

# Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge berg- baubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen – Bergbau)

Fachbereich  
Strahlenschutz und Umwelt



Bundesamt für Strahlenschutz

BfS-SW-07/10

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-20100329966

BfS-Berichte und BfS-Schriften können von den Internetseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz unter <http://www.bfs.de> kostenlos als Volltexte heruntergeladen werden.

Salzgitter, März 2010

# **Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge berg- baubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen - Bergbau)**

**Fachbereich  
Strahlenschutz und Umwelt**

# VORWORT

Die vorliegenden Berechnungsgrundlagen-Bergbau sind das Ergebnis einer Überarbeitung und Zusammenfassung der beiden bisher separat geltenden „Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität“ und „Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität“.

Beide Unterlagen wurden Mitte der 90er Jahre vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und unter Einbeziehung externer Gutachter (Brenk Systemplanung und die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit) erarbeitet, im Radioökologieausschuss der Strahlenschutzkommission (SSK) beraten<sup>1</sup> und 1999 vom BMU an die Länder Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen versandt. Dort wurden die Berechnungsgrundlagen zur Erprobung im praktischen Vollzug überwiegend bei den Sanierungsvorhaben der Wismut GmbH angewendet.

In den letzten zehn Jahren haben beide Berechnungsgrundlagen eine weite Verbreitung gefunden und sich seit ihrem Erscheinen bei der Abschätzung der Strahlenexposition durch bergbaubedingte Umweltradioaktivität erfolgreich etabliert. Dies liegt auch darin begründet, dass hier erstmalig Berechnungsmodelle und -parameter vorgegeben wurden, die im Sinne der SSK eine „realistische, aber ausreichend konservative“ radiologische Bewertung von Interventionssituationen im Strahlenschutz ermöglichen.

Gleichwohl machten die in den letzten zehn Jahren gewonnenen Erfahrungen bei der Anwendung der Berechnungsgrundlagen sowie neuere Forschungsergebnisse eine Überarbeitung erforderlich. Besonders wurden dabei die Hinweise der Behörden der o.g. Bundesländer und der Wismut GmbH sowie von Gutachtern berücksichtigt. Die zusammengefassten und modifizierten Berechnungsgrundlagen-Bergbau wurden in den Gremien der SSK ausführlich beraten und 2009 auf der 235. Sitzung der SSK gebilligt.

Die Berechnungsgrundlagen-Bergbau beschränken sich auf die Angabe von Verfahren zur Berechnung der bergbaubedingten Strahlenexposition. Sie enthalten keine materiellen Strahlenschutzanforderungen wie z.B. Regelungen zu Sanierungszielen oder Angaben, unter welchen Voraussetzungen Sanierungsmaßnahmen gerechtfertigt oder nicht gerechtfertigt sind.

---

<sup>1</sup> Die „Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität“ wurden seinerzeit in der SSK nicht behandelt, da seit 1995 eine entsprechende Empfehlung der SSK vorlag.

# PREFACE

The present Calculation Bases Mining (Berechnungsgrundlagen Bergbau) are the result of a revision and summarization of the two "Calculation Bases for the Determination of Radiation Exposure due to Mining-caused Environmental Radioactivity (Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität)" and the "Calculation Bases for the Determination of Radiation Exposure due to Inhalation of Radon and its Short-lived Decay Products as a Result of Mining-caused Environmental Radioactivity" (Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität") which had been effective separately up to now.

Both documents were prepared in the mid-nineties by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) in cooperation with the Federal Office for Radiation Protection (BfS) involving external experts (Brenk Systemplanung and GRS, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit), discussed in the Committee Radioecology of the Commission on Radiological Protection (SSK)<sup>1</sup>, and forwarded to the Laender of Saxony, Saxony-Anhalt, and Thuringia by the BMU in 1999. In these Laender, the calculation bases were applied for the purpose of testing in practical implementation, especially in remediation projects of the Wismut GmbH.

Both these calculation bases were widespread during the last decade and have established themselves successfully in the assessment of radiation exposure from environmental radioactivity due to mining since their publication. This is essentially due to the fact that these documents were the first to specify calculation models and parameters enabling a "realistic, but sufficiently conservative" assessment of intervention situations in radiological protection according to the German Commission on Radiological Protection (SSK).

Nevertheless the experience gained during the last ten years of application of the calculation bases, as well as more recent research results necessitated a revision. This was done with particular consideration of indications made by the above Federal Laender and the Wismut GmbH as well as by experts. The summarized and modified calculation bases mining were discussed at length in the SSK-committees and passed in 2009 in the 235 meeting of the SSK.

The Calculation Bases Mining are confined to specifying procedures to calculate radiation exposure due to mining. They do not contain material radiation protection requirements such as regulations concerning remediation objectives or information as to the prerequisites for the justification of remediation operations.

---

<sup>1</sup> The SSK did not discuss the "Calculation Bases for the Determination of Radiation Exposure due to Inhalation of Radon and its Short-lived Decay Products as a Result of Mining-caused Environmental Radioactivity" (Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität") at that time because it had passed an appropriate recommendation in 1995.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegenden Berechnungsgrundlagen Bergbau dienen zur Ermittlung der bergbaubedingten Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung und von Beschäftigten und gelten sowohl für die Nutzung, Stilllegung, Sanierung und Folgenutzung bergbaulicher Anlagen und Einrichtungen als auch für die Nutzung, Sanierung und Folgenutzung von Grundstücken, die durch bergbauliche Anlagen und Einrichtungen kontaminiert sind.

In den Berechnungsgrundlagen Bergbau werden Verfahren und Parameter zur Berechnung der effektiven Dosis für den Aufenthalt in Gebäuden, an unterirdischen Arbeitsplätzen und im Freien sowie für den Verzehr von Muttermilch und lokal erzeugter Lebensmittel beschrieben. Es werden folgende Expositionspfade berücksichtigt: Äußere Exposition durch Gammastrahlung des Bodens, Exposition durch Inhalation von Staub, Exposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten, 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.

Zur Berücksichtigung der natürlicherweise vorhandenen Umweltradioaktivität bei der Einbeziehung von Messungen enthalten die Berechnungsgrundlagen Bergbau Werte des natürlichen Untergrundes aller relevanten Umweltmedien. Weiterhin wird ein einfaches Verfahren zur radiologischen Bewertung des in die Atmosphäre freigesetzten Radons beschrieben.

## **ABSTRACT**

The present “Calculation Bases Mining” serve to determine mining-caused radiation exposure of members of the public and of workers. They are applicable for the use, decommissioning, remediation, and reuse of mining plants and installations as well as for the use, remediation, and reuse of land contaminated as a result of mining plants and installations.

The “Calculation Bases Mining” describe procedures and parameters to determine effective dose indoors, at underground workplaces, and outdoor, as well as for consumption of breast milk and locally produced foodstuff. The following exposure pathways are considered: external exposure due to gamma-radiation from the soil, exposure due to inhalation of dust, exposure due to inhalation of radon and its short-lived decay products, exposure from ingestion of breast milk and locally produced foodstuff (drinking water, fish, milk and milk products, Meat and meat products, leafy vegetables, other vegetable products), and exposure due to direct ingestion of soil.

In order to account for the natural level of environmental radioactivity involved in measurements, the “Calculation Bases Mining” include levels of natural background for all relevant environmental media.

# INHALTSVERZEICHNIS

Teil I	Allgemeine Grundsätze.....	7
1	Anwendungsbereich .....	7
2	Ziele und Grundsätze zur Ermittlung der Strahlenexposition.....	8
3	Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der bergbaubedingten Strahlenexposition .....	20
Teil II	Berechnungsverfahren.....	21
1	Berechnung der äußeren Strahlenexposition durch Gammastrahlung des Bodens beim Aufenthalt im Freien und in Gebäuden.....	21
2	Berechnung der Strahlenexposition durch Inhalation von Staub beim Aufenthalt im Freien und in Gebäuden .....	23
3	Berechnung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten .....	28
4	Berechnung der Strahlenexposition durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel .....	31
5	Berechnung der Strahlenexposition durch Aufnahme von Boden (Direktingestion).....	34
6	Berechnung der spezifischen Aktivität in Lebensmitteln.....	37
Anlage I	Parameter zur Berechnung der äußeren Strahlenexposition durch Aufenthalt im Freien und in Gebäuden .....	44
Anlage II	Parameter zur Berechnung der inneren Strahlenexposition durch Inhalation von Staub beim Aufenthalt im Freien und in Gebäuden.....	47
Anlage III	Parameter zur Berechnung der inneren Strahlenexposition durch Inhalation von Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten .....	50
Anlage IV	Parameter zur Berechnung der inneren Strahlenexposition durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel und von Boden.....	51
Anlage V	Allgemeine Werte der natürlichen Umweltradioaktivität.....	57
Anlage VI	Vereinfachtes Verfahren zur Prüfung des Ausschlusskriteriums nach Teil I, Ziff. 2.3.2 a) .....	66



# TEIL I ALLGEMEINE GRUNDSÄTZE

## 1 Anwendungsbereich

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

- Nutzung, Stilllegung<sup>2)</sup>, Sanierung<sup>2)</sup> und Folgenutzung<sup>3)</sup> bergbaulicher Anlagen und Einrichtungen<sup>3)</sup>,
- Nutzung, Sanierung und Folgenutzung anderer Grundstücke, die durch bergbauliche Anlagen und Einrichtungen<sup>4)</sup> kontaminiert<sup>5)</sup> sind.

Die Berechnungsgrundlagen gelten nicht für untertägige Anlagen und Einrichtungen. Davon ausgenommen ist die Ermittlung der Strahlenexposition durch Radon und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte. 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.

---

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

<sup>2</sup> Davon ausgenommen sind Anlagen oder Betriebsstätten, deren Stilllegung oder Sanierung einer Genehmigung nach dem Atomgesetz bedarf.

<sup>3</sup> Unter Folgenutzung sollen Nutzung nach Sanierung oder Nutzungseinschränkung verstanden werden.

<sup>4</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, Ziff. 2.2).

<sup>5</sup> Eine Kontamination bedeutet hier und im Weiteren eine Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen.

## **2 Ziele und Grundsätze zur Ermittlung der Strahlenexposition**

### **2.1 Zielstellung**

Die Berechnungsgrundlagen dienen zur Ermittlung der bergbaubedingten Strahlenexposition des Menschen.

### **2.2 Grundsätze bei der Anwendung**

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. 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.

Kann das Grundwasser im Abstrom einer bergbaulichen Hinterlassenschaft durch Hausbrunnen zur Trinkwassergewinnung genutzt werden, ist abweichend von Teil I, Ziff. 2.2 Satz 1 in jedem Fall eine Grundwassernutzung zu unterstellen, sofern die Besorgnis einer Kontamination des Grundwassers nicht ausgeschlossen werden kann. Der Betrieb von Hausbrunnen erfordert u.a. einen nicht zu großen Grundwasserflurabstand, ein hinreichend nutzbares Grundwasserdargebot und eine geeignete Grundwasserqualität hinsichtlich seiner geogenen chemischen und biologischen Beschaffenheit. Eine Berücksichtigung der Strahlenexposition über den Grundwasserpfad ist nicht erforderlich, wenn das Anlegen von Hausbrunnen durch planungsrechtliche Festsetzungen oder durch die Prägung des Gebietes ausgeschlossen werden kann (s. Teil I, Ziff 2.3.2), oder wenn im Einzugsbereich einer bergbaulichen Hinterlassenschaft eine dauerhafte, anthropogen verursachte hohe Schadstoffbelastung des Grundwassers vorliegt, wegen der eine Nutzung als Trinkwasser durch behördliche Maßnahmen langfristig ausgeschlossen ist.

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.

## 2.3 Referenzpersonen und Einwirkungsstellen

Die Strahlenexposition ist für Referenzpersonen an ungünstigsten Einwirkungsstellen zu ermitteln.

### 2.3.1 Referenzpersonen

a) Referenzpersonen sind Einzelpersonen der allgemeinen Bevölkerung und Beschäftigte, für die in den Anlagen spezifische Berechnungsparameter (Dosiskoeffizienten, Dosiskonversionskoeffizienten, Atemraten, Expositionsorte, Expositionszeiten sowie Verzehr- und Aufnahmezeiten) festgelegt sind.

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 an unterirdischen Arbeitsplätzen als auch in Betriebsgebäuden oder 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 „Erwachsener“ („> 17 a“) zuzuordnen. Für diese Tätigkeiten oder Arbeiten wird unterstellt, dass sie maximal 2000 Stunden pro Jahr ausfüllen. Ein weiterer, freizeitbedingter Aufenthalt ist für diese Personen nur soweit zu berücksichtigen, wie die in der Anlage I, Tab. I. 2 angegebenen Expositionszeiten für den Aufenthalt in Gebäuden und im Freien nicht bereits durch berufliche Tätigkeiten oder Arbeiten ausgeschöpft werden.

### 2.3.2 Einwirkungsstellen

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. 2.6.4 am Jahresverbrauch von Referenzpersonen nach Anlage IV, Tab. IV. 2 abdecken.

Orte mit mittlerer jährlicher bergbaubedingter Radon-222-Konzentration bis  $5 \text{ Bq/m}^3$  gelten nicht als Einwirkungsstellen (Ausschlusskriterium). Entsprechend ist der Aufenthalt an solchen Orten bei

der Ermittlung der bergbaubedingten Strahlenexposition durch Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten nicht zu berücksichtigen.

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 diese Nutzungen 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 Bewertungskriterien

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 Expositionsszenarien und -pfade

Die Berechnungsgrundlagen berücksichtigen

die Expositionsszenarien:

- Aufenthalt in Gebäuden (Wohngebäude<sup>1</sup>, Betriebsgebäude),
- Aufenthalt an unterirdischen Arbeitsplätzen (nur Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten),
- 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 Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten,
- 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.

---

<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.

