklid Po-210 in anorganischer Form vorliegt. Aus diesem Grund sind die in Anlage III, Tab. III.1 in Klammern gesetzten Dosiskoeffizienten zu verwenden.

## 5 Berechnung der spezifischen Aktivität in Lebensmitteln

### 5.1 Fischfleisch

Die Aktivitätskonzentration  $C_{\text{Fi},r}$  des Radionuklides  $r$  in Fischfleisch ergibt sich zu:

$$C_{\text{Fi},r} = (C_{\text{OGew},r} - C_{\text{OGew},r}^{\text{U}}) T_{\text{Fi},r} \quad (5.1)$$

Hierin bedeuten:

$C_{\text{OGew},r}$  : Aktivitätskonzentration des Radionuklides  $r$  im Oberflächenwasser in  $\text{Bq l}^{-1}$

$C_{\text{OGew},r}^{\text{U}}$  : Natürliche Untergrund - Aktivitätskonzentration des Radionuklides  $r$  im Oberflächenwasser in  $\text{Bq l}^{-1}$ , s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV.5](#)  
(Sofern  $C_{\text{OGew},r}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $C_{\text{OGew},r}^{\text{U}} \equiv 0$ ).

$T_{\text{Fi},r}$  : Konzentrationsfaktor für das Radionuklid  $r$  im Fischfleisch in  $\text{l kg}^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 3](#)

### 5.2 Pflanzen

Bei der Ermittlung der spezifischen Aktivität  $C_{n,r}$  des Radionuklids  $r$  in der Pflanze  $n$  ( $n = \text{Bl}$ , Blattgemüse), ( $n = \text{Pf}$ , Pflanzen ohne Blattgemüse) und ( $n = \text{Wd}$ , Weidepflanzen) werden folgende Fälle betrachtet:

1. Pflanzen wachsen auf bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen:

- \* Wurzeltransfer aus der oberen Bodenschicht und Aktivitätsablagerungen (Staub, Bodenpartikel) auf oberirdische Pflanzenteile (Pfad D)
- \* Berechnung (Pfad B)

$$C_{n,r} = C_{\text{D},n,r} + C_{\text{B},n,r} \quad (5.2a)$$

2. Pflanzen wachsen in der Umgebung bergbaulicher Anlagen oder Einrichtungen:

- \* Staubablagerung auf oberirdische Pflanzenteile (Pfad A)
- \* Beregnung (Pfad B)

$$C_{n,r} = C_{B,n,r} + C_{A,n,r} \quad (5.2b)$$

Hierbei bedeuten:

- $C_{D,n,r}$  : Spezifische Aktivität des Radionuklides r in der Pflanze n über den Pfad D in  $Bq\ kg^{-1}$  (FM)<sup>1)</sup>, s. [Gleichung \(5.3\)](#)
- $C_{B,n,r}$  : Spezifische Aktivität des Radionuklides r in der Pflanze n über den Pfad B in  $Bq\ kg^{-1}$  (FM), s. [Gleichung \(5.4\)](#)
- $C_{A,n,r}$  : Spezifische Aktivität des Radionuklides r in der Pflanze n über den Pfad A in  $Bq\ kg^{-1}$  (FM), s. [Gleichung \(5.5\)](#)

### 5.2.1 Pflanzen über den Bodenpfad - Pfad D

Aus den repräsentativen Werten der spezifischen Aktivität  $C_{Bo,r}$  für die obere Bodenschicht (10 cm für Weideboden, 20 cm für Acker- und Gartenboden) ist die spezifische Aktivität  $C_{D,n,r}$  in den auf bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen wachsenden Pflanzen wie folgt zu ermitteln:

$$C_{D,n,r} = T_{n,r} (C_{Bo,r} - C_{Bo,r}^U) \quad (5.3)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $T_{n,r}$  : Transferfaktor vom Boden zur Pflanze n (über Wurzelaufnahme und Aktivitätsablagerung auf oberirdische Pflanzenteile) für das Radionuklid r in  $Bq\ kg^{-1}$  (FM) der Pflanze pro  $Bq\ kg^{-1}$  (TM) des Bodens, s. [Anlage III, Tab. III. 3](#)
- n: Index zur Kennzeichnung der Pflanzen  
 n = Wd für Weidepflanzen  
 n = Pf für Pflanzen ohne Blattgemüse

---

<sup>1)</sup> Feuchtmasse

$n = \text{Bl}$  für Blattgemüse

### 5.2.2 Pflanzen über den Wasserpfad (Beregnung) - Pfad B

Die spezifische Aktivität  $C_{B,n,r}$  in der Pflanze  $n$  durch Beregnung von Weiden, Feldern und Gärten mit Wasser der Aktivitätskonzentration  $C_{\text{Ber},r}$  wird wie folgt berechnet:

$$C_{B,n,r} = (C_{\text{Ber},r} - C_{\text{Ber},r}^U) \frac{W f_w}{Y_n \lambda_{\text{eff},\text{Pf},r}} (1 - e^{-\lambda_{\text{eff},\text{Pf},r} t_{n,w}}) \quad (5.4)$$

Hierin bedeuten:

$C_{\text{Ber},r}$  : Aktivitätskonzentration des Radionuklides  $r$  im Beregnungswasser in  $\text{Bq l}^{-1}$

$C_{\text{Ber},r}^U$  : Natürliche Untergrund - Aktivitätskonzentration des Radionuklides  $r$  im Beregnungswasser in  $\text{Bq l}^{-1}$ , s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV.5](#) (Sofern  $C_{\text{Ber},r}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbau- bedingten Anteil erfaßt, gilt  $C_{\text{Ber},r}^U \equiv 0$ .)