## 2.6 Vorgaben für die Ermittlung der Strahlenexposition

Bei der Anwendung der Berechnungsgrundlagen ist folgendes zu beachten:

### 2.6.1 Expositionsszenario „Aufenthalt in Gebäuden“

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 von maximal 7000 Stunden pro Jahr zugrunde zu legen. Dabei ist ggf. 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“, „Inhalation von Staub“ und „Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten“ 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),
- für den Pfad „Inhalation von Staub“ auf oder in der Umgebung (bis zu einer Entfernung von 100 m) und
- für den Pfad „Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten“ auf oder in der Umgebung (Teil I, Ziff. 2.6.1 d) ist zu beachten)

bergbaulicher Anlagen oder Einrichtungen befinden.

d) Für die Ermittlung der Radon-222-Konzentration in der Raumluft (Atemluft) für die Referenzperson der allgemeinen Bevölkerung sind zu berücksichtigen:

- Eintritt radonhaltiger Bodenluft aus dem Gebäudeuntergrund, sofern sich das Gebäude auf oder in unmittelbarer Umgebung einer bergbaulichen Anlage oder Einrichtung befindet (soweit dieser Pfad im Sinne von Teil I, Ziff. 2.2 relevant sein kann, ist der Beitrag auf der Grundlage standortspezifischer Untersuchungen im konkreten Einzelfall zu ermitteln);
- Eintritt der radonhaltigen Außenluft, sofern sich das Gebäude auf oder in der Umgebung einer bergbaulichen Anlage oder Einrichtung befindet. Teil I, Ziff. 2.3.2 a) ist zu beachten.

e) Die Berechnung der äußeren Strahlenexposition sowie der Strahlenexposition durch Eintritt der kontaminierten Außenluft in das Gebäude erfolgt auf der Grundlage von Messwerten bzw. mittels

Transportrechnungen für einen in unmittelbarer Gebäudenähe liegenden Aufpunkt im Freien. Teil I, Ziff. 2.6.7 ist zu beachten. Die abschirmende Wirkung des Gebäudes ist in den Berechnungsvorschriften (Teil II, Ziffn. 1 und 2) berücksichtigt. Für die Radon-222-Konzentration in der Raumluft ist der für Freiluft ermittelte Wert zugrunde zu legen. Für den Gleichgewichtsfaktor gelten die in der Anlage III, Tab. III.2 genannten Werte.

#### 2.6.2 Expositionsszenario „Aufenthalt an unterirdischen Arbeitsplätzen“

Beim Expositionsszenario „Aufenthalt an unterirdischen Arbeitsplätzen“ hat die Berechnung der Strahlenexposition grundsätzlich auf der Basis von arbeitsplatzbezogenen Untersuchungen zu erfolgen.

#### 2.6.3 Expositionsszenario „Aufenthalt im Freien“

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“, „Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten“ 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
- für den Pfad „Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten“ auf oder in der Umgebung (Teil I, Ziff. 2.3.2 a) ist zu beachten) von und
- für den Pfad „Direktingestion von Boden“ auf

bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen befinden.

d) Erfolgt die Ermittlung der Strahlenexposition unter Zugrundelegung von Messwerten der Radon-222-Konzentration oder konservativen Schätzwerten gemäß Anlage VI, so gelten für den Gleichgewichtsfaktor des bergbaubedingten Radons die in der Anlage III, Tab. III.2 genannten Werte.

#### 2.6.4 Expositionsszenario „Verzehr lokal erzeugter Lebensmittel“

a) Beim Expositionsszenario „Verzehr lokal erzeugter Lebensmittel“ ist in der Regel anzunehmen, dass der in Anlage IV, Tab. IV. 2 angegebene jährliche Verzehr landwirtschaftlicher Produkte (Fisch, Milch und Milchprodukte, Fleisch und Fleischwaren, Blattgemüse, sonstige pflanzliche Produkte) nur zu 50 % durch Lebensmittel abgedeckt wird, die durch die bergbauliche Hinterlassenschaften kontaminiert sind (Anteil an lokaler Produktion). Für den Verzehr von Getreide ist in der Regel kein Anteil an lokaler Produktion anzunehmen. 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 - Muttermilch
  - 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,
- 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 und
- beim Kontaminationsweg „Freisetzung mit dem Wasser“ das Grundwasser kontaminiert werden kann oder ein Oberflächengewässer mittlere Durchflussraten von mindestens  $50 \text{ l s}^{-1}$  aufweist. Diese Einschränkung und die folgenden Einschränkungen für Oberflächengewässer gelten nur, wenn keine Wasserspeicherung erfolgt:
  - Bei mittleren Durchflussraten zwischen  $50 \text{ l s}^{-1}$  und  $500 \text{ l s}^{-1}$  sind nur die Teilpfade „Beregnung-Pflanze“, „Beregnung-Pflanze-Muttermilch“, „Viehtränke-Kuh-Milch“, „Viehtränke-Kuh-Milch-Muttermilch“, „Viehtränke-Tier-Fleisch“ und „Viehtränke-Tier-Fleisch-Muttermilch“ relevant.
  - Für mittlere Durchflussraten zwischen  $500 \text{ l s}^{-1}$  und  $5000 \text{ l s}^{-1}$  sind zusätzlich die Teilpfade „Beregnung-Futterpflanze-Kuh-Milch“, „Beregnung-Futterpflanze-Kuh-Milch-Muttermilch“, „Beregnung-Futterpflanze-Tier-Fleisch“ und „Beregnung-Futterpflanze-Tier-Fleisch-Muttermilch“ relevant.
  - Für mittlere Durchflussraten oberhalb von  $5000 \text{ l s}^{-1}$  sind zusätzlich die Teilpfade „Trinkwasser“, „Trinkwasser-Muttermilch“, „Wasser-Fisch“ und „Wasser-Fisch-Muttermilch“ relevant.

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 „≤ 1a“ sind beide Varianten alternativ zu berücksichtigen. Dabei ist für die Variante „Verzehr von Säuglingsmilchnahrung“ davon auszugehen, dass überregional erzeugte und damit nicht kontaminierte Trockenmilch durch bergbaubedingt kontaminiertes Trinkwasser aufbereitet wird. Für die Berechnung der bergbaubedingten Strahlenexposition durch „Verzehr von Säuglingsmilchnahrung oder Muttermilch“ ist der höhere der beiden Expositionswerte zugrunde zu legen.

e) Sind beim Kontaminationsweg „Freisetzung mit dem Wasser“ Kontaminationen des Grundwassers und des Oberflächengewässers zu berücksichtigen, sind gleiche Teilpfade alternativ zu betrachten. Für die Berechnung der bergbaubedingten Strahlenexposition ist der Teilpfad mit dem höheren der beiden Expositionswerte zugrunde zu legen.

#### 2.6.5 Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten

a) In der Regel wird die bergbaubedingte Strahlenexposition maßgeblich durch die Inhalation von Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten bestimmt. Auf diesen Fall beziehen sich die nachfolgenden Ziffern 2.6.5.1 bis 2.6.5.4.

b) Zusätzlich kann zum Aufenthalt an Arbeitsplätzen die Inhalation kurzlebiger Zerfallsprodukte des Radonisotops Radon-220 zur bergbaubedingten Strahlenexposition beitragen. Die Relevanz i.S.v. Teil I, Ziff. 2.2 ist im konkreten Einzelfall zu prüfen. Dabei sind realistische Aufenthaltszeiten zugrunde zu legen. Teil I, Ziff. 2.3.1 b) bzw. c) sind zu beachten.

2.6.5.1 In die Prüfung des Ausschlusskriteriums nach Teil I, Ziff. 2.3.2 a) sind grundsätzlich alle bergbaulichen Anlagen und Standorte einzubeziehen. Teil I, Ziff. 2.6.5.4 ist zu beachten. Der Wert der bergbaubedingten Radon-222-Konzentration an Aufenthaltsorten von Referenzpersonen kann durch Messungen, mithilfe von Rechenmodellen oder als Schätzwert gemäß Anlage VI ermittelt werden. Dabei ist folgendes zu beachten:

a) Das Ausschlusskriterium gilt absolut. Eine differenzierte Anwendung unter Berücksichtigung modifizierender Faktoren wie Aufenthaltszeit oder Gleichgewichtsfaktor am Expositionsort ist nicht zulässig.

b) Messwerte der Radon-222-Konzentration enthalten neben dem bergbau-bedingten Anteil auch die natürlicherweise vorhandene Radon-222-Konzentration. Für letztere ist gemäß Teil I, Ziff. 3.2 b)  $10 \text{ Bq m}^{-3}$  ein repräsentativer Wert. Entsprechend gilt das Ausschlusskriterium bei Messwerten bis  $15 \text{ Bq m}^{-3}$  als erfüllt. Zur bergbaubedingten Strahlenexposition von Referenzpersonen der allgemeinen Bevölkerung tragen nur Aufenthalte an Expositionsorten bei, für die der repräsentative Messwert der Radon-222-Konzentration  $15 \text{ Bq m}^{-3}$  übersteigt. Für Beschäftigte ist Teil I, Ziff. 2.3.1 b) zu beachten.

2.6.5.2 Für die Anwendung von Freisetzungs- und Transportmodellen ist Teil I, Ziff. 2.6.7 zu beachten.

2.6.5.3 a) Das vereinfachte Verfahren gemäß Anlage VI dient zur konservativen Eingrenzung von Aufenthaltsorten, für die im Jahresmittel eine bergbaubedingte Radon-222-Konzentration größer  $5 \text{ Bq m}^{-3}$  nicht ausgeschlossen werden kann. Eine genauere Klärung der tatsächlichen Verhältnisse an einem Standort kann durch Messung der Radon-222-Konzentration nach Teil I, Ziff. 2.6.5.1 b) oder - soweit angemessen - durch Berechnung nach Teil I, Ziff. 2.6.7 erfolgen.

b) Das Verfahren kann für räumlich isolierte bergbauliche Hinterlassenschaften (Einzelquellen), aber auch für Quelhäufungen, die dadurch charakterisiert sind, dass die Gesamtheit aller bergbaulichen Anlagen und Einrichtungen eines Standortes zum Überschreiten des Ausschlusskriteriums von  $5 \text{ Bq m}^{-3}$  führt, angewendet werden. Ermittelt wird die bergbaubedingte Radon-222-Konzentration auf und in der Umgebung bergbaulicher Anlagen und Einrichtungen.

c) Das vereinfachte Verfahren basiert auf einer Verallgemeinerung standortspezifischer Modellrechnungen, die für Halden des Uranerzbergbaus durchgeführt wurden. Es berücksichtigt neben dem Haldentyp auch die unterschiedlichen meteorologischen und topographischen Gegebenheiten der Standorte. Das Verfahren kann für Halden und andere flächige Hinterlassenschaften, aber auch für Radon-222-Emittenten anderer Art (z.B. Schächte, Stollen) angewendet werden<sup>1</sup>.

d) Das vereinfachte Verfahren gemäß Anlage VI zur Prüfung des Ausschlusskriteriums basiert auf der Kenntnis repräsentativer Werte der bergbaubedingten Radon-222-Exhalationsrate. Die Werte der Radon-222-Exhalationsrate können durch Messungen oder mittels Freisetzungsmodellen gewonnen oder mithilfe von Näherungsformeln, die ebenfalls in der Anlage VI angegeben sind, aus repräsentativen Messwerten der spezifischen Radium-226-Aktivität oder der Gamma-Ortsdosisleistung abgeschätzt werden. Vom jeweils verwendeten Messwert ist der Anteil der natürlicherweise vorhandenen Umweltradioaktivität abzuziehen. Sofern keine standortspezifischen Werte der natürlichen Umweltradioaktivität vorliegen, können die allgemeinen Werte aus der Tabelle V.3 verwendet werden.

2.6.5.4 Das Ausschlusskriterium gilt für alle bergbaulichen Anlagen und Einrichtungen, die nachfolgenden Bedingungen genügen, als erfüllt (die Bedingungen a) und b) gelten nicht für Halden vom Typ 3 nach Anlage VI, Ziff. 1.1):

a) Fläche  $> 1 \text{ ha}$  und mittlere Radon-222-Emissionsrate  $< 2 \text{ kBq s}^{-1}$  oder

b) Fläche  $< 1 \text{ ha}$  und Radon-222-Exhalationsrate  $< 0,2 \text{ Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  oder

---

<sup>1</sup> Das vereinfachte Verfahren ist nicht anzuwenden für Halden, in denen sich - z.B. durch hohe Pyritgehalte - Haldenbrände bilden können. Der damit verbundene erhöhte Radonaustrag durch Konvektion ist von den verwendeten Modellen nicht abgedeckt.

c) Abstand vom Expositionsort > 4000 m beim Standorttyp ebenes Gelände<sup>1)</sup> oder

d) Abstand vom Expositionsort > 10000 m bei Standorttyp gebirgiges Gelände<sup>2)</sup>

Entsprechend brauchen diese bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen weder bei der Prüfung des Ausschlusskriteriums noch bei der ggf. erforderlichen bergbaubedingten Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten berücksichtigt zu werden. Das gilt grundsätzlich für alle Expositionsorte auf und außerhalb (in der Umgebung) bergbaulicher Anlagen und Einrichtungen mit nicht zu großen Inhomogenitäten der Radon-222-Exhalationsrate.

#### 2.6.6 Direktingestion von Boden

Der Expositionspfad Direktingestion von Boden ist für die Altersgruppe „≤ 1 a“ nicht zu berücksichtigen.

#### 2.6.7 Ausgangsgrößen der Expositionsrechnung

Die Expositionsrechnung basiert für alle Expositionspfade auf der Kenntnis repräsentativer Werte der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung, der spezifischen Aktivität im Boden und in Lebensmitteln, der Aktivitätskonzentration in Luft und Wasser sowie der Radonzerfallsprodukt-Konzentration bzw. potentiellen Alpha-Energie-Konzentration oder der Radon-Konzentration mit dem entsprechenden Gleichgewichtsfaktor. 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 ist oder die Messergebnisse nur schwer interpretierbar sind,
- der für eine Messung erforderliche Aufwand unangemessen hoch wäre,
- zukünftige Nutzungen zu berücksichtigen sind oder
- Veränderungen von Emissions- und Immissionsparametern anzunehmen sind,
- bei einer räumlichen Häufung von Expositionsquellen eine einzelquellenbezogene Ermittlung der Strahlenexposition erforderlich ist.

---

<sup>1</sup> Gelände mit einer Steigung bis 1:20

<sup>2</sup> Gelände mit einer Steigung oberhalb 1:20

## 2.6.8 Zu berücksichtigende Nuklide

Bei der Berechnung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität 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.

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

Soweit die Berechnung der Strahlenexposition gemäß Teil I, Ziff. 2.6.7 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.

#### **3.1 Zweistufiges Verfahren**

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 Teil II 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 V genannten allgemeinen Werte der natürlichen Umweltradioaktivität abgezogen. Bei diesen Werten handelt es sich um einen mittleren Wert der Umgebungsäquivalentdosisleistung sowie um Werte der spezifischen Aktivität in Lebensmitteln, im Boden und im Viehfutter sowie der Aktivitätskonzentration in der Freiluft, in Wässern (Trinkwasser, Viehtränkwasser, Beregnungswasser, Oberflächenwasser) und in Staub für eine durch den Bergbau unbeeinflusste Region. Soweit standortspezifische Werte der natürlichen Umweltradioaktivität gemäß Teil I, Ziff. 3.2 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.

#### **3.2 Standortspezifische Werte der natürlichen Umweltradioaktivität**

Soweit mithilfe des vereinfachten Verfahrens nach Teil I, Ziff. 3.1 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.

## TEIL II BERECHNUNGSVERFAHREN

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

Die bergbaubedingte effektive Jahresdosis  $E_{A,j}$  ist auf der Grundlage von repräsentativen Messwerten der Umgebungsäquivalentdosisleistung<sup>1)</sup> im Freien an möglichen Aufenthaltsorten  $s$  der Referenzperson  $j$  wie folgt zu berechnen:

$$E_{A,j} = f_{Kon,j} \cdot \sum_s \left( \dot{H}^*(10)_s - \dot{H}^*(10)^U \right) \cdot t_{Exp,j,s} \cdot a_s \quad (1.1)$$

$E_{A,j}$  Effektive Jahresdosis<sup>2)</sup> durch Gammastrahlung für die Referenzperson  $j$  in Sv

$\dot{H}^*(10)_s$  Umgebungsäquivalentdosisleistung im Freien in 1 m Höhe am Expositionsort  $s$  in Sv h<sup>-1</sup>

$\dot{H}^*(10)^U$  Umgebungsäquivalentdosisleistung der natürlichen Gammastrahlung im Freien in 1 m Höhe in Sv h<sup>-1</sup>, s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Ziff. V.1

(Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß Teil I, Ziff. 3.2 ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen)

$f_{Kon,j}$  Umrechnungsfaktor von Umgebungsäquivalentdosis in effektive Dosis für die Referenzperson  $j$ , s. Anlage I, Tab. I.1

$t_{Exp,j,s}$  Jährliche Aufenthaltszeit der Referenzperson  $j$  am Expositionsort  $s$  in h, s. Anlage I, Tab. I. 2

$a_s$  Faktor zur Berücksichtigung der Abschirmwirkung am Expositionsort  $s$  auf Gammastrahlung im Freien, dimensionslos, s. Anlage I, Tab. I. 3

---

<sup>1</sup> Bis zum 01. August 2011 kann für die Ortsdosisleistung auch die Messgröße Photonen-Äquivalentdosisleistung angegeben werden.

<sup>2</sup> „Effektive Jahresdosis“ bedeutet im folgenden immer nur die bergbaubedingte effektive Jahresdosis

Hinweis:

Ist die Umgebungsäquivalentdosisleistung im Freien in 1 m Höhe aus der spezifischen Aktivität der oberen Bodenschicht zu berechnen (s. Teil I, Ziff. 2.6.7 b), ergeben sich im Regelfall (s. Teil I, Ziff. 2.6.8) die entsprechenden Größen wie folgt:

$$\dot{H}^*(10)_s = C_{\text{Bo},s} \cdot g_{\text{ext}} \quad (1.2)$$

und

$$\dot{H}^*(10)^U = C_{\text{Bo}}^U \cdot g_{\text{ext}} \quad (1.3)$$

Dabei bedeuten:

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

$C_{\text{Bo}}^U$  Spezifische natürliche Untergrund-Aktivität eines Radionuklids der Uran-Radium-Reihe im radioaktiven Gleichgewicht in der oberen Bodenschicht (0 - 30 cm) in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM), s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.5

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

Es gilt:

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

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

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

Hierin bedeuten:

$E_{\text{Inh},j}$	Effektive Jahresdosis durch Inhalation von Staub für die Referenzperson $j$ in Sv
$C_{\text{Luft},r,s}$	Aktivitätskonzentration des an Staub gebundenen Radionuklids $r$ in der Außenluft für den Expositionsort $s$ in $\text{Bq m}^{-3}$
$C_{\text{Luft},r}^U$	Natürliche Untergrund-Aktivitätskonzentration des an Staub gebundenen Radionuklids $r$ in der Außenluft in $\text{Bq m}^{-3}$ , s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.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. 3.2 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. 2.6.8 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. 2.6.3 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:

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

Hierin bedeuten:

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

$C_{\text{Bo}(0,02),r}^{\text{U}}$  Spezifische natürliche Untergrundaktivität des Radionuklids  $r$  in der Staubfraktion (Teilchen mit einem Durchmesser  $< 0,02$  mm) der für die Staubbildung relevanten Bodenschicht in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM), s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.5

(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. 3.2 ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen)

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

c)

Die infolge von beruflicher Tätigkeit oder Arbeit auf bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen resultierende Aktivitätskonzentration  $C_{\text{Luft},r,s}$  kann, soweit kein standortspezifischer Wert vorliegt, mittels eines technischen Referenzwertes der Schwebstaubkonzentration von

$S_{\text{Staub}} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ kg m}^{-3}$  aus der spezifischen Aktivität des Bodens für den Expositionsort  $s$  nach Gleichung (2.1a) abgeschätzt werden.

d)

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

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

Hierin bedeuten:

$C_{\text{Bo},r,s}$  Spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in der gesamten (ungesiebten) Probe der für die Staubbildung relevanten Bodenschicht für den Expositionsort  $s$  in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM)

$C_{\text{Bo},r}^U$  Spezifische natürliche Untergrund-Aktivität des Radionuklids  $r$  in der gesamten (ungesiebten) Probe der für die Staubbildung relevanten Bodenschicht in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM), s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.5

(Sofern  $C_{\text{Bo},r,s}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $C_{\text{Bo},r}^U \equiv 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß Teil I, Ziff. 3.2 ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen)

$AF_{0,02,r}$  Aufkonzentrierungsfaktor, der das mittlere Verhältnis der spezifischen Aktivitäten des Radionuklids  $r$  der Staubfraktion und der Gesamtprobe beschreibt, dimensionslos (es gilt  $AF_{0,02,r} = 4$  für alle Radionuklide  $r$ )

e)

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:

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

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. 3.2 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

f)

Wird als Messgröße die Aktivitätskonzentration der an Staub gebundenen langlebigen Alphaaktivität genutzt, die die Summe der Aktivitätskonzentrationen der fünf Nuklide U-238, U-234, Th-230, Ra-226 und Po-210 bezeichnet, kann unter der Voraussetzung, dass die Radionuklide der U-238 Reihe im radioaktiven Gleichgewicht vorliegen, die Strahlenexposition unter Verwendung des Inhalationsdosiskoeffizienten für das Radionuklidgemisch folgendermaßen berechnet werden:

$$E_{\text{Inh},j} = \frac{1}{5} \cdot \dot{V}_j \cdot g_{\text{Inh},j} \cdot \sum_s (C_{\text{Luft,LLA},s} - C_{\text{Luft,LLA}}^U) \cdot t_{\text{Exp},j,s} \cdot a_{\text{Luft},s} \quad (2.1d)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

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

$C_{\text{Luft,LLA}}^U$  Natürliche Untergrund-Aktivitätskonzentration der an Staub gebundenen langlebigen Alphastrahler der Uran-Radium-Reihe in der Außenluft in  $\text{Bq m}^{-3}$ , s. Teil I, Ziff. 3

(Sofern  $C_{\text{Luft,LLA},s}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $C_{\text{Luft,LLA}}^U \equiv 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß Teil I, Ziff. 3.2 ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen)

Liegen die Uran-Radium-Reihe und die Uran-Actinium-Reihe nicht im radioaktiven Gleichgewicht vor und ist das relative Aktivitätsverhältnis der unter Teil II, Ziff. 2 a) genannten Nuklide bezogen auf jeder dieser Reihen untereinander bekannt, kann die Strahlenexposition unter Verwendung der langlebigen Alphaaktivität und unter den Voraussetzungen, dass zwischen U-238 und U-235 das natürliche Aktivitätsverhältnis vorliegt und die spezifische Aktivität des Nuklids U-238 > 0 ist, wie folgt berechnet werden<sup>1)</sup>:

$$E_{\text{Inh},j} = \dot{V}_j \cdot \sum_s (C_{\text{Luft,LLA},s} - C_{\text{Luft,LLA}}^U) \cdot t_{\text{Exp},j,s} \cdot a_{\text{Luft},s} \times$$

$$\times \frac{1}{(1 - p_{\text{Pb-210},s})} \cdot \left( \sum_{r=1}^6 p_{r,s} \cdot g_{\text{Inh},r,j} + 0,05 \cdot \frac{p_{\text{U-238},s}}{p_{\text{U-235},s}} \cdot \sum_{r=7}^9 p_{r,s} \cdot g_{\text{Inh},r,j} \right) \quad (2.1e)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $p_{r,s}$  Anteil eines unter Teil II, Ziff. 2 a) genannten Nuklids r der Uran-Radium-Reihe bzw. der Uran-Actinium-Reihe an der gesamten Aktivitätskonzentration der jeweiligen Reihe am Expositionsort s, wobei  $\sum_{r=1}^6 p_r = 1$  bzw.  $\sum_{r=7}^9 p_r = 1$  gilt, dimensionslos
- $p_{\text{Pb-210},s}$  Anteil des Nuklids Pb-210 an der gesamten Aktivitätskonzentration der Uran-Radium-Reihe am Expositionsort s
- $p_{\text{U-238},s}$  Anteil des Nuklids U-238 an der gesamten Aktivitätskonzentration der Uran-Radium-Reihe am Expositionsort s
- $p_{\text{U-235},s}$  Anteil des Nuklids U-235 an der gesamten Aktivitätskonzentration der Uran-Actinium-Reihe am Expositionsort s
- r Der Nuklidindex r kennzeichnet mit r = 1, 2, 3, 4, 5 und 6 die unter Teil II, Ziff. 2 a) genannten Nuklide der Uran-Radium-Reihe bzw. mit r = 7, 8 und 9 die unter Teil II, Ziff. 2 a) genannten Nuklide der Uran-Actinium-Reihe

---

<sup>1</sup> Aus den Voraussetzungen folgen  $p_{\text{U-238}} \neq 0$ ,  $p_{\text{U-235}} \neq 0$  und  $p_{\text{Pb-210}} \neq 1$

### 3 Berechnung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten

#### 3.1 Berechnung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten

Die Berechnung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten erfolgt auf der Grundlage der in der Richtlinie 96/29/Euratom vom 13. Mai 1996 genannten Dosiskonvention der ICRP 65, die es gestattet, aus der potentiellen Alpha-Energie-Exposition<sup>1)</sup> die effektive Dosis zu ermitteln. Die potentielle Alpha-Energie-Exposition kann entweder aus Werten der Radon-222-Konzentration (bei Kenntnis von Gleichgewichtsfaktor und Aufenthaltszeit) oder der potentiellen Alpha-Energie-Konzentration (bei Kenntnis der Aufenthaltszeit) bestimmt werden.

##### 3.1.1 Berechnung der Strahlenexposition auf der Grundlage von Werten der Radon-222-Konzentration

Die effektive Jahresdosis  $H_{Rn,j}$  der Referenzperson  $j$  ist aus Werten der Radon-222-Konzentration  $C_{Rn,s}$  wie folgt zu berechnen:

$$H_{Rn,j} = g_{EEC,j} \cdot \sum_s (C_{Rn,s} - C_{Rn}^U) \cdot F_{Rn,s} \cdot t_{Exp,j,s} \quad (3.1)$$

Hierbei bedeuten:

$H_{Rn,j}$  Effektive Jahresdosis durch Inhalation von Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten für die Referenzperson  $j$  in Sv

$C_{Rn,s}$  Mittlere, jährliche Radon-222-Konzentration in der Freiluft für den Expositionsort  $s$  in  $Bq\ m^{-3}$

$C_{Rn}^U$  Radon-222-Konzentration des natürlichen Untergrundes in der Freiluft in  $Bq\ m^{-3}$ , s. Teil I, Ziff. 3

(Sofern  $C_{Rn,s}$  aufgrund von Modellrechnungen nur den bergbaubedingten Anteil enthält, gilt  $C_{Rn}^U \equiv 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß Teil I, Ziff. 3.2 ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort zu berücksichtigen)

---

<sup>1)</sup> Unter potentieller Alpha-Energie-Exposition ist das Zeitintegral der potentiellen Alpha-Energie-Konzentration der kurzlebigen Radon-222-Zerfallsprodukte über die Expositionszeit zu verstehen

$F_{Rn,s}$	Faktor zur Beschreibung des radioaktiven Gleichgewichtes zwischen dem bergbaubedingten Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten am Expositionsort s (Gleichgewichtsfaktor, dimensionslos, s. Anlage III, Tab. III.2)
$g_{EEC,j}$	Dosiskonversionskoeffizient der Referenzperson j für das Produkt aus Radon-222-Exposition und Gleichgewichtsfaktor in $Sv\ m^3\ Bq^{-1}\ h^{-1}$ , s. Anlage III, Tab. III.1
$t_{Exp,j,s}$	Jährliche Aufenthaltszeit der Referenzperson j am Expositionsort s in h, s. Anlage I, Tab. I.2

### 3.1.2 Berechnung der Strahlenexposition auf der Grundlage von Werten der potentiellen Alpha-Energie-Konzentration der kurzlebigen Radon-222-Zerfallsprodukte

Die effektive Jahresdosis  $H_{Rn,j}$  der Referenzperson j ist aus Werten der potentiellen Alpha-Energie-Konzentration  $C_{pot,s}$  wie folgt zu berechnen:

$$H_{Rn,j} = g_{pot,j} \cdot \sum_s (C_{pot,s} - C_{pot}^U) \cdot t_{Exp,j,s} \quad (3.2)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$C_{pot,s}$	Mittlere, jährliche potentielle Alpha-Energie-Konzentration der kurzlebigen Radon-222-Zerfallsprodukte in der Freiluft für den Expositionsort s in $J\ m^{-3}$
$C_{pot}^U$	Potentielle Alpha-Energie-Konzentration der kurzlebigen Radon-222-Zerfallsprodukte des natürlichen Untergrundes in der Freiluft in $J\ m^{-3}$ , s. Teil I, Ziff. 3 (Sofern $C_{pot,s}$ aufgrund von Modellrechnungen nur den bergbaubedingten Anteil enthält, gilt $C_{pot}^U \equiv 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß Teil I, Ziff. 3.2 ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort zu berücksichtigen)
$g_{pot,j}$	Dosiskonversionskoeffizient der Referenzperson j für die potentielle Alpha-Energie-Exposition kurzlebiger Radon-222-Zerfallsprodukte in $Sv\ m^3\ J^{-1}\ h^{-1}$ , s. Anlage III, Tab. III.1

### 3.2 Berechnung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon-220 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten

Die Berechnung der Strahlenexposition durch Inhalation von Radon-220 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten erfolgt auf der Grundlage eines Dosiskoeffizienten, der auf dem dosimetrischen Lungenmodell nach ICRP 50 basiert. In diesen Berechnungsgrundlagen wird nur die Inhalation der kurzlebigen Zerfallsprodukte berücksichtigt, da das vom inhalieren Radon-220 verursachte Strah-

lenrisiko vernachlässigt werden kann. Der hier angegebene Dosiskoeffizient bezieht sich somit nur auf die kurzlebigen Zerfallsprodukte. Er gilt nur für die Berechnung der effektiven Dosen am Arbeitsplatz ("Beschäftigte" und Referenzperson ">17a" gemäß Teil I, Ziff. 2.3.1 b).