$W$  : Beregnungsrate in  $\text{l m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)

$f_w$  : Anteil der bei der Beregnung auf der Pflanze abgelagerten Aktivität, s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)

$Y_n$  : Ertrag bzw. Bewuchsdichte (FM) in  $\text{kg m}^{-2}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)

$\lambda_{\text{eff},\text{Pf},r}$  : Effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklides  $r$  auf der Pflanze in  $\text{s}^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)

$t_{n,w}$  : Zeit, in der Pflanzen während der Wachstumsperiode durch Beregnung oberirdisch kontaminiert werden in  $\text{s}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)

### 5.2.3 Pflanzen über den Luftpfad - Pfad A

Aus der Bodenkontaminationsrate  $\dot{B}_r$ , die sich aus der Ablagerung des an Staub gebundenen Radionuklides r ergibt, ist die spezifische Aktivität  $C_{A,n,r}$  in den in der Umgebung bergbaulicher Anlagen oder Einrichtungen wachsenden Pflanzen wie folgt zu ermitteln:

$$C_{A,n,r} = \left( \dot{B}_r - \dot{B}_r^U \right) \frac{1 - e^{-\lambda_{\text{eff},Pf,r} t_{n,e}}}{Y_n \lambda_{\text{eff},Pf,r}} \quad (5.5)$$

Hierbei bedeuten:

$\dot{B}_r$ : Bodenkontaminationsrate, die sich aus der trockenen Ablagerung des an Staub gebundenen Radionuklides r ergibt, in  $\text{Bq m}^{-2} \text{s}^{-1}$

$\dot{B}_r^U$ : Natürliche Untergrund - Bodenkontaminationsrate des Radionuklides r in  $\text{Bq m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV.7](#)

(Sofern  $\dot{B}_r$  aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der [Gleichung \(5.5a\)](#) ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfaßt, gilt  $\dot{B}_r^U \equiv 0$ ).

$Y_n$ : Ertrag bzw. Bewuchsdichte (FM) in  $\text{kg m}^{-2}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)

$\lambda_{\text{eff},Pf,r}$ : Effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklides r auf der Pflanze in  $\text{s}^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)

$t_{n,e}$ : Kontaminationszeit für Pflanzen der Gruppe n während der Wachstumsperiode in s, s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)

*Hinweis:*

Die Bodenkontaminationsrate kann, soweit kein standortspezifischer Wert vorliegt, mittels eines Referenzwertes der Ablagerungsgeschwindigkeit  $v_g$  aus der Aktivitätskonzentration  $C_{\text{Luft},r}$  des Radionuklides  $r$  in der bodennahen Außenluft (s. Teil II., Ziff. 2) wie folgt abgeschätzt werden:

$$\dot{B}_r = v_g (C_{\text{Luft},r} - C_{\text{Luft},r}^U) \quad (5.5a)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeutet hier:

$v_g$ : Ablagerungsgeschwindigkeit in  $\text{m s}^{-1}$

Es gilt:  $v_g = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$

### 5.3 Milch und Milchprodukte sowie Fleisch und Fleischwaren

Bei der Ermittlung der spezifischen Aktivität  $C_{n,r}$  des Radionuklides  $r$  im Lebensmittel Milch ( $n = \text{Mi}$ ) und Fleisch ( $n = \text{Fl}$ ) werden folgende Teilpfade betrachtet:

- \* Verzehr von Futterpflanzen einschließlich der damit verbundenen direkten Aufnahme von Boden sowie
- \* Viehtränke

Es ist:

$$C_{n,r} = \left\{ (C_{\text{Wd},r} - C_{\text{Wd},r}^{\text{U}}) M_{\text{Fu}} + (C_{\text{Bo},r} - C_{\text{Bo},r}^{\text{U}}) M_{\text{Bo}} f_p + (C_{\text{Tränke},r} - C_{\text{Tränke},r}^{\text{U}}) L \right\} T_{n,r} \quad (5.6)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$C_{\text{Wd},r}$  : Spezifische Aktivität des Radionuklides  $r$  in Weidepflanzen in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (FM). Die Berechnung erfolgt nach [Gleichung \(5.2a\)](#) oder [\(5.2b\)](#).

$C_{\text{Wd},r}^{\text{U}}$  : Spezifische natürliche Untergrund-Aktivität des Radionuklides  $r$  in Weidepflanzen in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (FM), s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV.6](#) (Sofern  $C_{\text{Wd},r}$  aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der [Gleichungen \(5.2a\)](#) bzw. [\(5.2b\)](#) ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $C_{\text{Wd},r}^{\text{U}} \equiv 0$ ).

$C_{\text{Tränke},r}$  : Aktivitätskonzentration des Radionuklides  $r$  im für die Viehtränke verwendeten Wasser in  $\text{Bq l}^{-1}$

$C_{\text{Tränke},r}^{\text{U}}$  : Natürliche Aktivitätskonzentration des Radionuklides  $r$  im für die Viehtränke verwendeten Wasser in  $\text{Bq l}^{-1}$ , s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV.5](#) (Sofern  $C_{\text{Tränke},r}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $C_{\text{Tränke},r}^{\text{U}} \equiv 0$ ).

$M_{\text{Fu}}$  : Tägliche Aufnahme von Weidefutter für Rindvieh in  $\text{kg (FM) d}^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)

$M_{\text{Bo}}$  : Tägliche Bodenaufnahme des Rindviehs beim Grasens auf der Weide in  $\text{kg(TM) d}^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)

- $f_p$ : Bruchteil des Jahres, in dem Tiere auf der Weide grasen, s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)
- $L$ : Täglicher Wasserkonsum des Rindviehs in  $l\ d^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)
- $T_{n,r}$ : Transferfaktor vom Futter, Tränkewasser und aufgenommenen Boden zur Milch ( $n = Mi$ ) bzw. zum Fleisch ( $n = FI$ ) für das Radionuklid  $r$  in  $d\ kg^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 3](#)

## 5.4 Muttermilch

Die spezifische Aktivität  $C_{MM,r}$  des Radionuklides  $r$  in der Muttermilch wird wie folgt berechnet:

$$C_{MM,r} = \frac{T_{MM,r}}{360} \sum_n p_n (C_{n,r} - C_{n,r}^U) U_{n,>17a} \quad (5.7)$$

Hierin bedeuten:

- $C_{MM,r}$  : Spezifische Aktivität des Radionuklides  $r$  in der Muttermilch in  $Bq\ l^{-1}$
- $p_n$  : Anteil an lokaler Produktion des Lebensmittels  $n$  am Jahresverbrauch, dimensionslos, s. [Anlage III, Tab. III. 4](#)
- $C_{n,r}$  : Spezifische Aktivität in  $Bq\ kg^{-1}$  bzw. Aktivitätskonzentration in  $Bq\ l^{-1}$  des Radionuklides  $r$  im Lebensmittel  $n$
- $C_{n,r}^U$  : Spezifische natürliche Untergrund - Aktivität in  $Bq\ kg^{-1}$  bzw. - Aktivitätskonzentration in  $Bq\ l^{-1}$  des Radionuklides  $r$  im Lebensmittel  $n$ , s. [Teil I., Ziff. 3](#) bzw. [Anlage IV, Tab. IV.3](#)  
(Sofern  $C_{n,r}$  aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der in Teil II., Ziffn. 5.1 bis 5.3 angegebenen Gleichungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfaßt, gilt  $C_{n,r}^U \equiv 0$ ).
- $T_{MM,r}$  : Transferfaktor vom Lebensmittel zur Muttermilch für das Radionuklid  $r$  in  $d\ kg^{-1}$ , s. [Anlage III, Tab. III. 3](#)
- $U_{n,>17a}$  : Jahresverbrauch des Lebensmittels  $n$  durch die Referenzperson "> 17 a" in  $kg$ , s. [Anlage III, Tab. III. 2](#)

## Anlage I

**Parameter zur Berechnung der äußeren Strahlenexposition durch Aufenthalt im Freien und in Gebäuden**

Tab. I. 1

Umrechnungsfaktor  $f_{\text{Kon},j}$  von Photonen-Äquivalentdosis in effektive Dosis für die Referenzperson  $j$  [1], [2]:

Referenzperson	$f_{\text{Kon},j}$
≤ 1 a	0,8
1 - 2 a	0,7
2 - 7 a	0,7
7 - 12 a	0,7
12 -17 a	0,6
> 17 a	0,6

[1] Petoussi et al.  
Organ Doses for Foetuses, Babies, Children and Adults from Environmental Gamma Rays.  
Radiation Protection Dosimetry, **37**, pp 31-41 (1991)

[2] Saito et al.  
Organ Doses as a Function of Body Weight for Environmental Gamma Rays.  
Journal of Nuclear Science and Technology, **28** (7), pp 627-647 (July 1991)

Tab. I. 2

Jährliche Expositionszeit  $t_{Exp,j,s}$  für verschiedene Expositionsorte  $s$  und Referenzpersonen  $j$ :

Expositionsort	Referenzperson	Expositionszeit $t_{Exp,j,s}$ [h]
1. In Gebäuden	Beschäftigter <sup>1)</sup> Bevölkerung <sup>2)</sup>	bis 2000 7000
2. Im Freien:	Beschäftigter <sup>1)</sup> Bevölkerung <sup>2)</sup>	bis 2000 bis 2000
Dabei entfallen für die Einzelperson der Bevölkerung, je nach örtlichen Gegebenheiten, auf:		
2.1 unkultivierte Halden	≤ 1 a 1 - 2 a 2 - 7 a 7 - 12 a 12 -17 a > 17 a	0 0 250 250 250 100
2.2 Gärten	Bevölkerung <sup>2)</sup>	1000
2.3 Straßen, Plätze u.ä.	Bevölkerung <sup>2)</sup>	1000
2.4 Spielplätzen, Parkanlagen u.ä.	Bevölkerung <sup>2)</sup>	1000

<sup>1)</sup> Die Summe der Expositionszeiten bei Tätigkeiten im Freien und in Gebäuden darf insgesamt 2000 h nicht überschreiten.

<sup>2)</sup> alle Altersgruppen

## Anlage I

Tab. I. 3

Faktor  $a_{x,s}$  zur Berücksichtigung der Abschirmwirkung auf Gammastrahlung am Expositionsort  $s$

Expositionsort	$a_{x,s}$
1. Im Freien	1
2. In Gebäuden	
2.1 Gebäude - Massivbau (Ziegel, Beton, Naturstein, Fachwerk u.ä.)	0,1 [1]
2.2 Gebäude - Leichtbau (Holz, Fertighaus u.ä.)	0,3 [1]

[1] Meckbach, R.

GSF (Veröffentlichung in Vorbereitung)

## Anlage II

**Parameter zur Berechnung der inneren Strahlenexposition durch Inhalation von Staub beim Aufenthalt im Freien und in Gebäuden**

Tab. II. 1

Atemrate  $\dot{V}_j$  der Referenzperson j:

Referenzperson	Atemrate $V_j$ in $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$
$\leq 1 \text{ a}$	0,12 [1]
1 - 2 a	0,22 [1]
2 - 7 a	0,36 [1]
7 - 12 a	0,64 [1]
12 -17 a	0,84 [1]
> 17 a	0,93 [1]
Beschäftigter	1,2 [2]

[1] ICRP Publication 71

[2] ICRP Publication 68

Tab. II. 2

Inhalationsdosiskoeffizient <sup>1)</sup>  $g_{\text{Inh},r,j}$  für das Radionuklid r sowie Inhalationsdosiskoeffizient  $g_{\text{Inh},j}$  des Radionuklidgemisches <sup>2)</sup> für die Referenzperson j:

Radionuklid	$g_{\text{Inh},r,j}$ [Sv Bq <sup>-1</sup> ] und $g_{\text{Inh},j}$ [Sv Bq <sup>-1</sup> ] [1]			
	≤ 1 a	1 - 2 a	2 - 7 a	7 - 12 a
Uranreihe:				
U -238	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$9,4 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$
U -234	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$
Th-230	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Ra-226	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$
Pb-210	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Po-210	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$
Actiniumreihe:				
U -235	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$
Pa-231	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Ac-227	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$
Thoriumreihe:				
Th-232	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$
Ra-228	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$
Th-228	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$
Gemisch <sup>2)</sup>	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$

[1] Richtlinie 96/26/Euratom des Rates vom 13.Mai 1996

<sup>1)</sup> Dosiskoeffizienten gelten für die Lungenabsorptionsklasse M (für Th die Klasse S) nach ICRP Publikation 71 (§ 58). Für Ac gilt die Lungenabsorptionsklasse F.