Die effektive Jahresdosis  $H_{\text{Rn220},j}$  der Referenzperson  $j$  ist aus Werten der potentiellen Alpha-Energie-Konzentration  $C_{\text{pot}(\text{Rn220}),s}$  wie folgt zu berechnen:

$$H_{\text{Rn220},j} = g_{\text{pot}(\text{Rn220}),j} \cdot \sum_s (C_{\text{pot}(\text{Rn220}),s} - C_{\text{pot}(\text{Rn220})}^U) \cdot t_{\text{Exp},j,s} \quad (3.3)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $H_{\text{Rn220},j}$  Effektive Jahresdosis durch Inhalation von Radon-220 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten für die Referenzperson  $j$  in Sv
- $C_{\text{pot}(\text{Rn220}),s}$  Potentielle Alpha-Energie-Konzentration der kurzlebigen Radon-220-Zerfallsprodukte in der Atemluft für den Expositionsort  $s$  in  $\text{J m}^{-3}$
- $C_{\text{pot}(\text{Rn220})}^U$  Potentielle Alpha-Energie-Konzentration der kurzlebigen Radon-220-Zerfallsprodukte des natürlichen Untergrundes in der Atemluft in  $\text{J m}^{-3}$ , s. Teil I, Ziff. 2.6.5 b)
- (Sofern  $C_{\text{pot}(\text{Rn220}),s}$  aufgrund von Modellrechnungen nur den bergbaubedingten Anteil enthält, gilt  $C_{\text{pot}(\text{Rn220}),j}^U \equiv 0$ )
- $g_{\text{pot}(\text{Rn220}),j}$  Dosiskoeffizient der Referenzperson  $j$  für die potentielle Alpha-Energie-Exposition kurzlebiger Radon-220-Zerfallsprodukte in  $\text{Sv m}^3 \text{J}^{-1} \text{h}^{-1}$  (am Arbeitsplatz gilt  $g_{\text{pot}(\text{Rn220}),j} = 0,5 \text{ Sv m}^3 \text{J}^{-1} \text{h}^{-1}$ )



## 4 Berechnung der Strahlenexposition durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel

Die Berechnung der Strahlenexposition durch Ingestion lokal erzeugter Lebensmittel soll gemäß Teil I, Ziff. 2.6.7 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. 6, die auf Werten der spezifischen Aktivität im Boden sowie der Aktivitätskonzentration im Oberflächenwasser, Berechnungs- und Viehtränkewasser basieren, auf die durch Teil I, Ziff. 2.6.7 b) erfassten Fälle begrenzt bleiben.

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

$$E_{\text{Ing},j} = \sum_n p_n \cdot U_{n,j} \cdot \sum_r (C_{n,r} - C_{n,r}^U) \cdot g_{\text{Ing},r,j} \quad (4.1)$$

Hierin bedeuten:

$E_{\text{Ing},j}$  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 Radionuklids  $r$  im Lebensmittel  $n$

$C_{n,r}^U$  Spezifische natürliche Untergrund - Aktivität in  $\text{Bq kg}^{-1}$  bzw. - Aktivitätskonzentration in  $\text{Bq l}^{-1}$  des Radionuklids  $r$  im Lebensmittel  $n$ , s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.4

(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

$n = \text{Mi}$  Milch und Milchprodukte

$n = \text{Fl}$  Fleisch und Fleischwaren

$n = \text{Fi}$  Fischfleisch

$n = \text{Gm}$  Gemüse außer Blatt- und Wurzelgemüse

$n = \text{Bl}$  Blattgemüse

n = Wg	Wurzelgemüse
n = Ob	Obst
n = W	Trinkwasser
n = MM	Muttermilch
n = SM	Säuglingsmilchnahrung

$p_n$	Anteil an lokaler Produktion des Lebensmittels n am Jahresverbrauch, dimensionslos, s. Anlage IV, Tab. IV.4
$U_{n,j}$	Jahresverbrauch des Lebensmittels n durch die Referenzperson j in kg (in l für n = W), s. Anlage IV, Tab. IV.2
$g_{\text{Ing},r,j}$	Ingestionsdosiskoeffizient für das Radionuklid r und die Referenzperson j in Sv Bq <sup>-1</sup> , s. Anlage IV, Tab. IV.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. 2.6.8 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. 2.6.4 c). Mit der Beregnungsrate von 1 l m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Anlage IV, Tab. IV.4) und der Annahme einer durchschnittlichen Beregnungsdauer von 1 h d<sup>-1</sup> ergibt sich für die Beregnung o.g. Fläche eine Mindestkapazität von 10 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Dieser Wert verringert sich entsprechend, sofern Vorrichtungen zur Wasserspeicherung genutzt werden können. Der tägliche Wasserkonsum eines Rindviehs beträgt 75 l (Anlage IV, Tab. IV.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:

$$E_{\text{Ing},n,j} = \sum_n p_n \cdot U_{n,j} \cdot \sum_r C_{n,r} \cdot \left(1 - C_{\text{Bo},r}^U / C_{\text{Bo},r}\right) \cdot g_{\text{Ing},r,j} \quad (4.1a)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$E_{\text{Ing},n,j}$	Effektive Jahresdosis für die Referenzperson j durch Ingestion des lokal erzeugten Lebensmittels n in Sv
$C_{\text{Bo},r}^U$	Spezifische natürliche Untergrund - Aktivität des Radionuklids r in der oberen Bodenschicht (0 - 10 cm für Weideboden, 0 - 30 cm für Garten- und Ackerboden) in Bq kg <sup>-1</sup> (TM), s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.5
$C_{\text{Bo},r}$	Repräsentativer Wert der spezifischen Aktivität des Radionuklids r für die obere Bodenschicht (0 - 10 cm für Weideboden, 0 - 30 cm für Garten- und Ackerboden) in Bq kg <sup>-1</sup> (TM)

d)

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

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

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

$$E_{\text{Ing,Bo},j} = U_{\text{Bo},j} \cdot \sum_s t_{\text{Exp},j,s} \cdot \sum_r (C_{\text{Bo}(0,5),r,s} - C_{\text{Bo}(0,5),r}^U) \cdot g_{\text{Ing},r,j} \quad (5.1)$$

Hierin bedeuten:

- $E_{\text{Ing,Bo},j}$  Effektive Jahresdosis für die Referenzperson  $j$  durch direkte Aufnahme von Boden in Sv
- $C_{\text{Bo}(0,5),r,s}$  Spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in der Feinkornfraktion (Teilchen mit einem Durchmesser  $< 0,5$  mm) der oberen Bodenschicht (0 - 30 cm) am Expositionsort  $s$  in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM)
- $C_{\text{Bo}(0,5),r}^U$  Spezifische natürliche Untergrund - Aktivität des Radionuklids  $r$  in der Feinkornfraktion der oberen Bodenschicht (0 - 30 cm) in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM), s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.5  
(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. 3.2 ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen)
- $U_{\text{Bo},j}$  Boden-Aufnahmerate der Referenzperson  $j$  in  $\text{kg h}^{-1}$ , s. Anlage IV, Tab. IV.5
- $t_{\text{Exp},j,s}$  Jährliche Aufenthaltszeit der Referenzperson  $j$  am Expositionsort  $s$  in h, s. Anlage I, Tab. I.2
- $g_{\text{Ing},r,j}$  Ingestionsdosiskoeffizient für das Radionuklid  $r$  und die Referenzperson  $j$  in  $\text{Sv Bq}^{-1}$ , s. Anlage IV, Tab. IV.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. 2.6.8 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  $C_{\text{Bo}(0,5),r,s}$  wie folgt berechnet werden:

$$C_{\text{Bo}(0,5),r,s} = (C_{\text{Bo},r,s} - C_{\text{Bo},r}^{\text{U}}) \cdot AF_{0,5,r} \quad (5.1a)$$

Hierin bedeuten:

$C_{\text{Bo},r,s}$  Spezifische Aktivität des Radionuklids  $r$  in der gesamten (ungesiebten) Probe der oberen Bodenschicht (0 - 30 cm) in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM)

$C_{\text{Bo},r}^{\text{U}}$  Spezifische natürliche Untergrund-Aktivität des Radionuklids  $r$  in der gesamten (ungesiebten) Probe der oberen Bodenschicht (0 - 30 cm) in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM), s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.5

(Sofern  $C_{\text{Bo},r,s}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $C_{\text{Bo},r}^{\text{U}} \equiv 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß Teil I, Ziff. 3.2 ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen)

$AF_{0,5,r}$  Aufkonzentrierungsfaktor, der das mittlere Verhältnis der spezifischen Aktivitäten des Radionuklids  $r$  der Feinkornfraktion und der Gesamtprobe beschreibt, dimensionslos (es gilt  $AF_{0,5,r} = 2$  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 spezifischen Aktivität eines der oben unter a) genannten Radionuklide aus der Uran-Radium-Reihe unter Verwendung des Ingestionsdosiskoeffizienten für das Radionuklidgemisch nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$E_{\text{Ing},j} = U_{\text{Bo},j} \cdot g_{\text{Ing},j} \cdot \sum_s (C_{\text{Bo}(0,5),s} - C_{\text{Bo}(0,5)}^{\text{U}}) \cdot t_{\text{Exp},j,s} \quad (5.1b)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

$C_{\text{Bo}(0,5),s}$  Spezifische Aktivität in der Feinkornfraktion (Teilchen mit einem Durchmesser < 0,5 mm) der oberen Bodenschicht (0 - 30 cm) am Expositionsort s für ein Radionuklid der sich im Gleichgewicht befindlichen Uran-Radium-Reihe in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM)

$C_{\text{Bo}(0,5)}^{\text{U}}$  Spezifische natürliche Untergrund - Aktivität in der Feinkornfraktion der oberen Bodenschicht (0 - 30 cm) für ein Radionuklid der sich im Gleichgewicht befindlichen Uran-Radium-Reihe in  $\text{Bq kg}^{-1}$  (TM), s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.5  
(Sofern  $C_{\text{Bo},s}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $C_{\text{Bo}}^{\text{U}} \equiv 0$ . Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß Teil I, Ziff. 3.2 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 IV Tab. IV.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 IV, Tab. IV.1 in Klammern gesetzten Dosiskoeffizienten zu verwenden.

## 6 Berechnung der spezifischen Aktivität in Lebensmitteln

### 6.1 Fischfleisch

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

$$C_{\text{Fi},r} = (C_{\text{OGew},r} - C_{\text{OGew},r}^{\text{U}}) \cdot T_{\text{Fi},r} \quad (6.1)$$

Hierin bedeuten:

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

$C_{\text{OGew},r}^{\text{U}}$  Natürliche Untergrund - Aktivitätskonzentration des Radionuklids  $r$  im Oberflächenwasser in  $\text{Bq l}^{-1}$ , s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.6  
(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 IV, Tab. IV.3

### 6.2 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:

- Pflanzen wachsen auf bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen:
  - Wurzeltransfer aus der oberen Bodenschicht und Aktivitätsablagerungen (Staub, Bodenpartikel) auf oberirdische Pflanzenteile (Pfad D)
  - Beregnung (Pfad B)

$$C_{n,r} = C_{\text{D},n,r} + C_{\text{B},n,r} \quad (6.2a)$$

- Pflanzen wachsen in der Umgebung bergbaulicher Anlagen oder Einrichtungen:
  - Staubablagerung auf oberirdische Pflanzenteile (Pfad A)
  - Beregnung (Pfad B)

$$C_{n,r} = C_{\text{B},n,r} + C_{\text{A},n,r} \quad (6.2b)$$

Hierbei bedeuten:

$C_{D,n,r}$	Spezifische Aktivität des Radionuklids r in der Pflanze n über den Pfad D in $\text{Bq kg}^{-1}$ (FM) <sup>1</sup> , s. Gleichung (6.3)
$C_{B,n,r}$	Spezifische Aktivität des Radionuklids r in der Pflanze n über den Pfad B in $\text{Bq kg}^{-1}$ (FM), s. Gleichung (6.4)
$C_{A,n,r}$	Spezifische Aktivität des Radionuklids r in der Pflanze n über den Pfad A in $\text{Bq kg}^{-1}$ (FM), s. Gleichung (6.5)

### 6.2.1 Pflanzen über den Bodenpfad - Pfad D

Aus den repräsentativen Werten der spezifischen Aktivität  $C_{\text{Bo},r}$  für die obere Bodenschicht (0 – 10 cm für Weideboden, 0 - 30 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:

$$C_{D,n,r} = T_{n,r} \cdot (C_{\text{Bo},r} - C_{\text{Bo},r}^U) \quad (6.3)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

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

### 6.2.2 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:

---

<sup>1</sup> Feuchtmasse



$$C_{B,n,r} = (C_{Ber,r} - C_{Ber,r}^U) \cdot \frac{W \cdot f_w}{Y_n \cdot \lambda_{eff,Pf,r}} \cdot (1 - e^{-\lambda_{eff,Pf,r} t_{n,w}}) \quad (6.4)$$

Hierin bedeuten:

$C_{Ber,r}$  Aktivitätskonzentration des Radionuklids r im Beregnungswasser in Bq l<sup>-1</sup>

$C_{Ber,r}^U$  Natürliche Untergrund - Aktivitätskonzentration des Radionuklids r im Beregnungswasser in Bq l<sup>-1</sup>, s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.6

(Sofern  $C_{Ber,r}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $C_{Ber,r}^U \equiv 0$ )

$W$  Beregnungsrate in l m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, s. Anlage IV, Tab. IV.4

$f_w$  Anteil der bei der Beregnung auf der Pflanze abgelagerten Aktivität, s. Anlage IV, Tab. IV.4

$Y_n$  Ertrag bzw. Bewuchsdichte (FM) in kg m<sup>-2</sup>, s. Anlage IV, Tab. IV.4

$\lambda_{eff,Pf,r}$  Effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids r auf der Pflanze in s<sup>-1</sup>, s. Anlage IV, Tab. IV.4

$t_{n,w}$  Zeit, in der Pflanzen während der Wachstumsperiode durch Beregnung oberirdisch kontaminiert werden in s, s. Anlage IV, Tab. IV.4

### 6.2.3 Pflanzen über den Luftpfad - Pfad A

Aus der Bodenkontaminationsrate  $\dot{B}_r$ , die sich aus der Ablagerung des an Staub gebundenen Radionuklids 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:

$$C_{A,n,r} = (\dot{B}_r - \dot{B}_r^U) \cdot \frac{1 - e^{-\lambda_{eff,Pf,r} t_{n,e}}}{Y_n \cdot \lambda_{eff,Pf,r}} \quad (6.5)$$

Hierin bedeuten:

$\dot{B}_r$  Bodenkontaminationsrate, die sich aus der trockenen Ablagerung des an Staub gebundenen Radionuklids r ergibt, in Bq m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>

$\dot{B}_r^U$  Natürliche Untergrund - Bodenkontaminationsrate des Radionuklids r in Bq m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.8

(Sofern  $\dot{B}_r$  aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der Gleichung (6.5a) 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 IV, Tab. IV.4
$\lambda_{\text{eff,Pf},r}$	Effektive Verweilkonstante für das Verbleiben des Radionuklids r auf der Pflanze in $\text{s}^{-1}$ , s. Anlage IV, Tab. IV.4
$t_{n,e}$	Kontaminationszeit für Pflanzen der Gruppe n während der Wachstumsperiode in s, s. Anlage IV, Tab. IV.4

Hinweis:

a)

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

$$\dot{B}_r = v_g \cdot (C_{\text{Luft},r} - C_{\text{Luft},r}^U) \quad (6.5a)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeutet hier:

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

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

b)

Bei der Berechnung der spezifischen Aktivität  $C_{A,n,r}$  in Pflanzen aus der Staubablagerung nach Gleichung (6.5) und aus der Berechnung nach Gleichung (6.4) ist eine Berücksichtigung der Lebensmittelgruppe „Wurzelgemüse“ nicht erforderlich.

### 6.3 Milch und Milchprodukte sowie Fleisch und Fleischwaren

Bei der Ermittlung der spezifischen Aktivität  $C_{n,r}$  des Radionuklids 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:

$$C_{n,r} = \left\{ (C_{Wd,r} - C_{Wd,r}^U) \cdot M_{Fu} + (C_{Bo,r} - C_{Bo,r}^U) \cdot M_{Bo} \cdot f_p + (C_{Tränke,r} - C_{Tränke}^U) \cdot L \right\} \cdot T_{n,r} \quad (6.6)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $C_{Wd,r}$  Spezifische Aktivität des Radionuklids r in Weidepflanzen in  $Bq\ kg^{-1}$  (FM). Die Berechnung erfolgt nach Gleichung (6.2a) oder (6.2b)
- $C_{Wd,r}^U$  Spezifische natürliche Untergrund-Aktivität des Radionuklids r in Weidepflanzen in  $Bq\ kg^{-1}$  (FM), s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.7  
(Sofern  $C_{Wd,r}$  aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der Gleichungen (6.2a) bzw. (6.2b) ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $C_{Wd,r}^U \equiv 0$ )
- $C_{Tränke,r}$  Aktivitätskonzentration des Radionuklids r im für die Viehtränke verwendeten Wasser in  $Bq\ l^{-1}$
- $C_{Tränke}^U$  Natürliche Aktivitätskonzentration des Radionuklids r im für die Viehtränke verwendeten Wasser in  $Bq\ l^{-1}$ , s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.6  
(Sofern  $C_{Tränke,r}$  aufgrund von Modellrechnungen ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $C_{Tränke,r}^U \equiv 0$ )
- $M_{Fu}$  Tägliche Aufnahme von Weidefutter für Rindvieh in  $kg\ (FM)\ d^{-1}$ , s. Anlage IV, Tab. IV.4
- $M_{Bo}$  Tägliche Bodenaufnahme des Rindviehs beim Grasens auf der Weide in  $kg(TM)\ d^{-1}$ , s. Anlage IV, Tab. IV.4
- $f_p$  Bruchteil des Jahres, in dem Tiere auf der Weide grasen, s. Anlage IV, Tab. IV.4
- $L$  Täglicher Wasserkonsum des Rindviehs in  $l\ d^{-1}$ , s. Anlage IV, Tab. IV.4
- $T_{n,r}$  Transferfaktor vom Futter, Tränkewasser und aufgenommenen Boden zur Milch ( $n = Mi$ ) bzw. zum Fleisch ( $n = Fl$ ) für das Radionuklid r in  $d\ kg^{-1}$ , s. Anlage IV, Tab. IV.3

## 6.4 Muttermilch

Bei der Ermittlung der spezifischen Aktivität  $C_{MM,r}$  des Radionuklids  $r$  in der Muttermilch werden folgende Teilpfade betrachtet:

- Ingestion von Lebensmitteln sowie
- Inhalation von Staub

Es ist:

$$C_{MM,r} = \frac{T_{MM,r}}{360} \cdot \sum_n p_n \cdot (C_{n,r} - C_{n,r}^U) \cdot U_{n,>17a} + \frac{T_{MM,Inh,r}}{360} \cdot \dot{V}_{>17a} \cdot \sum_s (C_{Luft,s,r} - C_{Luft,r}^U) \cdot a_{Luft,s} \cdot t_{Exp,>17a,s} \quad (6.7)$$

Hierin bedeuten:

$C_{MM,r}$	Spezifische Aktivität des Radionuklids $r$ in der Muttermilch in $Bq l^{-1}$
$p_n$	Anteil an lokaler Produktion des Lebensmittels $n$ am Jahresverbrauch, dimensionslos, s. Anlage IV, Tab. IV.4
$C_{n,r}$	Spezifische Aktivität in $Bq kg^{-1}$ bzw. Aktivitätskonzentration in $Bq l^{-1}$ des Radionuklids $r$ im Lebensmittel $n$
$C_{n,r}^U$	Spezifische natürliche Untergrund - Aktivität in $Bq kg^{-1}$ bzw. - Aktivitätskonzentration in $Bq l^{-1}$ des Radionuklids $r$ im Lebensmittel $n$ , s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.4  (Sofern $C_{n,r}$ aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der in Teil II, Ziffn. 6.1 bis 6.3 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 IV, Tab. IV.3
$U_{n,>17a}$	Jahresverbrauch des Lebensmittels $n$ durch die Referenzperson "> 17 a" in kg, s. Anlage IV, Tab. IV.2
$C_{Luft,s,r}$	Aktivitätskonzentration des an Staub gebundenen Radionuklids $r$ in der Außenluft für den Expositionsort $s$ in $Bq m^{-3}$
$C_{Luft,r}^U$	Natürliche Untergrund-Aktivitätskonzentration des an Staub gebundenen Radionuklids $r$ in der Außenluft in $Bq m^{-3}$ , s. Teil I, Ziff. 3 bzw. Anlage V, Tab. V.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. 3.2 ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort  $s$  zu berücksichtigen)

$\dot{V}_{>17a}$

Atemrate für die Referenzperson "> 17a" in  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ , s. Anlage II, Tab. II.1

$a_{\text{Luft},s}$

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)

$T_{\text{MM},\text{Inh},r}$

Transferfaktor vom inhalieren Staub zur Muttermilch für das Radionuklid  $r$  in  $\text{d kg}^{-1}$ , s. Anlage IV, Tab. IV.3

# ANLAGE I    PARAMETER ZUR BERECHNUNG DER ÄUßEREN STRAHLENEXPOSITION DURCH AUFENTHALT IM FREIEN UND IN GEBÄUDEN

Tabelle I. 1

Umrechnungsfaktor  $f_{\text{Kon},j}$  von Umgebungsäquivalentdosis in effektive Dosis für die Referenzperson  $j$

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
Beschäftigter	0,6

Tabelle I. 2

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

Expositionsort	Referenzperson	Expositionszeit $t_{Exp,j,s}$ in 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 bzw. unkultivierte Flächen, die durch bergbauliche Hinterlassenschaften kontaminiert sind	≤ 1 a	0
	1 - 2 a	100
	2 - 7 a	250
	7 - 12 a	250
	12 -17 a	250
	> 17 a	100
2.2 Gartengebiete <sup>3)</sup>	Bevölkerung <sup>2)</sup>	1000
2.3 Verkehrsflächen	Bevölkerung <sup>2)</sup>	1000
2.4 Park- und Freizeitanlagen, Kinderspielflächen	Bevölkerung <sup>2)</sup>	1000

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

<sup>2)</sup> alle Altersgruppen

<sup>3)</sup> Flächen, die der nichterwerbsmäßigen gärtnerischen Nutzung dienen

Tabelle 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
2.2 Gebäude - Leichtbau (Holz, Fertighaus u.ä.)	0,3



## ANLAGE II    PARAMETER ZUR BERECHNUNG DER INNEREN STRAHLENEXPOSITION DURCH INHALATION VON STAUB BEIM AUFENTHALT IM FREIEN UND IN GEBÄUDEN

Tabelle II. 1

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

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

Tabelle II. 2

Inhalationsdosiskoeffizient  $g_{\text{Inh},r,j}$  für das Radionuklid  $r$  sowie Inhalationsdosiskoeffizient  $g_{\text{Inh},j}$  des Radionuklidgemisches für die Referenzperson  $j$

Radionuklid	$g_{\text{Inh},r,j}$ und $g_{\text{Inh},j}$ in $\text{Sv Bq}^{-1}$			
	$\leq 1$ 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	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
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	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$

Tabelle II. 2 (Fortsetzung)

Inhalationsdosiskoeffizient  $g_{\text{Inh},r,j}$  für das Radionuklid  $r$  sowie Inhalationsdosiskoeffizient  $g_{\text{Inh},j}$  des Radionuklidgemisches für die Referenzperson  $j$

Radionuklid	$g_{\text{Inh},r,j}$ und $g_{\text{Inh},j}$ in $\text{Sv Bq}^{-1}$		
	12 - 17 a	> 17 a	Beschäftigter <sup>1)</sup>
Uranreihe:			
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	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
Actiniumreihe:			
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	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$
Thoriumreihe			
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	$6,8 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$

Hinweis:

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>1</sup> AMAD = 5  $\mu\text{m}$

# ANLAGE III PARAMETER ZUR BERECHNUNG DER INNEREN STRAHLENEXPOSITION DURCH INHALATION VON RADON-222 UND SEINEN KURZLEBIGEN ZERFALLSPRODUKTEN

Tabelle III. 1

Dosiskonversionskoeffizienten<sup>1)</sup> für die Referenzperson j:

- $g_{\text{pot},j}$  für die potentielle Alpha-Energie-Exposition kurzlebiger Radon-222-Zerfallsprodukte
- $g_{\text{EEC},j}$  für das Produkt aus Radon-222-Exposition und Gleichgewichtsfaktor

Referenzperson	Dosiskonversionskoeffizienten	
	$g_{\text{pot},j}$ in $\text{Sv m}^3 \text{J}^{-1} \text{h}^{-1}$	$g_{\text{EEC},j}$ in $\text{Sv m}^3 \text{Bq}^{-1} \text{h}^{-1}$
≤ 1 a	1,1	$6,1 \cdot 10^{-9}$
1 - 2 a	1,1	$6,1 \cdot 10^{-9}$
2 - 7 a	1,1	$6,1 \cdot 10^{-9}$
7 - 12 a	1,1	$6,1 \cdot 10^{-9}$
12 - 17 a	1,1	$6,1 \cdot 10^{-9}$
> 17 a	1,1	$6,1 \cdot 10^{-9}$
Beschäftigter	1,4	$7,8 \cdot 10^{-9}$

Tabelle III. 2

Faktor  $F_{\text{Rn},s}$  zur Beschreibung des radioaktiven Gleichgewichtes zwischen dem bergbaubedingten Radon-222 und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten am Expositionsort s (Gleichgewichtsfaktor), dimensionslos

Expositionsort	Gleichgewichtsfaktor $F_{\text{Rn},s}$
<u>Auf</u> einer bergbaulichen Anlage oder Einrichtung Im Freien und im Gebäude	0,4
<u>In der Umgebung</u> einer bergbaulichen Anlage oder Einrichtung Im Freien und im Gebäude	0,4

<sup>1</sup> Neuere Entwicklungen zum Dosiskonversionskoeffizienten bleiben unberücksichtigt

# ANLAGE IV PARAMETER ZUR BERECHNUNG DER INNEREN STRAHLENEXPOSITION DURCH INGESTION LOKAL ERZEUGTER LEBENSMITTEL UND VON BODEN

Tabelle IV. 1

Ingestionsdosiskoeffizient  $g_{\text{Ing},r,j}$  für das Radionuklid  $r$  sowie Ingestionsdosiskoeffizient  $g_{\text{Ing},j}$  des Radionuklidgemisches für die Referenzperson  $j$

Radionuklid	$g_{\text{Ing},r,j}$ und $g_{\text{Ing},j}$ in $\text{Sv Bq}^{-1}$			
	$\leq 1$ 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	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$8,8 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$
	$(5,2 \cdot 10^{-6})^{1)}$	$(1,8 \cdot 10^{-6})^{1)}$	$(8,8 \cdot 10^{-7})^{1)}$	$(5,2 \cdot 10^{-7})^{1)}$
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	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$7,9 \cdot 10^{-6}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$
	$(2,5 \cdot 10^{-5})^{2)}$	$(7,2 \cdot 10^{-6})^{2)}$	$(4,4 \cdot 10^{-6})^{2)}$	$(3,7 \cdot 10^{-6})^{2)}$

<sup>1</sup> Dosiskoeffizient für Po-210 bei der Ermittlung der Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch Direktingestion von Boden.