<sup>2)</sup> Die Dosiskoeffizienten für Gemisch berücksichtigen nur die Uran-Radium- und Uran-Actinium-Reihe und wurden unter der Annahme eines natürlichen Aktivitätsverhältnisses der beiden genannten Reihen im radioaktiven Gleichgewicht von 20:1 berechnet nach:

$$g_{\text{Inh},j} = g_{\text{Inh},\text{U-238},j} + g_{\text{Inh},\text{U-234},j} + g_{\text{Inh},\text{Th-230},j} + g_{\text{Inh},\text{Ra-226},j} + g_{\text{Inh},\text{Pb-210},j} + g_{\text{Inh},\text{Po-210},j} + \\ + 0,05 \cdot (g_{\text{Inh},\text{U-235},j} + g_{\text{Inh},\text{Pa-231},j} + g_{\text{Inh},\text{Ac-227},j})$$

Tab. II. 2 (Fortsetzung)

Inhalationsdosiskoeffizient <sup>1)</sup>  $g_{\text{Inh},r,j}$  für das Radionuklid r sowie Inhalationsdosiskoeffizient  $g_{\text{Inh},j}$  des Radionuklidgemisches <sup>2)</sup> für die Referenzperson j:

Radionuklid	$g_{\text{Inh},r,j} [\text{Sv Bq}^{-1}]$ und $g_{\text{Inh},j} [\text{Sv Bq}^{-1}]$ [1]		
	12 - 17 a	> 17 a	Beschäftigter <sup>3)</sup>
<b>Uranreihe:</b>			
U -238	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$
U -234	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$
Th-230	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$
Ra-226	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
Pb-210	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Po-210	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
<b>Actiniumreihe:</b>			
U -235	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
Pa-231	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$8,9 \cdot 10^{-5}$
Ac-227	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$
<b>Thoriumreihe</b>			
Th-232	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Ra-228	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Th-228	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$
Gemisch <sup>2)</sup>	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$

[1] Richtlinie 96/26/Euratom des Rates vom 13.Mai 1996

<sup>1)</sup> Dosiskoeffizienten gelten für die Lungenabsorptionsklasse M (für Th die Klasse S) nach ICRP Publikation 71 (§ 58). Für Ac gilt die Lungenabsorptionsklasse F.

<sup>2)</sup> Die Dosiskoeffizienten für Gemisch berücksichtigen nur die Uran-Radium- und Uran-Actinium-Reihe und wurden unter der Annahme eines natürlichen Aktivitätsverhältnisses der beiden genannten Reihen im radioaktiven Gleichgewicht von 20:1 berechnet nach:

$$g_{\text{Inh},j} = g_{\text{Inh},\text{U-238},j} + g_{\text{Inh},\text{U-234},j} + g_{\text{Inh},\text{Th-230},j} + g_{\text{Inh},\text{Ra-226},j} + g_{\text{Inh},\text{Pb-210},j} + g_{\text{Inh},\text{Po-210},j} + \\ + 0,05 \cdot (g_{\text{Inh},\text{U-235},j} + g_{\text{Inh},\text{Pa-231},j} + g_{\text{Inh},\text{Ac-227},j})$$

<sup>3)</sup> AMAD = 5  $\mu\text{m}$

## Anlage III

**Parameter zur Berechnung der inneren Strahlenbelastung durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel und von Boden**

Tab. III. 1

Ingestionsdosiskoeffizient  $g_{\text{Ing},r,j}$  für das Radionuklid  $r$  sowie Ingestionsdosiskoeffizient  $g_{\text{Ing},j}$  des Radionuklidgemisches <sup>1)</sup> für die Referenzperson  $j$ :

Radionuklid	$g_{\text{Ing},r,j}$ [Sv Bq <sup>-1</sup> ] und $g_{\text{Ing},j}$ [Sv Bq <sup>-1</sup> ] [1]			
	≤ 1 a	1 - 2 a	2 - 7 a	7 - 12 a
Uranreihe:				
U -238	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$8,0 \cdot 10^{-8}$	$6,8 \cdot 10^{-8}$
U -234	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$8,8 \cdot 10^{-8}$	$7,4 \cdot 10^{-8}$
Th-230	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$4,1 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$
Ra-226	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$9,6 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^{-7}$	$8,0 \cdot 10^{-7}$
Pb-210	$8,4 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$
Po-210	$2,6 \cdot 10^{-5}$ [ $5,2 \cdot 10^{-6}$ ] <sup>2)</sup>	$8,8 \cdot 10^{-6}$ [ $1,8 \cdot 10^{-6}$ ] <sup>2)</sup>	$4,4 \cdot 10^{-6}$ [ $8,8 \cdot 10^{-7}$ ] <sup>2)</sup>	$2,6 \cdot 10^{-6}$ [ $5,2 \cdot 10^{-7}$ ] <sup>2)</sup>
Actiniumreihe:				
U -235	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$8,5 \cdot 10^{-8}$	$7,1 \cdot 10^{-8}$
Pa-231	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$9,2 \cdot 10^{-7}$
Ac-227	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Thoriumreihe:				
Th-232	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$
Ra-228	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$
Th-228	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$
Gemisch <sup>1)</sup>	$4,6 \cdot 10^{-5}$ [ $2,5 \cdot 10^{-5}$ ] <sup>3)</sup>	$1,4 \cdot 10^{-5}$ [ $7,2 \cdot 10^{-6}$ ] <sup>3)</sup>	$7,9 \cdot 10^{-6}$ [ $4,4 \cdot 10^{-6}$ ] <sup>3)</sup>	$5,8 \cdot 10^{-6}$ [ $3,7 \cdot 10^{-6}$ ] <sup>3)</sup>

[1] Richtlinie 96/26/Euratom des Rates vom 13.Mai 1996

<sup>1)</sup> Die Dosiskoeffizienten für Gemisch berücksichtigen nur die Uran-Radium- und Uran-Actinium-Reihe und wurden unter der Annahme eines natürlichen Aktivitätsverhältnisses der beiden genannten Reihen im radioaktiven Gleichgewicht von 20:1 berechnet nach:

$$g_{\text{Ing},j} = g_{\text{Ing},\text{U-238},j} + g_{\text{Ing},\text{U-234},j} + g_{\text{Ing},\text{Th-230},j} + g_{\text{Ing},\text{Ra-226},j} + g_{\text{Ing},\text{Pb-210},j} + g_{\text{Ing},\text{Po-210},j} + 0,05 \cdot (g_{\text{Ing},\text{U-235},j} + g_{\text{Ing},\text{Pa-231},j} + g_{\text{Ing},\text{Ac-227},j})$$

<sup>2)</sup> Dosiskoeffizient für Po-210 bei der Ermittlung der Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch Direktingestion von Boden. Zur Ableitung dieses Wertes wurde das in anorganischer Form vorliegende Polonium zugrunde gelegt und der Dosiskoeffizient entsprechend ICRP Publikation 67 (§§ 113-114) ermittelt (1/5 des in [1] genannten Wertes).