<sup>2</sup> Dosiskoeffizient für das Gemisch bei der Ermittlung der Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch Direktingestion von Boden.

Tabelle IV. 1 (Fortsetzung)

Ingestionsdosiskoeffizient  $g_{\text{Ing},r,j}$  für das Radionuklid  $r$  sowie Ingestionsdosiskoeffizient  $g_{\text{Ing},j}$  des Radionuklidgemisches für die Referenzperson  $j$

Radionuklid	$g_{\text{Ing},r,j}$ und $g_{\text{Ing},j}$ in $\text{Sv Bq}^{-1}$		
	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	$1,6 \cdot 10^{-6}$ $(3,2 \cdot 10^{-7})^1$	$1,2 \cdot 10^{-6}$ $(2,4 \cdot 10^{-7})^1$	$2,4 \cdot 10^{-7}$
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	$5,5 \cdot 10^{-6}$ $(4,2 \cdot 10^{-6})^2$	$2,6 \cdot 10^{-6}$ $(1,6 \cdot 10^{-6})^2$	$1,6 \cdot 10^{-6}$

Hinweis:

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>1</sup> Dosiskoeffizient für Po-210 bei der Ermittlung der Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch Direktingestion von Boden.

<sup>2</sup> Dosiskoeffizient für das Gemisch bei der Ermittlung der Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch Direktingestion von Boden.

Tabelle IV. 2

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

Lebensmittel	Jahresverbrauch $U_{n,j}$ in kg					
	≤ 1 a	1 - 2 a	2 - 7 a	7 - 12 a	12 -17 a	> 17 a
Trinkwasser <sup>1)</sup>	55	100	100	150	200	350
Fisch (Süßwasser)	0,5	3	3	4,5	5	7,5
Säuglingsmilchnahrung <sup>2)</sup> oder Muttermilch <sup>3)</sup>	200	-	-	-	-	-
Milch (einschließlich Milchprodukte)	45	160	160	170	170	130
Fleisch (einschließlich Fleischwaren)	5	13	50	65	80	90
Pflanzliche Produkte	75	138	227	259	271	253
davon entfallen auf:						
Getreide, Getreideprodukte	12	30	80	95	110	110
Frischobst, Obstprodukte, Säfte	25	45	65	65	60	35
Kartoffeln, Wurzelgemüse, Säfte	30	40	45	55	55	55
Blattgemüse	3	6	7	9	11	13
Gemüse, Gemüseprodukte, Säfte	5	17	30	35	35	40

<sup>1</sup> Mengenangabe in l<sup>2</sup> Zur jährlichen Trinkwassermenge des Säuglings von 55 l/a kommen 160 l/a, wenn angenommen wird, dass der Säugling nicht gestillt wird, sondern nur Milchfertigprodukte erhält, die überregional erzeugt werden und als nicht kontaminiert anzusetzen sind. Dabei wird angenommen, dass 0,2 kg Konzentrat (entspricht 1 l Milch) in 0,8 l Wasser aufgelöst werden.<sup>3</sup> alternativ zu berücksichtigen (s. Teil I, Ziff. 2.6.4 d)

Tabelle IV. 3

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

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

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



Tabelle IV. 4

Werte zur Berechnung des Radionuklidtransportes

Symbol	Definition	Wert
$f_p$	Bruchteil des Jahres, in dem Tiere auf der Weide grasen	0,5
$f_w$	Anteil der bei der Berechnung 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>
$p_n$	Anteil an lokaler Produktion von Lebensmitteln n = Mi, Fi, Bi, Gm, Wg, Ob n = W, MM, SM	0,5 1
$p_m$	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 = Bl 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 = Bl mittlere Vegetationszeit von pflanzlichen Produkten ohne Blattgemüse und von Blattgemüse (60 Tage)	$2,6 \cdot 10^6$ s $5,2 \cdot 10^6$ s

Tabelle IV. 4 (Fortsetzung)

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

Tabelle IV. 5

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

Referenzperson	Boden-Aufnahmerate $U_{\text{Bo,j}}$ in $\text{kg h}^{-1}$
$\leq 1 \text{ a}$	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	$6 \cdot 10^{-6}$

# **ANLAGE V ALLGEMEINE WERTE DER NATÜRLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT**

Tabelle V. 1 (zu Teil II, Ziff. 1)

Umgebungsäquivalentdosisleistung der natürlichen Gammastrahlung im Freien

In Gegenden erhöhter natürlicher Radioaktivität gilt ein mittlerer Wert der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung  $H^*(10)^U$  im Freien in 1 m Höhe von  $120 \text{ nSv h}^{-1}$ . Dieser Wert schließt den Beitrag der kosmischen Strahlung mit ein.

Tabelle V. 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	$C_{\text{Luft},r}^{\text{U}}$ in Bq m <sup>-3</sup>
Uranreihe	
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	$4 \cdot 10^{-5}$
Actiniumreihe	
U-235	$5 \cdot 10^{-7}$
Pa-231	$5 \cdot 10^{-7}$
Ac-227	$5 \cdot 10^{-7}$
Thoriumreihe	
Th-232	$8 \cdot 10^{-6}$
Ra-228	$8 \cdot 10^{-6}$
Th-228	$8 \cdot 10^{-6}$
LLA <sup>1)</sup>	$8 \cdot 10^{-5}$

Hinweise:

Die Werte für  $C_{\text{Luft},r}^{\text{U}}$  wurden aus den in Tab. V.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 und von  $30 \mu\text{Bq m}^{-3}$  für das Radionuklid Po-210 zusätzlich berücksichtigt.

Der natürliche Untergrundwert für die langlebige Alphaaktivität ist die Summe der natürlichen Untergrundkonzentrationen der Nuklide U-238, U-234, Th-230, Ra-226 und Po-210.

---

<sup>1</sup> Langlebige Alphaaktivität

Tabelle V. 3 (zu Teil II, Ziff. 3)

Radon-222-Konzentration bzw. potentielle Alpha-Energie-Konzentration der kurzlebigen Radon-222-Zerfallsprodukte des natürlichen Untergrundes in der Freiluft

Größe	Wert
Radon-222-Konzentration ( $C_{Rn}^U$ )	10 Bq m <sup>-3</sup>
Potentielle Alpha-Energie-Konzentration der kurzlebigen Radon-222-Zerfallsprodukte ( $C_{pot}^U$ )	$2,22 \cdot 10^{-8}$ J m <sup>-3</sup>

Hinweis:

Der Wert für die potentielle Alpha-Energie-Konzentration der kurzlebigen Radon-222-Zerfallsprodukte wurde unter Verwendung eines Gleichgewichtsfaktors von 0,4 aus der Radon-222-Konzentration berechnet.

Tabelle V. 4 (zu Teil II, Ziff. 4)

Allgemeine Werte der spezifischen natürlichen Untergrund-Aktivität bzw. -Aktivitätskonzentration

 $C_{n,r}^U$  des Radionuklids r im Lebensmittel n

Radionuklid	$C_{n,r}^U$ in Bq kg <sup>-1</sup> (für Trinkwasser in Bq l <sup>-1</sup> )					
	Trinkwasser	Milch	Fleisch	Fisch	Blattgemüse	Gemüse
Uranreihe						
U-238	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
U-234	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Th-230	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Ra-226	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Pb-210	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
Po-210	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
Actiniumreihe						
U-235	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Pa-231	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Ac-227	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Thoriumreihe						
Th-232	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Ra-228	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Th-228	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$

Tabelle V. 4 (zu Teil II, Ziff. 4) (Fortsetzung)

Allgemeine Werte der spezifischen natürlichen Untergrund-Aktivität bzw. -Aktivitätskonzentration

$C_{n,r}^U$  des Radionuklids r im Lebensmittel n

Radionuklid	$C_{n,r}^U$ in Bq kg <sup>-1</sup>		
	Getreide	Obst	Wurzel- gemüse
Uranreihe			
U-238	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
U-234	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Th-230	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Ra-226	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
Pb-210	$4,0 \cdot 10^{-1}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Po-210	$4,0 \cdot 10^{-1}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Actiniumreihe			
U-235	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Pa-231	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Ac-227	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Thoriumreihe			
Th-232	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Ra-228	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
Th-228	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$

Tabelle V. 5 (zu Teil II, Ziffn. 2, 5 und 6)

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

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

Hinweise:

Der Wert  $C_{\text{Bo},r}^{\text{U}}$  für das Radionuklid Ra-226 wurde durch Messungen bestimmt. Für alle anderen Radionuklide der Uran-Radium- und Uran-Actinium-Reihe wurden die Werte für  $C_{\text{Bo},r}^{\text{U}}$  aus  $C_{\text{Bo,Ra-226}}^{\text{U}}$  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  $C_{\text{Bo},r}^{\text{U}}$  für das Radionuklid Th-232 wurde durch Messungen bestimmt. Für die anderen Radionuklide der Thorium-Reihe wurden die Werte für  $C_{\text{Bo},r}^{\text{U}}$  aus  $C_{\text{Bo,Th-232}}^{\text{U}}$  unter Annahme des radioaktiven Gleichgewichtes berechnet.

Die Werte  $C_{\text{Bo}(0,02),r}^{\text{U}}$  und  $C_{\text{Bo}(0,5),r}^{\text{U}}$  wurden für alle Radionuklide aus  $C_{\text{Bo},r}^{\text{U}}$  unter Verwendung der Aufkonzentrierungsfaktoren  $AF_{0,02,r} = 4$  (s. Gl. 2.1b) und  $AF_{0,5,r} = 2$  (s. Gl. 5.1a) berechnet.



Tabelle V. 6 (zu Teil II, Ziff. 6)

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

Radionuklid	$C_{n,r}^U$ in $\text{Bq l}^{-1}$
Uranreihe	
U-238	$3,0 \cdot 10^{-3}$
U-234	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Th-230	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Ra-226	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Pb-210	$2,0 \cdot 10^{-3}$
Po-210	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Actiniumreihe	
U-235	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Pa-231	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Ac-227	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Thoriumreihe	
Th-232	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Ra-228	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Th-228	$1,0 \cdot 10^{-3}$

Tabelle V. 7 (zu Teil II, Ziff. 6)

Allgemeine Werte der spezifischen natürlichen Untergrund-Aktivität  $C_{Wd,r}^U$  des Radionuklids  $r$  im Weidegras (Feuchtmasse)

Radionuklid	$C_{Wd,r}^U$ in $Bq\ kg^{-1}$
Uranreihe	
U-238	$1,0 \cdot 10^{-2}$
U-234	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Th-230	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Ra-226	$4,0 \cdot 10^{-2}$
Pb-210	$1,5 \cdot 10^{-1}$
Po-210	$1,5 \cdot 10^{-1}$
Actiniumreihe	
U-235	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Pa-231	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Ac-227	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Thoriumreihe	
Th-232	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Ra-228	$6,0 \cdot 10^{-2}$
Th-228	$4,0 \cdot 10^{-3}$

Tabelle V. 8 (zu Teil II, Ziff. 6)

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

Radionuklid	$\dot{B}_r^U$ in $\text{Bq m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Uranreihe	
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	$4 \cdot 10^{-7}$
Actiniumreihe	
U-235	$5 \cdot 10^{-9}$
Pa-231	$5 \cdot 10^{-9}$
Ac-227	$5 \cdot 10^{-9}$
Thoriumreihe	
Th-232	$8 \cdot 10^{-8}$
Ra-228	$8 \cdot 10^{-8}$
Th-228	$8 \cdot 10^{-8}$

# ANLAGE VI VEREINFACHTES VERFAHREN ZUR PRÜFUNG DES AUSSCHLUSSKRITERIUMS NACH TEIL I, ZIFF. 2.3.2 a)

## VI.1 PRÜFVERFAHREN FÜR QUELLHÄUFUNGEN GEMÄSS TEIL I, ZIFF. 2.6.5.3 b)

Für einen Standort mit n bergbaulichen Anlagen und Einrichtungen gilt das Ausschlusskriterium nach Teil I, Ziff. 2.3.2 a) für alle Expositionsorte s als erfüllt, wenn die nach Gleichung (A1.1a), (A1.1b) oder (A1.1c) ermittelte Radon-222-Konzentration den Wert von  $5 \text{ Bq m}^{-3}$  nicht überschreitet. Teil I, Ziff. 2.6.5.4 ist zu beachten.

a)

Befindet sich der Expositionsort s in der näheren Umgebung, jedoch außerhalb von bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen i gilt folgende Gleichung:

$$C_{\text{Rn},s} = 377 \cdot \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \left( \frac{a_i}{r_{i,s}} \right)^{1,58} \quad (\text{A1.1a})$$

Hierin bedeuten:

- $C_{\text{Rn},s}$  Mittlere Radon-222-Konzentration am Expositionsort s in  $\text{Bq m}^{-3}$
- $Q_i$  Mittlere Radon-222-Emissionsrate der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i in  $\text{kBq s}^{-1}$ , s. Anlage VI, Ziff. 1.1
- $r_{i,s}$  Abstand des Expositionsortes s vom nächstgelegenen Rand der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i ( $r_{i,s} \geq 20 \text{ m}$ ), in m
- $a_i$  Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der meteorologischen und topographischen Standortbedingungen der bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen i und der Abweichung von der Punktquellengeometrie, dimensionslos, s. Anlage VI, Ziff. 1.2

b)

Befindet sich der Expositionsort s direkt auf der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i, gelten folgende Gleichungen:

Für ebenes Gelände:

$$C_{Rn,s,i} = 11 \cdot (J_i - J^U) \cdot \ln(1 + 1,7 \cdot F_i) + 377 \cdot \sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^n Q_{i'} \cdot \left( \frac{a_{i'}}{r_{i',s}} \right)^{1,58} \quad (A1.1b)$$

Für gebirgiges Gelände:

$$C_{Rn,s,i} = 377 \cdot \left\{ Q_i \cdot \left( \frac{a_i}{20} \right)^{1,58} + \sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^n Q_{i'} \cdot \left( \frac{a_{i'}}{r_{i',s}} \right)^{1,58} \right\} \quad (A1.1c)$$

Außer den bereits erklärten Symbolen bedeuten hier:

- $J_i$  Mittlere Radon-222-Exhalationsrate der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i in  $Bq\ m^{-2}\ s^{-1}$
- $J^U$  Radon-222-Exhalationsrate des natürlichen Untergrundes am Standort in  $Bq\ m^{-2}\ s^{-1}$ .  
(Sofern  $J_i$  aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der Gleichungen (A1.3) oder (A1.4) ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $J^U \equiv 0$ )
- $F_i$  Fläche der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i in ha

### VI.1.1 BERECHNUNG DER RADON-222-EMISSIONSRATE $Q_i$

Für flächige bergbauliche Anlagen oder Einrichtungen i kann die Radon-222-Emissionsrate  $Q_i$  in den Gleichungen (A1.1a), (A1.1b) und (A1.1c) aus der Radon-222-Exhalationsrate  $J_i$  der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i wie folgt berechnet werden:

$$Q_i = 10 \cdot (J_i - J^U) \cdot F_i \quad (A1.2)$$

Hierin bedeuten:

- $Q_i$  Mittlere Radon-222-Emissionsrate der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i in  $kBq\ s^{-1}$
- $J_i$  Mittlere Radon-222-Exhalationsrate der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i in  $Bq\ m^{-2}\ s^{-1}$

$J^U$  Radon-222-Exhalationsrate des natürlichen Untergrundes am Standort in  $\text{Bq m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .  
(Sofern  $J_i$  aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der Gleichungen (A1.3) oder (A1.4) ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $J^U \equiv 0$ )

$F_i$  Fläche der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung  $i$  in  $\text{ha}$

Hinweise:

a)

Die mittlere Radon-222-Exhalationsrate  $J_i$  für die Halde  $i$  kann mittels eines Umrechnungsfaktors aus der mittleren spezifischen Ra-226-Aktivität des Haldenmaterials wie folgt abgeschätzt werden:

$$J_i = (C_{\text{Ra},i} - C_{\text{Ra}}^U) \cdot b_i \quad (\text{A1.3})$$

Hierin bedeuten:

$C_{\text{Ra},i}$  Mittlere spezifische Ra-226-Aktivität des Materials der Halde  $i$  in  $\text{Bq g}^{-1}$

$C_{\text{Ra}}^U$  Spezifische natürliche Untergrund-Aktivität des Radionuklids Ra-226 im Boden am Standort in  $\text{Bq g}^{-1}$ . (Sofern  $C_{\text{Ra},i}$  aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der Gleichung (A1.4) ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $C_{\text{Ra}}^U \equiv 0$ )

$b_i$  Umrechnungsfaktor zur Abschätzung der Radon-222-Exhalationsrate aus der spezifischen Ra-226-Aktivität des Materials der Halde  $i$  für verschiedene Haldentypen und -mächtigkeiten ( $H$ ) in  $(\text{Bq m}^{-2} \text{s}^{-1})/(\text{Bq g}^{-1})$

Für  $b_i$  gelten folgende Werte:

H in m	Umrechnungsfaktor $b_i$ in $(\text{Bq m}^{-2} \text{s}^{-1})/(\text{Bq g}^{-1})$		
	Typ 1	Typ 2	Typ 3
$\geq 10$	0,5	1	4
$5 \leq H < 10$	0,5	1	2
$2 \leq H < 5$	0,5	1	1
$< 2$	$0,5 \cdot \tanh(H)^1$	$\tanh(H)^1$	$\tanh(H)^1$

mit:

$H$  Mächtigkeit der Ablagerung in m.

<sup>1</sup> Es wurde eine Diffusionslänge von  $\sqrt{D/\lambda} = 1 \text{ m}$  zugrunde gelegt und somit der dimensionslose Ausdruck  $H\sqrt{\lambda/D}$  im Argument der tanh-Funktion vereinfacht ( $\lambda$  - Zerfallskonstante des Rn-222 in  $\text{s}^{-1}$ ,  $D$  - Diffusionskoeffizient des Radons in  $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ).

- Typ 1 Halde, bei der eine Freisetzung durch Konvektion ausgeschlossen werden kann und die Freisetzung durch Diffusion erschwert ist. Typ 1 ist in der Regel anzunehmen bei Halden mit hohem Schluffanteil.
- Typ 2 Halde, bei der eine Freisetzung durch Diffusion anzunehmen ist und die Freisetzung durch Konvektion nur unerheblich zum Radonaustrag beiträgt. Typ 2 ist in der Regel anzunehmen bei überwiegend sandigen Halden mit einem breiten Spektrum der Korngrößenverteilung.
- Typ 3 Halde, bei der neben der gewöhnlichen Freisetzung des Radons durch Diffusion auch ein erheblicher Radonaustrag durch Konvektion<sup>1)</sup> zu erwarten ist. Typ 3 ist in der Regel anzunehmen bei Halden mit hohem Kies-Stein-Anteil.

b)

Sofern keine Messwerte der spezifischen Ra-226-Aktivität des Materials einer Halde  $i$  vorliegen, kann  $C_{Ra,i}$  nach der Beziehung

$$C_{Ra,i} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot (\dot{H}^*(10)_i - \dot{H}^*(10)^U) \quad (A1.4)$$

näherungsweise abgeschätzt werden. Gleichung (A1.4) kann angewendet werden, wenn die spezifischen Aktivitäten der Nuklide der Th-232-Reihe sowie des K-40 im Haldenmaterial und im Boden des zu berücksichtigenden Untergrundes annähernd übereinstimmen.

Hierbei bedeuten:

$C_{Ra,i}$  Mittlere spezifische Ra-226-Aktivität des Materials der Halde  $i$  in  $Bq\ g^{-1}$

$\dot{H}^*(10)_i$  Umgebungs-Äquivalentdosisleistung im Freien in 1 m Höhe über der unabgedeckten Halde  $i$  in  $nSv\ h^{-1}$

$\dot{H}^*(10)^U$  Umgebungs-Äquivalentdosisleistung der natürlichen Gammastrahlung des Standortes im Freien in 1 m Höhe in  $nSv\ h^{-1}$

(Bei Abzug des natürlichen Untergrundes gemäß Teil I.; Ziff. 3.2 ist eine Abhängigkeit vom Expositionsort zu berücksichtigen)

---

<sup>1</sup> Die beim Haldentyp 3 auftretenden konvektiven Luftströmungen werden hauptsächlich durch Temperaturunterschiede zwischen dem Haldenkörper und der Außenluft verursacht. In der Halde verlaufen diese Luftströmungen in Richtung Haldenfuß, wenn die Temperatur im Innern der Halde kleiner als die Temperatur der Außenluft ist. Bei gegensätzlichen Temperaturverhältnissen kehrt sich die Richtung der Luftströmung in der Halde um. Der verstärkte Radonaustrag erfolgt daher vorzugsweise im Bereich des Haldenfußes (Sommer) bzw. -plateaus (Winter). Je nach Schüttung und Aufbau der Halde sind auch andere Hauptaustrittspfade möglich. Luftströmungen in der Halde über die gesamte Hanglänge können sich in der Regel nur dann ausbilden, wenn die Temperatur im Haldeninnern über einen längeren Zeitraum größer oder kleiner als die Temperatur der Außenluft ist.

Gleichung (A1.4) gilt nicht für Halden des Typ 3. Gleichung (A1.4) gilt ferner nicht für Halden des Typ 1 und Typ 2, die mit einer die Photonenstrahlung abschirmenden Abdeckung versehen sind.

c)

Für Halden des Typ 3 kann eine durch Konvektion verursachte maximale Radon-222-Exhalationsrate  $J_i^{\max}$ , die nur auf Teilflächen bevorzugt im Bereich des Haldenfußes und -plateaus auftritt, wie folgt abgeschätzt werden (s. Fußnote zur Konvektion bei Halden des Typ 3 im Hinweis a) dieser Ziffer):

$$J_i^{\max} = C_{\text{Ra},i} \cdot E_i \cdot \rho_i \cdot L_i \cdot \lambda_{\text{Rn-222}} \quad (\text{A1.5})$$

Hierin bedeuten:

$C_{\text{Ra},i}$	Spezifische Ra-226-Aktivität des Materials der Halde i in $\text{Bq g}^{-1}$
$E_i$	Emanationskoeffizient des Materials der Halde i, dimensionslos (soweit kein haldenspezifischer Wert vorliegt, gilt näherungsweise $E = 0,2$ )
$\rho_i$	Trockendichte des Materials der Halde i in $\text{g m}^{-3}$ (soweit kein haldenspezifischer Wert vorliegt, gilt näherungsweise $\rho_i = 2 \cdot 10^6 \text{ g m}^{-3}$ )
$L_i$	Länge des konvektiven Stromweges in der Halde i in m (z.B. vom Haldenfuß zum Haldenplateau oder vom Haldenfuß zur Berme; soweit kein haldenspezifischer Wert vorliegt, kann $L_i$ näherungsweise durch die Hanglänge der Halde i beschrieben werden)
$\lambda_{\text{Rn-222}}$	Zerfallskonstante des Radon-222: $2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

Aus der nach Gleichung (A1.5) berechneten maximale Radon-222-Exhalationsrate kann die Radon-222-Konzentration am Expositionsort nur bei Vorliegen haldenspezifischer Untersuchungen zum räumlichen und zeitlichen Radon-222-Freisetzungverhalten abgeschätzt werden.

## VI.1.2 BERECHNUNG DES KORREKTURFAKTORS

Der Korrekturfaktor  $a_i$  in den Gleichungen (A1.1a), (A1.1b) und (A1.1c) kann wie folgt berechnet werden:

$$a_i = k \cdot k_i(r, F) \quad (\text{A1.6})$$

Hierin bedeuten:



k Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der meteorologischen und topographischen Standortbedingungen für eine Punktquelle, dimensionslos

Es gilt:

$k = k_E = 1,25$  für ebenes Gelände

$k = k_G = 3,0$  für gebirgiges Gelände

$k_i(r, F)$  Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Abweichung von der Punktquellengeometrie in Abhängigkeit von der Flächengröße  $F$  und dem Abstand  $r$  des Expositionsortes vom nächstgelegenen Rand der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung  $i$ , dimensionslos

Hinweis:

Die Größe des Korrekturfaktors  $k_i(r, F)$  kann durch Lösung der folgenden Gleichung näherungsweise bestimmt werden:

$$10^3 \cdot F_i \cdot \left( \frac{k_i(r, F)}{r_i} \right)^{1,58} \cdot \tan \left( \frac{\pi}{2} \cdot k_i(r, F) \right) = 1 \quad (\text{A1.7})$$

Für große Entfernungen ( $r \rightarrow \infty$ ) strebt der Korrekturfaktor  $k_i(r, F)$  gegen den Wert 1, für geringe Abstände ( $r \rightarrow 0$ ) gegen den Wert 0.

In der Anlage VI, Abb. A.1 sind Lösungen der Gleichung (A1.7) für Flächen von 0,1 ha bis 100 ha sowie für Abstände von 20 m bis 10 000 m dargestellt.

Für den Abstand  $r = 20$  m und Flächen zwischen 0,1 ha und 100 ha kann der Korrekturfaktor  $k_i(r=20\text{m}, F)$  durch folgende Näherung bestimmt werden:

$$k_i(r = 20\text{m}, F_i) = \begin{cases} 0,35 \cdot F_i^{-0,31} & \text{für } F_i \leq 1\text{ha} \\ 0,35 \cdot F_i^{-0,38} & \text{für } F_i > 1\text{ha} \end{cases} \quad (\text{A1.8})$$

## VI.2 PRÜFVERFAHREN FÜR EINZELQUELLEN GEMÄSS TEIL I, ZIFF. 2.6.5.3 b)

Für Einzelquellen gilt das Ausschlusskriterium nach Teil I, Ziff. 2.3.2 a) dann als erfüllt, wenn die Abstände aller Expositionsorte  $s$  von der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung  $i$  größer als  $r_{i,s}^*$  sind, wobei der minimale Abstand  $r_{i,s}^*$  durch folgende Gleichung bestimmt ist:

$$r_{i,s}^* = 15,4 \cdot a_i \cdot Q_i^{0,633} \quad (\text{A2.1})$$

Hierin bedeuten:

- $r_{i,s}^*$  Minimaler Abstand des Expositionsortes  $s$ , an dem eine bergbaubedingte Radon-222-Konzentration über  $5 \text{ Bq m}^{-3}$  ausgeschlossen werden kann, vom nächstgelegenen Rand der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung  $i$ , in m
- $a_i$  Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der meteorologischen und topographischen Standortbedingungen der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung  $i$  und der Abweichung von der Punktquellengeometrie, dimensionslos, s. Anlage VI, Ziff. 1.2
- $Q_i$  Mittlere Radon-222-Emissionsrate der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung  $i$  in  $\text{kBq s}^{-1}$ , s. Anlage VI, Ziff. 1.1

Das Ausschlusskriterium nach Teil I, Ziff. 2.3.2 a) gilt für alle Expositionsorte auf bergbaulichen Anlagen oder Einrichtungen  $i$ , die nachfolgender Ungleichung genügen, als erfüllt:

Für ebenes Gelände:

$$(J_i - J^U) \cdot \ln(1 + 1,7 \cdot F_i) \leq 0,45 \quad (\text{A2.2a})$$

Für gebirgiges Gelände:

$$(J_i - J^U) \cdot F_i \cdot a_i^{1,58} = (J_i - J^U) \cdot F_i \cdot \{3 \cdot k_i(r = 20 \text{ m}, F_i)\}^{1,58} \leq 0,15 \quad (\text{A2.2b})$$

Hierin bedeuten:

- $J_i$  Mittlere Radon-222-Exhalationsrate der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung  $i$  in  $\text{Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- $J^U$  Radon-222-Exhalationsrate des natürlichen Untergrundes am Standort in  $\text{Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . (Sofern  $J_i$  aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der Gleichungen (A1.3) oder (A1.4) ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt  $J^U \equiv 0$ )

$F_i$  Fläche der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung  $i$  in ha

$k_i(r = 20 \text{ m}, F_i)$  Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Abweichung von der Punktquellengeometrie für  $r = 20 \text{ m}$  und Flächengröße  $F_i$  der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung  $i$ , dimensionslos, s. Anlage VI, Ziff. 1.2

## VI.3 ABSCHÄTZUNG DER RADON-222-KONZENTRATION IM FREIEN

Die Prüfvorschriften nach Anlage VI, Ziffn. 1 und 2 können für eine konservative Abschätzung der bergbaubedingten Radon-222-Konzentration im Freien herangezogen werden. Teil I, Ziff 2.6.5.4 ist zu beachten.