<sup>3)</sup> Dosiskoeffizient für das Gemisch bei der Ermittlung der Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch Direktingestion von Boden.

Tab. III. 1 (Fortsetzung)

Ingestionsdosiskoeffizient  $g_{\text{Ing},r,j}$  für das Radionuklid  $r$  sowie Ingestionsdosiskoeffizient  $g_{\text{Ing},j}$  des Radionuklidgemisches <sup>1)</sup> für die Referenzperson  $j$ :

Radionuklid	$g_{\text{Ing},r,j}$ [Sv Bq <sup>-1</sup> ] und $g_{\text{Ing},j}$ [Sv Bq <sup>-1</sup> ] [1]		
	12 - 17 a	> 17 a	Beschäftigter
Uranreihe:			
U -238	$6,7 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$4,4 \cdot 10^{-8}$
U -234	$7,4 \cdot 10^{-8}$	$4,9 \cdot 10^{-8}$	$4,9 \cdot 10^{-8}$
Th-230	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$
Ra-226	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
Pb-210	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$6,9 \cdot 10^{-7}$	$6,8 \cdot 10^{-7}$
Po-210	$1,6 \cdot 10^{-6}$ $[3,2 \cdot 10^{-7}]$ <sup>2)</sup>	$1,2 \cdot 10^{-6}$ $[2,4 \cdot 10^{-7}]$ <sup>2)</sup>	$2,4 \cdot 10^{-7}$
Actiniumreihe:			
U -235	$7,0 \cdot 10^{-8}$	$4,7 \cdot 10^{-8}$	$4,6 \cdot 10^{-8}$
Pa-231	$8,0 \cdot 10^{-7}$	$7,1 \cdot 10^{-7}$	$7,1 \cdot 10^{-7}$
Ac-227	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Thoriumreihe:			
Th-232	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$
Ra-228	$5,3 \cdot 10^{-6}$	$6,9 \cdot 10^{-7}$	$6,7 \cdot 10^{-7}$
Th-228	$9,4 \cdot 10^{-8}$	$7,2 \cdot 10^{-8}$	$7,0 \cdot 10^{-8}$
Gemisch <sup>1)</sup>	$5,5 \cdot 10^{-6}$ $[4,2 \cdot 10^{-6}]$ <sup>3)</sup>	$2,6 \cdot 10^{-6}$ $[1,6 \cdot 10^{-6}]$ <sup>3)</sup>	$1,6 \cdot 10^{-6}$

[1] Richtlinie 96/26/Euratom des Rates vom 13.Mai 1996

<sup>1)</sup> Die Dosiskoeffizienten für Gemisch berücksichtigen nur die Uran-Radium- und Uran-Actinium-Reihe und wurden unter der Annahme eines natürlichen Aktivitätsverhältnisses der beiden genannten Reihen im radioaktiven Gleichgewicht von 20:1 berechnet nach:

$$g_{\text{Ing},j} = g_{\text{Ing},\text{U-238},j} + g_{\text{Ing},\text{U-234},j} + g_{\text{Ing},\text{Th-230},j} + g_{\text{Ing},\text{Ra-226},j} + g_{\text{Ing},\text{Pb-210},j} + g_{\text{Ing},\text{Po-210},j} + \\ + 0,05 \cdot (g_{\text{Ing},\text{U-235},j} + g_{\text{Ing},\text{Pa-231},j} + g_{\text{Ing},\text{Ac-227},j})$$

<sup>2)</sup> Dosiskoeffizient für Po-210 bei der Ermittlung der Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch Direktiongestion von Boden. Zur Ableitung dieses Wertes wurde das in anorganischer Form vorliegende Polonium zugrunde gelegt und der Dosiskoeffizient entsprechend ICRP Publikation 67 (§§ 113-114) ermittelt (1/5 des in [1] genannten Wertes).

<sup>3)</sup> Dosiskoeffizient für das Gemisch bei der Ermittlung der Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch Direktiongestion von Boden.

Tab. III. 2

Jahresverbrauch  $U_{n,j}$  der Referenzperson  $j$  für verschiedene Lebensmittel  $n$ :

Lebensmittel	Jahresverbrauch $U_{n,j}$ [1]					
	$\leq 1$ a	1 - 2 a	2 - 7 a	7 - 12 a	12 -17 a	$> 17$ a
Trinkwasser	55 l	65 l	250 l	440 l	440 l	440 l
Fisch (Süßwasser)	0,5 kg	3 kg	3 kg	4,5 kg	5 kg	7,5 kg
Säuglingsmilchnahrung oder Muttermilch <sup>1)</sup>	185 kg	-	-	-	-	-
Milch (einschließlich Milchprodukte)	45 kg	125 kg	160 kg	170 kg	170 kg	130 kg
Fleisch (einschließlich Fleischwaren)	5 kg	13 kg	50 kg	65 kg	80 kg	90 kg
Pflanzliche Produkte davon entfallen auf:	75 kg	138 kg	227 kg	259 kg	271 kg	253 kg
- Getreide, Getreideprodukte	12 kg	30 kg	80 kg	95 kg	110 kg	110 kg
- Frischobst, Obstprodukte, Säfte	25 kg	45 kg	65 kg	65 kg	60 kg	35 kg
- Kartoffeln, Wurzelgemü- se, Säfte	30 kg	40 kg	45 kg	55 kg	55 kg	55 kg
- Blattgemüse	3 kg	6 kg	7 kg	9 kg	11 kg	13 kg
- Gemüse, Gemüsepro- dukte, Säfte	5 kg	17 kg	30 kg	35 kg	35 kg	40 kg

[1] M.Steiner, Vorschlag zur Ergänzung der AVV zu § 45 StrlSchV, 98(1549)SSK/S4-146/U1

<sup>1)</sup> alternativ zu berücksichtigen (s. Teil I., Ziff. 2.6.3 d)

Tab. III. 3

Transferfaktoren  $T_{n,r}$  für Weidegras und Lebensmittel sowie Konzentrationsfaktoren  $T_{Fi,r}$  für Fischfleisch für das Radionuklid r:

Element	$T_{Wd,r}^{1)}$ [Bq kg <sup>-1</sup> (FM) / Bq kg <sup>-1</sup> (TM)]	$T_{Bl,r}; T_{Pf,r}^{1)}$	$T_{Mi,r}$ [d kg <sup>-1</sup> ]	$T_{Fl,r}$ [d kg <sup>-1</sup> ]	$T_{MM,r}$ [d kg <sup>-1</sup> ]	$T_{Fi,r}$ [l kg <sup>-1</sup> ]
U	$3 \cdot 10^{-3}$ [2]	$3 \cdot 10^{-3}$ [2]	$5 \cdot 10^{-4}$ [1]	$4 \cdot 10^{-4}$ [1]	$1 \cdot 10^{-2}$ [3]	2 [1]
Pa	$3 \cdot 10^{-3}$ [1]	$3 \cdot 10^{-3}$ [1]	$5 \cdot 10^{-6}$ [1]	$5 \cdot 10^{-3}$ [1]	$1 \cdot 10^{-4}$ [3]	30 [1]
Th	$2 \cdot 10^{-3}$ [2]	$5 \cdot 10^{-4}$ [2]	$5 \cdot 10^{-6}$ [1]	$2 \cdot 10^{-4}$ [1]	$1 \cdot 10^{-4}$ [3]	30 [1]
Ac	$3 \cdot 10^{-3}$ [1]	$3 \cdot 10^{-3}$ [1]	$2 \cdot 10^{-5}$ [1]	$3 \cdot 10^{-3}$ [2]	$5 \cdot 10^{-4}$ [3]	30 [1]
Ra	$1 \cdot 10^{-2}$ [2]	$5 \cdot 10^{-3}$ [2]	$3 \cdot 10^{-3}$ [1]	$9 \cdot 10^{-4}$ [1]	$8 \cdot 10^{-2}$ [3]	10 [1]
Pb	$1 \cdot 10^{-2}$ [2]	$7 \cdot 10^{-3}$ [2]	$3 \cdot 10^{-4}$ [1]	$4 \cdot 10^{-4}$ [1]	$5 \cdot 10^{-2}$ [3]	60 [1]
Po	$1 \cdot 10^{-2}$ [2]	$5 \cdot 10^{-3}$ [2]	$3 \cdot 10^{-4}$ [1]	$5 \cdot 10^{-3}$ [1]	$8 \cdot 10^{-3}$ [3]	300 [1]

[1] AVV (Richtlinie zu § 45 StrlSchV)

[2] G. Pröhl, Allgemeine Werte der spezifischen Aktivität (Weidegras, Lebensmittel), 98(1538)SSK/S4-144/U7

[3] M.Steiner, Vorschlag zur Ergänzung der AVV zu § 45 StrlSchV, 98(1549)SSK/S4-146/U1

<sup>1)</sup> Diese Transferfaktoren berücksichtigen nicht nur die Aufnahme von Radionukliden über die Wurzeln, sondern auch durch oberirdische Pflanzenteile aufgrund lokaler Kontamination.

Tab. III. 4

Werte zur Berechnung des Radionuklidtransportes [1]:

Symbol	Definition	Wert
$f_p$	Bruchteil des Jahres, in dem Tiere auf der Weide grasen	0,5
$f_w$	Anteil der bei der Beregnung auf der Pflanze abgelagerten Aktivität	0,3
L	täglicher Wasserkonsum des Rindviehs	75 l d <sup>-1</sup>
$M_{Fu}$	tägliche Aufnahme von Weidefutter (FM)	65 kg d <sup>-1</sup>
$M_{Bo}$	tägliche Bodenaufnahme des Rindviehs beim Grasens auf der Weide (TM)	0,5 kg d <sup>-1</sup>
$\rho_n$	Anteil an lokaler Produktion von Lebensmitteln n = Mi, Fi, Bi, Pf n = W, MM, SM	0,25 1
$\rho_m$	Flächentrockenmasse des Bodens m = A für Ackerboden, Gartenboden m = Wd für Weideboden	280 kg m <sup>-2</sup> 120 kg m <sup>-2</sup>
$t_{n,e}$	Kontaminationszeit für Pflanzen der Gruppe n während der Wachstumsphase n = Pf für pflanzliche Produkte ohne Blattgemüse (60 Tage) n = Bi für Blattgemüse (60 Tage) n = Wd für Weidepflanzen (30 Tage)	$5,2 \cdot 10^6$ s $5,2 \cdot 10^6$ s $2,6 \cdot 10^6$ s
$t_{n,w}$	Zeit, in der Pflanzen während der Wachstumsperiode durch Beregnung oberirdisch kontaminiert werden n = Wd Zeit bis zum erneuten Abweiden desselben Weidestücks (30 Tage) n = Pf und n = Bi mittlere Vegetationszeit von pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse und von Blattgemüse (60 Tage)	$2,6 \cdot 10^6$ s $5,2 \cdot 10^6$ s
W	Beregnungsrate während der Weidezeit und der Wachstumszeit von pflanzlichen Produkten (1 l m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	$1,2 \cdot 10^{-5}$ l m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>

[1] AVV (Richtlinie zu § 45 StrlSchV)

Tab. III. 4

Werte zur Berechnung des Radionuklidtransportes (Fortsetzung):

Symbol	Definition	Wert
$Y_n$	Ertrag bzw. Bewuchsdichte (FM) $n = Bl$ Ertrag von Blattgemüse $n = Pf$ Ertrag von pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse $n = Wd$ Bewuchsdichte von Weidepflanzen	1,6 kg m <sup>-2</sup> 2,4 kg m <sup>-2</sup> 0,85 kg m <sup>-2</sup>
$\lambda_{eff,Pf,r}$	effektive Verweilkonstante des Radionuklides r für das Verbleiben auf der Vegetation  $= \lambda_V + \lambda_r$	
$\lambda_r$	physikalische Zerfallskonstante des Radionuklides r in s <sup>-1</sup>	
$\lambda_V$	Verweilkonstante für das Verbleiben der Radionuklide auf der Vegetation (Verweilzeit 14 Tage)	$5,7 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

Tab. III. 5

Boden-Aufnahmerate  $U_{Bo,j}$  der Referenzperson j:

Referenzperson	Boden-Aufnahmerate $U_{Bo,j}$ [kg h <sup>-1</sup> ], [1]
≤ 1 a	0
1 - 2 a	$5 \cdot 10^{-5}$
2 - 7 a	$3 \cdot 10^{-5}$
7 - 12 a	$6 \cdot 10^{-6}$
12 -17 a	$6 \cdot 10^{-6}$
> 17 a	$6 \cdot 10^{-6}$
Beschäftigter	$6 \cdot 10^{-6}$

[1] Angelehnt an "Abschätzung und Beurteilung der von Bodenbelastungen auf alllastverdächtigen Flächen verursachten Exposition des Menschen -Risikoquantifizierung mit dem UMS-System-", UMS-Modell, Version 2.10, CHEMLOG / IfUA GmbH, 1998

## Anlage IV

**Allgemeine Werte der natürlichen Umweltradioaktivität**

Tab. IV. 1 (zu Teil II., Ziff. 1)

Photonen-Äquivalentdosisleistung der natürlichen Gammastrahlung im Freien

In Gegenden erhöhter natürlicher Radioaktivität gilt ein mittlerer Wert der Photon-Äquivalentdosisleistung  $\dot{H}_x^U$  im Freien in 1 m Höhe von  $120 \text{ nSv h}^{-1}$  [1]. Dieser Wert schließt den Beitrag der kosmischen Strahlung mit ein.

[1] Michel, R.

Prüfung der Dosiskoeffizienten der Tab. II.2 und III.1 und der Konsistenz der Tabellen IV.1 und IV.4 im Entwurf der Berechnungsgrundlagen Bergbau  
98 (1524) SSK/S4-143 / U 2

Tab. IV.2 (zu Teil II., Ziff. 2)

Allgemeine Werte der natürlichen Untergrund - Aktivitätskonzentration  $C_{\text{Luft},r}^{\text{U}}$  für ein an Staub gebundenes Radionuklid r:

Radionuklid	$C_{\text{Luft},r}^{\text{U}}$ [Bq m <sup>-3</sup> ]
U - 238	$1 \cdot 10^{-5}$
U - 234	$1 \cdot 10^{-5}$
Th-230	$1 \cdot 10^{-5}$
Ra-226	$1 \cdot 10^{-5}$
Pb-210	$3,1 \cdot 10^{-4}$
Po-210	$4 \cdot 10^{-5}$
U - 235	$5 \cdot 10^{-7}$
Pa-231	$5 \cdot 10^{-7}$
Ac-227	$5 \cdot 10^{-7}$
Th-232	$8 \cdot 10^{-6}$
Ra-228	$8 \cdot 10^{-6}$
Th-228	$8 \cdot 10^{-6}$

**HINWEISE:**

Die Werte für  $C_{\text{Luft},r}^{\text{U}}$  wurden aus den in Tab. IV.4 angegebenen Werten der spezifischen Aktivität in der oberen Bodenschicht und einer Staubkonzentration von  $50 \mu\text{g m}^{-3}$  berechnet. Aufgrund des radioaktiven Zerfalls von Rn-222 in der Atmosphäre wurde eine natürliche Aktivitätskonzentration von  $300 \mu\text{Bq m}^{-3}$  für das Radionuklid Pb-210 [1], [2], [3] und von  $30 \mu\text{Bq m}^{-3}$  für das Radionuklid Po-210 [4] zusätzlich berücksichtigt.

[1] Kolb, W.

Radionuclide Concentration in Ground-Level Air from 1974 to 1977 in North Germany and North Norway. PTB-Ra-9 (1978)

[2] Kolb, W.

Radionuclide Concentration in Ground-Level Air from 1978 to 1979 in North Germany and North Norway. PTB-Ra-11 (1980)

[3] Kolb, W.

Radionuclide Concentration in Ground-Level Air in 1991 in North Germany. PTB-Ra-30 (1992)

[4] Hötzl, H.; Winkler, R.

Radionuclide Concentrations in Ground-Level Air and Precipitation in South Germany from 1976 to 1982. GSF-Bericht S-956 (1983)

Tab. IV.3 (zu Teil II., Ziff. 3)

Allgemeine Werte der spezifischen natürlichen Unteground - Aktivität bzw. - Aktivitätskonzentration  $C_{n,r}^U$  des Radionuklides r im Lebensmittel n [1], [2]:

Radionuklid	$C_{n,r}^U$ [Bq kg <sup>-1</sup> ] (für Trinkwasser [Bq l <sup>-1</sup> ])					
	Trinkwasser	Milch	Fleisch	Fisch	Blattgemüse	Pflanzen o. Blattgem.
U - 238	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$
U - 234	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$
Th-230	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Ra-226	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Pb-210	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$
Po-210	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^0$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$
U - 235	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Pa-231	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Ac-227	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Th-232	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Ra-228	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Th-228	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$

[1] Bünger, Th.; Rühle, H.

Natürliche radioaktive Stoffe im Trinkwasser ausgewählter Gebiete in Sachsen und Thüringen.

Umweltradioaktivität Radioökologie Strahlenwirkungen, 25. Jahrestagung Fachverband für Strahlenschutz, Binz auf Rügen, 28. - 30. September 1993, FS-93-67-T

[2] Wichterey, K.; Wirth, E. - Allgemeine Werte der natürlichen spezifischen Aktivität von Radionukliden in Lebensmitteln. Tischvorlage zur 146. Sitzung des Ausschusses Radioökologie der SSK, 27. 11. 1998

Tab. IV.4 (zu Teil II., Ziff. 4)

Allgemeine Werte der spezifischen natürlichen Untergrund - Aktivität  $C_{Bo,r}^U$  des Radionuklides  $r$  in der oberen Bodenschicht (0 - 10 cm für Weideböden, 0 - 20 cm für Acker- und Gartenböden, 0 - 30 cm für die Berechnung der äußeren Strahlenexposition) sowie der spezifischen Aktivitäten  $C_{Bo(0,02),r}^U$  in der Staubfraktion und  $C_{Bo(0,5),r}^U$  in der Feinkornfraktion des Bodens (Trockenmasse)

Radionuklid	$C_{Bo,r}^U$ [Bq kg <sup>-1</sup> ]	$C_{Bo(0,02),r}^U$ [Bq kg <sup>-1</sup> ]	$C_{Bo(0,5),r}^U$ [Bq kg <sup>-1</sup> ]
U - 238	50	200	100
U - 234	50	200	100
Th-230	50	200	100
Ra-226	50 [1]	200	100
Pb-210	50	200	100
Po-210	50	200	100
U - 235	2	8	4
Pa-231	2	8	4
Ac-227	2	8	4
Th-232	40	160	80
Ra-228	40	160	80
Th-228	40	160	80

**HINWEISE:**

Der Wert  $C_{Bo,r}^U$  für das Radionuklid Ra-226 wurde [1] entnommen. Er gilt als gerundeter Mittelwert für Sachsen, kann aber - wie ODL-Messungen in den östlichen Bundesländern [2] gezeigt haben - auch für Thüringen und Sachsen-Anhalt angewendet werden. Für alle anderen Radionuklide der Uran-Radium- und Uran-Actinium-Reihe wurden die Werte für  $C_{Bo,r}^U$  aus  $C_{Bo,Ra-226}^U$  berechnet. Dabei wurde angenommen, daß sich beide Zerfallsreihen im radioaktiven Gleichgewicht befinden und zwischen U-238 und U-235 das natürliche Aktivitätsverhältnis vorliegt.

Der Wert  $C_{Bo,r}^U$  für das Radionuklid Th-232 wurde [1] entnommen. Er gilt als gerundeter Mittelwert für Thüringen und Sachsen und kann auch für Sachsen-Anhalt angewendet werden. Für die anderen Radionuklide der Thorium-Reihe wurden die Werte für  $C_{Bo,r}^U$  aus  $C_{Bo,Th-232}^U$  unter Annahme des radioaktiven Gleichgewichtes berechnet.

Die Werte  $C_{Bo(0,02),r}^U$  und  $C_{Bo(0,5),r}^U$  wurden für alle Radionuklide aus  $C_{Bo,r}^U$  unter Verwendung der Aufkonzentrierungsfaktoren  $AF_{0,02,r} = 4$  (s. Gl. (2.1b)) und  $AF_{0,5,r} = 2$  (s. Gl. (4.1a)) berechnet.

[1] Barthel, F.; Borsdorf, K.H.; Malinowski, D.; Thoste, V.

Die Verteilung von Radionukliden in den oberflächennahen Böden in Sachsen und Thüringen  
Z. geol. Wiss. **23** (5/6), 527 - 545, Berlin, Dezember 1995

[2] Will, W.; Borsdorf, K.H.; Mielcarek, J.; Malinowski, D.; Sarenio, O.

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in den östlichen Bundesländern Deutschlands.  
BfS-ST-13/97, 1997

Tab. IV.5 (zu Teil II., Ziff. 5)

Allgemeine Werte der natürlichen Untergrund - Aktivitätskonzentration  $C_{n,r}^U$  des Radionuklides r im Oberflächenwasser (n = OGew), im Beregnungswasser (n = Ber) und im

Viehtränkewasser (n = Tränke)

Radionuklid	$C_{n,r}^U$ [Bq l <sup>-1</sup> ]
U - 238	$2,0 \cdot 10^{-2}$
U - 234	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Th-230	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Ra-226	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Pb-210	$5,0 \cdot 10^{-2}$
Po-210	$2,0 \cdot 10^{-3}$
U - 235	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Pa-231	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Ac-227	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Th-232	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Ra-228	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Th-228	$1,0 \cdot 10^{-3}$

**HINWEIS:**

Da repräsentative Meßdaten für Oberflächen- und Grundwässer nicht vorliegen, werden die Trinkwasserwerte aus Tab. IV.3 verwendet. Diese Vorgehensweise ist konservativ, da im Trinkwasser im Mittel kleinere Aktivitätskonzentrationen gemessen werden als in Oberflächen- und Grundwässern.

Tab. IV.6 (zu Teil II., Ziff. 5)

Allgemeine Werte der spezifischen natürlichen Untergrund - Aktivität  $C_{\text{wd},r}^{\text{U}}$  des Radionuklides r im Weidegras (Feuchtmasse)

Radionuklid	$C_{\text{wd},r}^{\text{U}}$ [Bq kg <sup>-1</sup> ]
U - 238	$5,0 \cdot 10^{-2}$
U - 234	$5,0 \cdot 10^{-2}$
Th-230	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Ra-226	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Pb-210	$1,5 \cdot 10^{-1}$
Po-210	$1,5 \cdot 10^{-1}$
U - 235	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Pa-231	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Ac-227	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Th-232	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Ra-228	$1,0 \cdot 10^{-1}$
Th-228	$2,0 \cdot 10^{-2}$

**HINWEIS:**

Für die allgemeinen Werte der spezifischen natürlichen Untergrund - Aktivität in Weidegras wurden die in Tab. IV.3 genannten Werte für Blattgemüse verwendet.

Tab. IV.7 (zu Teil II., Ziff. 5)

Allgemeine Werte der natürlichen Untergrund - Bodenkontaminationsrate  $\dot{B}_r^U$  des Radionuklides r durch trockene Staubablagerung

Radionuklid	$B_r^U$ [Bq m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]
U - 238	$1 \cdot 10^{-7}$
U - 234	$1 \cdot 10^{-7}$
Th-230	$1 \cdot 10^{-7}$
Ra-226	$1 \cdot 10^{-7}$
Pb-210	$3 \cdot 10^{-6}$
Po-210	$4 \cdot 10^{-7}$
U - 235	$5 \cdot 10^{-9}$
Pa-231	$5 \cdot 10^{-9}$
Ac-227	$5 \cdot 10^{-9}$
Th-232	$8 \cdot 10^{-8}$
Ra-228	$8 \cdot 10^{-8}$
Th-228	$8 \cdot 10^{-8}$

**HINWEIS:**

Die Werte ergeben sich durch Multiplikation der  $C_{Luft,r}^U$  aus Tab. IV. 2 mit der Ablagerungsgeschwindigkeit  $v_g = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$ .