### VI.3.1 QUELLENHÄUFUNGEN

Für Expositionsorte auf oder in der Umgebung bergbaulicher Anlagen oder Einrichtungen kann die mittlere Radon-222-Konzentration im Freien unmittelbar gemäß Gleichung (A1.1a), (A1.b) und (1.1c) in Anlage VI, Ziff. 1 abgeschätzt werden.

### VI.3.2 EINZELQUELLEN

a)

Für Expositionsorte s auf einer flächigen bergbaulichen Anlage oder Einrichtung kann die mittlere Radon-222-Konzentration im Freien wie folgt näherungsweise abgeschätzt werden:

Für ebenes Gelände:

$$C_{Rn,i} = 11 \cdot (J_i - J^U) \cdot \ln(1 + 1,7 \cdot F_i) \quad (A3.1)$$

Für gebirgiges Gelände:

$$C_{Rn,i} = 377 \cdot Q_i \cdot \left( \frac{3 \cdot k_i(r = 20 \text{ m}, F_i)}{20} \right)^{1,58} \quad (A3.2)$$

Hierin bedeuten:

$C_{Rn,i}$	Mittlere Radon-222-Konzentration auf der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i in $\text{Bq m}^{-3}$
$J_i$	Mittlere Radon-222-Exhalationsrate der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i in $\text{Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
$J^U$	Radon-222-Exhalationsrate des natürlichen Untergrundes am Standort in $\text{Bq m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . (Sofern $J_i$ aufgrund von Modellrechnungen oder in Anwendung der Gleichungen (A1.3) oder (A1.4) ausschließlich den bergbaubedingten Anteil erfasst, gilt $J^U \equiv 0$ )
$F_i$	Fläche der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i in ha

$Q_i$  Mittlere Radon-Emissionsrate der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i in  $\text{kBq s}^{-1}$ , s. Anlage VI, Ziff. 1.1

$k_i(r = 20 \text{ m}, F_i)$  Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Abweichung von der Punktquellengeometrie für  $r = 20 \text{ m}$  und Flächengröße  $F_i$  der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i, dimensionslos, s. Anlage VI, Ziff. 1.2

b)

Für Expositionsorte s im Abstand  $r_{i,s}$  vom nächstgelegenen Rand einer flächigen bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i kann die mittlere Radon-222-Konzentration im Freien wie folgt näherungsweise abgeschätzt werden:

$$C_{\text{Rn},s} = 377 \cdot Q_i \cdot \left( \frac{a_i}{r_{i,s}} \right)^{1,58} \quad (\text{A3.3})$$

$C_{\text{Rn},s}$  Mittlere Radon-222-Konzentration in der Umgebung bergbaulicher Anlagen oder Einrichtungen i am Expositionsort s in  $\text{Bq m}^{-3}$

$Q_i$  Mittlere Radon-222-Emissionsrate der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i in  $\text{kBq s}^{-1}$ , s. Anlage VI, Ziff. 1.1

$r_{i,s}$  Abstand des Expositionsortes s vom nächstgelegenen Rand der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i ( $r \geq 20 \text{ m}$ ), in m

$a_i$  Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der meteorologischen und topographischen Standortbedingungen der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung i und der Abweichung von der Punktquellengeometrie, dimensionslos, s. Anlage VI, Ziff. 1.2

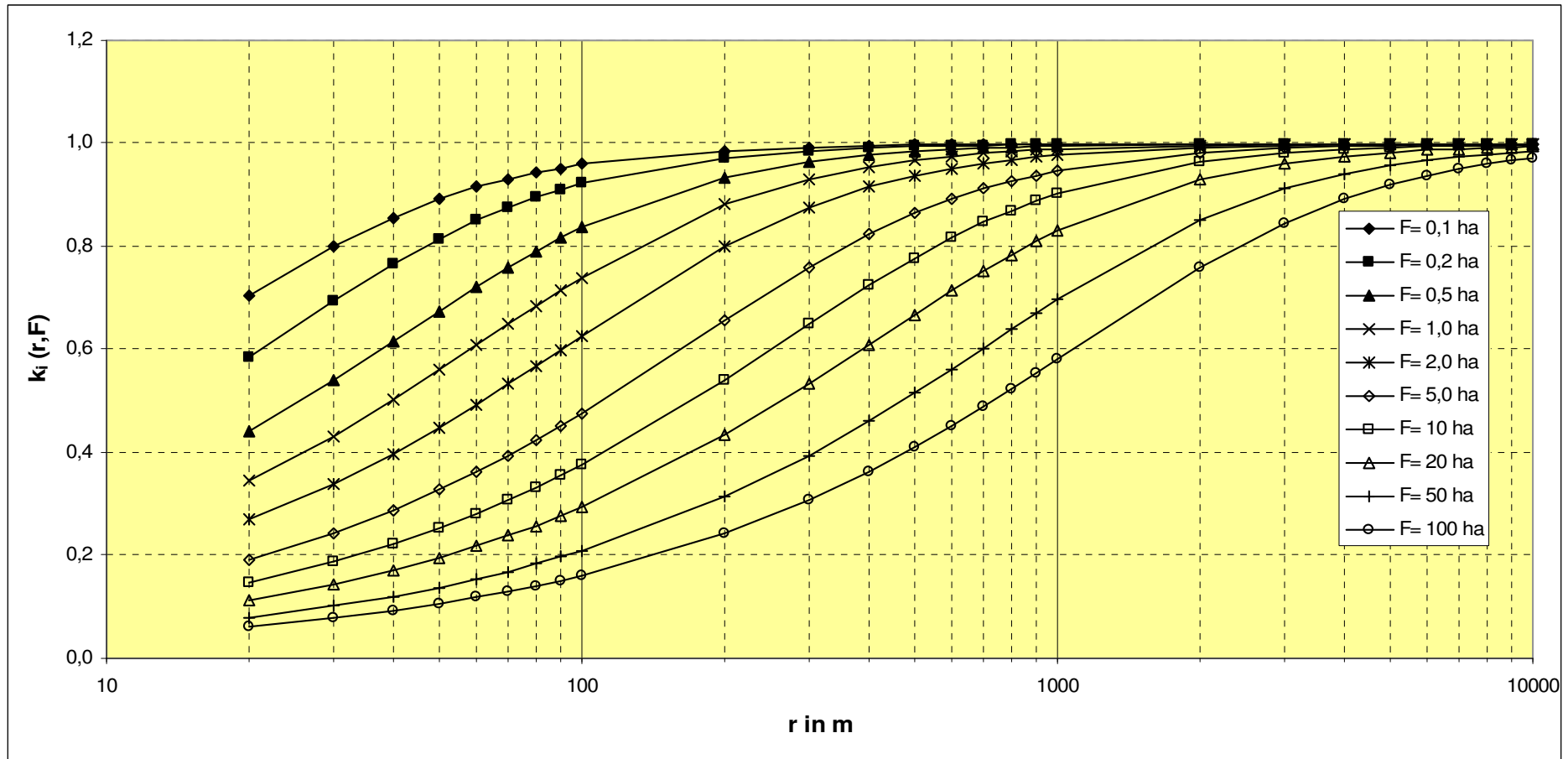


Abbildung VI. 1

Nomogramm zur Ermittlung des Korrekturfaktors  $k_i(r, F)$  in Anlage VI, Ziff. 1.2 in Abhängigkeit vom Abstand  $r_i$  zwischen Expositionsort  $s$  und nächstgelegenen Rand sowie von der Fläche  $F_i$  der bergbaulichen Anlage oder Einrichtung  $i$

## **Bisher erschienene BfS-SW-Berichte** (vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-IAR-1/90

*Zähringer, M.; Bieringer, P.; Kromer, B.; Sartorius, H.; Weiss, W.*

Entwicklung, Erprobung und Einsatz von Schnellmeßmethoden zur nuklidspezifischen Bestimmung atmosphärischer Kontaminationen.

Freiburg, August 1990

BfS-IAR-2/97

*Zähringer, M.; Sempau, J.*

Calibration Factors for Dose Rate Probes in Environmental Monitoring Networks Obtained from Monte-Carlo-Simulations

Freiburg, Februar 1997

BfS-IAR-3/98

*Weiss, W.; Kelly, G.N.; French, S.*

Decision Support for Emergency Response - How Best Can it be Improved?

Proceedings of a BfS/EC Workshop Freiburg, Germany, December 8-10, 1997.

Freiburg, September 1998

BfS-AR-1/01

*Bieringer, J. u. P.*

Abschlussbericht. In-situ Übung 2000. 16. und 17. Mai 2000.

Länder / BfS in Augsburg und die DWD-Stationen.

Freiburg, März 2001

BfS-ST-1/92

Die Auswirkungen des Unfalls im sowjetischen Kernkraftwerk Tschernobyl auf das Territorium der ehemaligen DDR im Jahre 1989.

Berlin, August 1992

BfS-ST-2/92

Umweltradioaktivität in den ostdeutschen Ländern.

Jahresbericht 1990.

Berlin, September 1992

BfS-ST-3/92

2. Biophysikalische Arbeitstagung. Schlema, 11. bis 13. September 1991.

Berlin, November 1992

BfS-ST-4/93

*Beyermann, M.; Höfs, B.*

Radonmessungen in Gebäuden mit Aktivkohledetektoren und Flüssigszintillations-Spektrometrie.

*Gans, I.; Beyermann, M.; Lönnig, M.*

Verfahren zur Schnellbestimmung der Aktivitätskonzentration von Radon-222 in der Luft von Gebäuden -

Screeningmessung -.

Berlin, Juli 1993

BfS-ST-5/93

*Sarenio, O.; Will, W.*

Qualitätssicherung der Dosisleistungsmessungen im Grundpegelbereich.

Berlin, September 1993

BfS-ST-6/95

*Schmidt, V.; Feddersen, Ch.; Ullmann, W.*

Untersuchungen zur Aussagefähigkeit von passiven Meßsystemen zur Bestimmung der

## **Bisher erschienene BfS-SW-Berichte** (vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

Strahlenexposition durch Radon und kurzlebige Radonfolgeprodukte.  
Berlin, Juni 1995

BfS-ST-7/95

*Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.*

Materialienband 1993 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1993 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, August 1995

BfS-ST-8/96

*Kraus, W.*

Strahlenexposition und Strahlenschutzdosimetrie

Berlin, April 1996

BfS-St-9/96

Umweltradioaktivität im Ostthüringer Bergbaugesamt.

Berlin, Juli 1996

BfS-ST-10/96

*Hamel, P.; Lehmann, R.; Kube, G.; Couball, B.; Leiβring, B.*

Modellhafte Sanierung radonbelasteter Wohnungen in Schneeberg.

Berlin, Oktober 1996

BfS-ST-11/97

*Beyermann, M.; Naumann, M.; Sarenio, O.; Schkade U.-K.; Will, W.*

Erfahrungen zur Qualitätsüberwachung bei der Ermittlung der Umweltradioaktivität im Rahmen der Meßprogramme zum Projekt "Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkaster)".

Berlin, Februar 1997

BfS-ST-12/97

*Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.*

Materialienband 1994 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen. Ergänzung zum Jahresbericht 1994 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, Februar 1997

BfS-ST-13/97

*Will, W.; Borsdorf, K.-H.; Mielcarek, J.; Malinowski, D.; Sarenio, O.*

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in den östlichen Bundesländern Deutschlands. Berlin, August 1997

BfS-ST-14/97

*Will, W.; Borsdorf, K.-H.*

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in Deutschland.

*Lehmann, R.; Kemski, J.; Siehl, A.*

Radonkonzentration in Wohngebäuden der Bundesrepublik Deutschland.

Berlin, November 1997

BfS-ST-15/98

*Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.*

Materialienband 1995 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1995 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, März 1998

BfS-ST-16/99

*Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.*



## **Bisher erschienene BfS-SW-Berichte** (vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

Materialienband 1996 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1996 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, März 1999

BfS-AS-1/00

*Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.*

Materialienband 1997 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1997 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, Februar 2000

BfS-AS-2/00

*Jun, J.-S.<sup>1)</sup>; Guggenberger, R.; Dalheimer, A.*

<sup>1)</sup> *Department of Physics, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea*

A Comparative Study on the CL Dosimetric Characteristics of German and Korean Sugar and Sorbite.

Berlin, Oktober 2000

### **Ab 1. Februar 2003 SW**

BfS-SW-01/03

*Will, W.; Mielcarek, J.; Schkade, U.-K.*

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in ausgewählten Regionen Deutschlands.

Salzgitter, Juni 2003

BfS-SW-02/03

*Bittner, S.; Braun, H.; H.-W. Dusemund, H.-W.;*

*Gregor, J.; Raguse, R.; Voß, W.*

Einsatz des Entscheidungshilfesystems RODOS in Deutschland

Salzgitter, Juli 2003

BfS-SW-03/06

*Beck, Thomas; Ettenhuber, E.*

Überwachung von Strahlenexpositionen bei Arbeiten

Leitfaden für die Umsetzung der Regelung nach Teil 3 Kapitel 1 und 2 StrlSchV

Salzgitter, März 2006

BfS-SW-04/09

urn:nbn:de:0221-2009042344

*Beck, Thomas*

Spezielle Anforderungen an Geräte zur Bestimmung der Strahlenexposition durch Radon- und

Radonzerfallsprodukte

Salzgitter, April 2009

BfS-SW-05/09

urn:nbn:de:0221-2009120417

*Dushe, C.; Gehrcke, K.; Kümmel, M.; Müller, S.*

Ergebnisse der Radonmessungen in der bodennahen Luft der Bergbauggebiete

Salzgitter, Dezember 2009

BfS-SW-06/09

urn:nbn:de:0221-20100319945

*Beyermann, M.; Bünger, T.; Gehrcke, K.; Obrikat, D.*

Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland

Salzgitter, Dezember 2009

BfS-SW-07/10

urn:nbn:de:0221-20100329966

Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter

Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen - Bergbau)

Salzgitter, März 2010

# | Verantwortung für Mensch und Umwelt |

**Kontakt:**

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333-0

Telefax: + 49 30 18333-1885

Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz