

**TEIL A
ALLGEMEINE ANGABEN**

(GENERAL INFORMATION)

**I NATÜRLICHE UMWELTRADIOAKTIVITÄT
*(NATURAL ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY)***

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter

HISTORISCHE UND GESETZLICHE GRUNDLAGEN DER ÜBERWACHUNG (HISTORICAL AND LEGAL BASIS OF SURVEILLANCE)

Die Auswirkungen der von 1945 bis 1980 durchgeführten oberirdischen Kernwaffentests sowie der großtechnische Einsatz der Kernenergie seit den 60er und 70er Jahren machten die Konzeption zweier Kontrollsysteme zur Umwelt- bzw. Umgebungsüberwachung notwendig. In der Bundesrepublik Deutschland sind durch das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG) die Zuständigkeiten, Überwachungssysteme und Messprogramme für die Kontrolle der Radioaktivität in der Umwelt und durch die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und das Atomgesetz (AtG) in der Umgebung kerntechnischer Anlagen geregelt.

Überwachung der Umwelt

Die Freisetzung von Radioaktivität durch die oberirdischen Atomwaffenversuche ab 1945 lieferte einen nicht vernachlässigbaren Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung mit der Folge, dass schon in den 50er Jahren von der Bundesrepublik Deutschland Messsysteme zur Umweltüberwachung aufgebaut wurden:

- 1955 wurde der Deutsche Wetterdienst (DWD) gesetzlich verpflichtet, die Atmosphäre auf „radioaktive Beimengungen“ und deren Ausbreitung zu überwachen.
- Mit Artikel 35 des Vertrages zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) vom 25. März 1957 wurden die Mitgliedstaaten verpflichtet, die notwendigen Einrichtungen zur ständigen Überwachung des Radioaktivitätsgehaltes von Luft, Wasser und Boden sowie zur Überwachung der Einhaltung der Strahlenschutz-Grundnormen zu schaffen. Artikel 36 des Euratom-Vertrages verpflichtet zur regelmäßigen Berichterstattung über die aktuelle Umweltradioaktivität.
- 1960 wurden in Vereinbarungen zwischen dem zuständigen Bundesressort (Bundesministerium für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft) und den Ländern die Grundzüge der Überwachungsmaßnahmen festgelegt, die im Wesentlichen noch heute gültig sind. Die Verpflichtungen aus Artikel 35 und 36 des Euratom-Vertrages werden mittels der amtlichen Radioaktivitätsmessstellen des Bundes und der Länder erfüllt.

Der Reaktorunfall von Tschernobyl am 26. April 1986 war Anlass, die Zuständigkeiten für die Umweltüberwachung neu zu regeln und das rechtliche Instrumentarium zur Schadensbegrenzung zu ergänzen. Ziel des daraufhin verabschiedeten Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) vom 19. Dezember 1986 ist es, zum Schutz der Bevölkerung die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen und im Falle von Ereignissen mit radiologischen Auswirkungen die radioaktive Kontamination in der Umwelt und die Strahlenexposition des Menschen durch angemessene Maßnahmen so gering wie möglich zu halten.

Die §§ 2 und 3 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes grenzen die Aufgabenzuständigkeit zwischen Bund und Ländern ab. Dem Bund ist gemäß § 2 die großräumige Überwachung der Medien Luft und Wasser sowie die Ermittlung der Gamma-Ortsdosisleistung zugewiesen. Die Überwachung der anderen Umweltmedien wird in Bundesauftragsverwaltung nach § 3 StrVG von den Messstellen der Länder wahrgenommen.

Auf dieser gesetzlichen Grundlage wurde in den nachfolgenden Jahren das Integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) geschaffen, in dem die nach den §§ 2 und 3 StrVG ermittelten Daten bundeseinheitlich zusammengeführt werden.

1988 wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) ein Routine-messprogramm zur Entnahme und Messung von Umweltproben zwischen den Bundes- und Länderbehörden abgestimmt und in den Folgejahren umgesetzt. Das Programm enthält verbindliche Vorgaben für die Durchführung der routinemäßigen Überwachungsmaßnahmen durch die zuständigen Behörden des Bundes und der Länder und stellt ein bundeseinheitliches Vorgehen sicher.

Ebenso wurde 1995 im Auftrag des BMU zwischen den Bundes- und Landesbehörden ein Intensivmessprogramm abgestimmt, das im Falle erhöhter Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt an die Stelle des Routinemessprogramms tritt. Auf der Grundlage der §§ 2 und 3 StrVG werden hierin umfangreichere Radioaktivitätsmessungen in kürzeren zeitlichen Abständen vorgeschrieben, mit denen schnell die radiologische Lage erfasst und eventuell erforderliche Vorsorgemaßnahmen zur Minimierung der Strahlenexposition durch die jeweils zuständigen Bundes- bzw. Landesministerien empfohlen werden können.

Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität erwuchs durch die Inbetriebnahme von Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1957 und 1958 und den späteren großtechnischen Einsatz der Kernspaltung zur Energiegewinnung als zusätzliche Aufgabe die Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen (Emission und Immission). Die rechtlichen Verpflichtungen dazu leiten sich aus dem Atomgesetz und der Strahlenschutzverordnung ab und werden sowohl von den Betreibern der Anlage selbst als auch von unabhängigen Messstellen der Länder umgesetzt. Die Messaufgaben sind in der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) von 1993 festgesetzt.

Überwachung der Umgebung bei bergbaulichen und anderen Tätigkeiten in den neuen Bundesländern

In den neuen Bundesländern wurde gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR die Strahlenexposition durch Inhalation kurzlebiger Radonzerfallsprodukte im Bergbau und bei anderen Tätigkeiten, die nicht Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Anwendung ionisierender Strahlung gemäß Strahlenschutzverordnung sind, überwacht. Die Art der Überwachung änderte sich durch das Inkrafttreten der Novelle der Strahlenschutzverordnung vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714) nur unwesentlich.

Tabelle 1 **Übersicht über die Verwaltungsbehörden des Bundes zur Überwachung der Umwelt- bzw. Umgebungsradioaktivität gemäß StrVG bzw. REI (Leitstellen)**
(Overview of the federal administrative authorities for the monitoring of environmental and ambient radioactivity in accordance with StrVG and REI)

| | |
|---|---|
| Deutscher Wetterdienst , Zentralamt Offenbach am Main | Messung von Luft und Niederschlag, Ausbreitungsprognose, Spurenanalyse |
| Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig | Spurenanalyse, Bereitstellung von Aktivitätsnormalen |
| Bundesanstalt für Gewässerkunde , Koblenz | Bundeswasserstraßen, oberirdische Gewässer Oberflächenwasser, Schwebstoff und Sediment |
| Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie , Hamburg | Nord- und Ostsee einschließlich Küstengewässer Meerwasser, Schwebstoff und Sediment |
| Bundesforschungsanstalt für Fischerei , Labor für Fischereiökologie, Hamburg | Fische, Fischprodukte, Krusten- und Schalentiere, Wasser- pflanzen, Plankton |
| Bundesanstalt für Ernährung und Lebensmittel , Institut für Chemie und Technologie der Milch, Kiel | Boden, Bewuchs, Futtermittel und Nahrungsmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft |
| Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt | Inkorporationsüberwachung der Bevölkerung Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Rest- stoffe und Abfälle Umweltradioaktivität, die aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlich radioaktiver Stoffe (besonders Radon und seine Folgeprodukte) stammt Tabakerzeugnisse, Bedarfsgegenstände, Arzneimittel und deren Ausgangsstoffe Fortluftüberwachung kerntechnischer Anlagen Gamma-Ortsdosisleistung, Spurenanalyse, Zusammenfas- sung der vom Bund ermittelten Daten über Luft und Niederschlag Abwasserüberwachung kerntechnischer Anlagen |

1. Natürliche Umweltradioaktivität (*Natural environmental radioactivity*)

Natürliche Radionuklide in der Umwelt

Natürliche Radionuklide sind Bestandteil unserer Umwelt. Ihrem Ursprung nach unterscheidet man zwischen den Radionukliden, die mit der Erdmaterie entstanden sind (primordiale Radionuklide) und denen, die durch die primäre kosmische Strahlung in der Atmosphäre ständig gebildet werden (kosmogene Radionuklide).

Die primordialen Radionuklide haben Halbwertszeiten (HWZ) in der Größenordnung von Milliarden Jahren. Ein Teil der primordialen Radionuklide wandelt sich unmitttelbar in stabile Elemente um. Das wichtigste Radionuklid in dieser Gruppe ist Kalium-40 (K-40), es kommt zu 0,0118% als Bestandteil des Elementes Kalium in der Natur vor. Zu dieser Gruppe gehören noch mehr als 10 Radionuklide, z. B. Rubidium-87 (Rb-87), die aber keinen wesentlichen Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition liefern.

Andere primordiale Radionuklide wandeln sich zunächst in Nuklide um, die wiederum radioaktiv sind, ehe am Ende dieser radioaktiven Zerfallsreihen stabile Elemente entstehen. Die für den Strahlenschutz wichtigen Radionuklide stammen aus diesen Zerfallsreihen:

- Uran-Radium-Zerfallsreihe, ausgehend von Uran-238 (U-238) mit einer HWZ von 4,5 Milliarden Jahren,
- Uran-Actinium-Zerfallsreihe, ausgehend von Uran-235 (U-235) mit einer HWZ von 0,7 Milliarden Jahren,
- Thorium-Zerfallsreihe, ausgehend von Thorium-232 (Th-232) mit einer HWZ von 14 Milliarden Jahren.

In jeder der Zerfallsreihen entsteht aus einem Radionuklid des Elementes Radium ein Nuklid des Edelgases Radon. In der Uran-Radium-Zerfallsreihe entsteht aus Radium-226 (Ra-226) das Radon-222 (Rn-222, HWZ 3,8 Tage), in der Thorium-Zerfallsreihe aus Radium-224 (Ra-224) das Radon-220 (Rn-220, HWZ 55,6 Sekunden) und in der Uran-Actinium-Zerfallsreihe aus dem Radium-223 (Ra-223) das Radon-219 (Rn-219, HWZ 3,96 Sekunden). Für den Strahlenschutz ist das Rn-222 von besonderer Bedeutung, in einigen Fällen muss auch das Rn-220 mit beachtet werden. Ohne Bedeutung ist dagegen das Rn-219.

Zur Gruppe der kosmogenen Radionuklide gehören u. a. Tritium (H-3, HWZ 12,3 Jahre), Beryllium-7 (Be-7, HWZ 53,3 Tage), Kohlenstoff-14 (C-14, HWZ 5.730 Jahre) und Natrium-22 (Na-22, HWZ 2,6 Jahre).

Natürliche Radionuklide im Boden

Der Gehalt natürlicher Radionuklide in Böden wird häufig durch den Gehalt der natürlichen Radionuklide im Ursprungsgestein bestimmt. Da in kieselsäurereichen Magmagessteinen der Gehalt an primordialen Radionukliden gewöhnlich höher ist als in anderen Gesteinen, findet man in Böden mit hohen Anteilen an Verwitterungsprodukten der Magmagessteine auch höhere Werte dieser Nuklide. In solchen Gebieten liegen die Werte für Ra-226 in einem Bereich bis zu 200 Bq/kg. Dazu gehören die Bergbauggebiete in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt, aber auch Gebiete im Bayerischen Wald und im Schwarzwald. Vor allem im norddeutschen Raum ist die spezifische Aktivität der Böden geringer. Für das gesamte Bundesgebiet wurde als mittlerer Ra-226-Gehalt der Böden der Wert von 30 Bq/kg abgeschätzt.

In Gesteinen befinden sich die Radionuklide der Zerfallsreihen in der Regel im Gleichgewicht. In den Böden kann dieses Gleichgewicht aus verschiedenen Gründen, z. B. durch unterschiedliche Löslichkeit der Radionuklide, gestört sein.

Natürliche Radionuklide im Wasser

Oberflächenwässer (einschließlich Meereswässer), Grund-, Quell- und insbesondere Trinkwässer wurden im Rahmen verschiedener Umweltüberwachungsprogramme und Forschungsvorhaben auf natürliche Radionuklide untersucht. Für die Strahlenexposition sind vor allem die Radionuklidkonzentrationen in den Grundwässern und den daraus gewonnenen Trinkwässern von Bedeutung. Untersuchungen an diesen Wässern zeigten, dass sich die Radionuklide der Zerfallsreihen meist nicht im radioaktiven Gleichgewicht befinden, d. h. im gleichen Wasser liegen unterschiedliche Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide einer Zerfallsreihe vor. Dies ist auf die unterschiedlichen chemischen Eigenschaften der einzelnen Radionuklide zurückzuführen, die deshalb in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Gegebenheiten der Wasservorkommen unterschiedliche Mobilitäten im aquatischen System aufweisen. Die gegenüber U-238 überwiegend höheren U-234-Konzentrationen beruhen auf Rückstoßprozessen infolge des Alpha-Zerfalles von Uran-238 in den Gesteinspartikeln des Grundwasserleiters im Bereich der Phasengrenze fest/flüssig und der daraus resultierenden stärkeren Auslaugung von U-234 aus den Gesteinspartikeln.

In den Trinkwässern Deutschlands liegen die Medianwerte für U-238 und U-234 bei 2,6 mBq/l bzw. 4,4 mBq/l mit Wertebereichen von < 0,7 bis 350 mBq/l bzw. < 1 bis 580 mBq/l. Für Ra-226 und Ra-228 betragen die Medianwerte 6,3 mBq/l bzw. 5,6 mBq/l, wobei Maximalwerte von bis zu 350 bzw. 75 mBq/l auftreten.

Aus den Messungen der Rn-222-Konzentrationen in Trinkwässern Deutschlands ergibt sich ein Median von 5,9 Bq/l. Etwa 10% der Werte liegen oberhalb von 50 Bq/l, der Maximalwert beträgt 1500 Bq/l.

Natürliche Radionuklide in der bodennahen Atmosphäre

In der bodennahen Luft befinden sich vor allem die für die Strahlenexposition wichtigen Isotope des Edelgases Radon und deren Zerfallsprodukte. Die übrigen Radionuklide der Uran-Radium- und Thorium-Zerfallsreihe sind bei den natür-

licherweise auftretenden Staubkonzentrationen für die Strahlenexposition von untergeordneter Bedeutung. Von untergeordneter Bedeutung für die Strahlenexposition sind auch die kosmogenen Radionuklide.

Die Konzentrationen von Rn-222 und Rn-220 in der Luft sind abhängig von der Exhalationsrate des Untergrundes, von meteorologischen und orographischen Bedingungen sowie von der Höhe über dem Erdboden.

Für den größten Teil Deutschlands liegt die Konzentration des Rn-222 im Freien im Bereich von 5 - 30 Bq/m³. In Gebieten mit besonderen geologischen Bedingungen und bei orographischen Bedingungen, die den Luftaustausch erschweren (z. B. in Tälern), können auch höhere Konzentrationen auftreten. Als obere Grenze des natürlich vorkommenden Konzentrationsbereiches gelten 80 Bq/m³.

Die Konzentrationen von Rn-220 sind niedriger als die des Rn-222. Als durchschnittliche Konzentration wird der Wert 0,15 Bq/m³ geschätzt.

Auf die Radonkonzentration in Gebäuden wird im Kapitel 2.2 näher eingegangen.

Natürliche Radionuklide in der Nahrung

Die Aufnahme der natürlichen Radionuklide hängt von deren Gehalt in der Nahrung und dem Metabolismus der Radionuklide ab. Das mit der Nahrung aufgenommene Kalium führt zu einer mittleren spezifischen Aktivität von 60 Bq K-40 pro Kilogramm Körpergewicht. Aus der Uran-Radium-Zerfallsreihe tragen vor allem das Pb-210 und Po-210 mit einer mittleren altersgewichteten jährlichen Zufuhr von 30 Bq bzw. 58 Bq (UNSCEAR 2000 [1]) zur Strahlenexposition bei. Von den Nukliden aus der Thorium-Zerfallsreihe ist das Ra-228 zu beachten. In [1] wird dafür eine jährliche Zufuhr von 15 Bq angegeben.

Natürliche Strahlenexposition

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, wobei zwischen der äußeren Strahlenexposition terrestrischen und kosmischen Ursprungs und der inneren Strahlenexposition durch die Aufnahme radioaktiver Stoffe über Inhalation und Ingestion unterschieden wird.

Äußere Strahlenexposition

Ein wesentlicher Beitrag zur äußeren Strahlenexposition wird durch die terrestrische Komponente der Gamma-Strahlung verursacht, die auf den Gehalt der Böden an Radionukliden der Thorium- und der Uran-Radium-Reihe sowie an K-40 zurückzuführen ist.

Im Freien ist die Strahlenexposition von der spezifischen Aktivität in der obersten Bodenschicht bis zu 50 cm Tiefe abhängig. Im Mittel wurden für die Gamma-Ortsdosisleistung im Freien auf nicht versiegelten Flächen (terrestrische Gamma-Ortsdosisleistung) 57 nSv/h bestimmt (Photonenäquivalentdosisleistung). Höhere Werte der terrestrischen Gamma-Ortsdosisleistung, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere in Gebieten festgestellt, in denen an der Oberfläche Granitmassive anstehen, und über Böden in solchen Gebieten. Beispiele dafür sind wiederum die bereits genannten Bergbaugebiete und Gebiete im Bayerischen Wald und im Schwarzwald.

In den urbanen Gebieten wird die Gamma-Ortsdosisleistung durch den Aktivitätsgehalt der zum Straßen- und Häuserbau verwendeten Materialien bestimmt. Ein Zusammenhang mit der terrestrischen Gamma-Ortsdosisleistung in der unmittelbaren Umgebung besteht in der Regel nicht.

In Gebäuden wird die äußere Strahlenexposition vorwiegend durch den Aktivitätsgehalt der verwendeten Baustoffe und nur zu einem geringen Teil durch die Beschaffenheit des Untergrundes bestimmt. Bei einem Wertebereich von 20 - 700 nSv/h beträgt die Gamma-Ortsdosisleistung im Mittel 80 nSv/h (Photonenäquivalentdosisleistung).

Die durch die terrestrische Strahlung verursachte jährliche effektive Dosis der Bevölkerung beträgt im Bundesgebiet im Mittel etwa 0,4 mSv, davon entfallen auf den Aufenthalt im Freien ca. 0,1 mSv und auf den Aufenthalt in Gebäuden etwa 0,3 mSv.

Zur externen Strahlenexposition trägt auch die kosmische Strahlung bei. Den wesentlichen Anteil zur Strahlenexposition liefert die ionisierende Komponente der sekundären kosmischen Strahlung, die in Meereshöhe eine Äquivalentdosisleistung von 32 nSv/h verursacht. Sie nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu (Verdopplung bei jeweils 1500 m Höhenzunahme). Die Äquivalentdosisleistung der Neutronenkomponente beträgt demgegenüber nur 3,6 nSv/h. Sie steigt schneller mit zunehmender Höhe an.

Insgesamt ergibt sich für die kosmische Strahlenexposition in Meereshöhe in Deutschland eine jährliche effektive Dosis von ca. 0,3 mSv.

Innere Strahlenexposition

Wesentlich zur inneren Strahlenexposition tragen die kurzlebigen Zerfallsprodukte des Rn-222 und des Rn-220 bei, die meist an Aerosole angelagert beim Einatmen im Atemtrakt abgeschieden werden und dort durch Alpha-Strahlung die Strahlenexposition hervorrufen. Rn-222 und Rn-220 verursachen nur eine vergleichsweise geringe Strahlenexposition. Der wesentlichste Teil der gesamten effektiven Dosis, die der Mensch durch natürliche Strahlenquellen erhält, resultiert aus der Strahlenexposition durch die kurzlebigen Rn-222-Zerfallsprodukte.

Unter durchschnittlichen Bedingungen wird dadurch eine jährliche effektive Dosis von 1,1 mSv verursacht. Davon resultieren etwa 0,9 mSv aus dem Aufenthalt in Gebäuden und 0,2 mSv aus dem Aufenthalt im Freien. Allerdings muss auf die große Variationsbreite, vor allem der Konzentrationen von Rn-222 in Gebäuden, hingewiesen werden.

Die jährliche effektive Dosis, die durch Inhalation der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen zustande kommt, beträgt nur 0,005 mSv und wird vor allem durch Pb-210 verursacht.

Die innere Strahlenexposition durch K-40 wird durch den Kaliumgehalt des Körpers bestimmt. Der durchschnittliche K-40-Gehalt im Körper beträgt 4000 Bq. Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis von 0,165 mSv.

Für die übrigen Radionuklide wird die innere Strahlenexposition aus der Zufuhr (Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung) berechnet. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen variieren die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln deutlich. Folglich ist auch die Radionuklidzufuhr regional sehr unterschiedlich. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2000 [1] abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung und dem Trinkwasser eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,3 mSv ergibt.

Gesamte Strahlenexposition

Aus der Inhalation und Ingestion natürlicher Radionuklide ergibt sich bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten im Mittel eine jährliche effektive Dosis von etwa 1,4 mSv. Hinzu kommt die externe Strahlenexposition mit 0,7 mSv. Davon entfallen 0,3 mSv auf die kosmische und 0,4 mSv auf die terrestrische Komponente. Insgesamt ergibt sich daraus in Deutschland eine mittlere jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. In Anbetracht der Variationsbereiche der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch Rn-222, liegt die jährliche effektive Dosis für die durchschnittlichen Verhältnisse in Deutschland im Bereich zwischen 2 und 3 mSv. Im UNSCEAR Report 2000 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse in der nördlichen Hemisphäre ein Wert von 2,4 mSv angegeben [1].

Literatur

- [1] United Nations: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 1982, 1988, 1993, 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York 1982, 1988, 1993, 2000

2. Zivilisatorisch veränderte natürliche Umweltradioaktivität (Technologically enhanced natural environmental radioactivity)

2.1 Hinterlassenschaften aus Bergbau und Industrie (Residues of mining and industry)

Mineralische Rohstoffe und Kohlen können Uran- und Thoriumgehalte aufweisen, die über denen liegen, die in oberflächennahen Gesteinen und Böden vorkommen. Bei der Gewinnung, Aufbereitung und Verarbeitung dieser Stoffe wird die natürliche Radioaktivität oft in den Rückständen angereichert. So sind über Jahrhunderte im Bergbau und in der Industrie zahlreiche Rückstände mit erhöhter natürlicher Radioaktivität entstanden, die in großen Mengen in der Umwelt abgelagert wurden. Aspekte des Umwelt- und Strahlenschutzes wurden dabei meist nicht beachtet.

Aus diesen Ablagerungen, wie Halden und Absetzbecken, können die natürlichen Radionuklide in die Umweltmedien freigesetzt werden und in Abhängigkeit von den Standortbedingungen zu erhöhten Strahlenexpositionen der Bevölkerung führen. Auch andere Hinterlassenschaften (z. B. Schächte, Stollen sowie ehemalige Betriebsflächen) können Ursache einer erhöhten Strahlenexposition der Bevölkerung sein.

Infolge der geologischen Situation in Deutschland liegt der Schwerpunkt der aus der Sicht des Strahlenschutzes zu berücksichtigenden Hinterlassenschaften in den Bundesländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, wo sowohl der historische Bergbau (Silber, Kupfer, Zinn u. a. Nichteisenmetalle) als auch der Uranbergbau betrieben wurde und zu zahlreichen Halden, Schächten und anderen Hinterlassenschaften geführt hat.

Hinterlassenschaften der Uranproduktion in Sachsen und Thüringen

Viele der Hinterlassenschaften der Uranproduktion, die nach Ende des 2. Weltkrieges in Sachsen und Thüringen begann, befanden sich zum Zeitpunkt der Wiederherstellung der deutschen Einheit in der Zuständigkeit der SDAG Wismut. Ende 1990 wurde die Uranproduktion auch aus Gründen des Umwelt- und des Strahlenschutzes eingestellt. Mit der Verwahrung und Sanierung der Hinterlassenschaften wurde die Wismut GmbH beauftragt, die eigens zu diesem Zweck gegründet wurde und deren alleiniger Gesellschafter die Bundesregierung ist. Die Wismut GmbH hat ihren Sitz in Chemnitz und hat gegenwärtig (2006) folgende Niederlassungen:

- Aue mit den Standorten Schlema – Alberoda und Pöhla,
- Königstein mit den Standorten Königstein und Gittersee in Sachsen und
- Ronneburg, zu der die Standorte Ronneburg und Seelingstätt (Thüringen) sowie Crossen (Sachsen) gehören.

Die untertägigen Verahrungs- und Sanierungsarbeiten sind bereits weitgehend abgeschlossen. Derzeit wird die Flutung der Grubenfelder in Schlema / Alberoda und im ostsächsischen Bergbaugesamt bei Königstein fortgesetzt. Die Wasserbehandlung der austretenden Grubenwässer wird in den nächsten Jahrzehnten aber weiterhin notwendig sein.

Schwerpunkt der übertägigen Arbeiten ist die Sanierung von Halden und Absetzanlagen, wobei die Gestaltung der Landschaft um Ronneburg im Rahmen der geplanten Bundesgartenschau 2007 beispielhaft die Rekultivierung und Einbindung der ehemaligen Bergbauflächen in die Landschaft dokumentiert. Die Verahrung der ehemaligen Absetzanlagen der Erzaufbereitung (Konturierung, Endabdeckung und Behandlung der Sickerwässer) schreitet kontinuierlich voran.

Bei den Verahrungs- und Sanierungsarbeiten der Wismut GmbH werden mit Genehmigung der zuständigen Behörden vor allem Radionuklide der Uran-/Radiumzerfallsreihe mit der Fortluft¹ und mit den Schacht- oder Abwässern in die Umwelt abgeleitet. Die Genehmigungen enthalten sowohl Festlegungen über die bei den Ableitungen einzuhaltenden jährlichen Ableitungsmengen als auch einzuhaltende Maximalkonzentrationen für einzelne Radionuklide.

Die Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser sowie die Überwachung der Konzentration dieser radioaktiven Stoffe in den Umweltmedien Luft, Boden, Lebens- und Futtermittel, Wasser und Sedimente erfolgt seit 1997 nach den Vorgaben der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung bei bergbaulichen Tätigkeiten (REI Bergbau). Die Kontrolle der Emissions- und Immissionsüberwachung des Sanierungsunternehmens, der Wismut GmbH, wird von unabhängigen Messstellen vorgenommen, die von den zuständigen Landesbehörden beauftragt werden.

In Teil B - I - 2.1 werden die Werte der jährlichen Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Fortluft und Abwasser (Genehmigungswerte und Werte der Ableitungen) angegeben und vor dem Hintergrund der langjährigen Entwicklung diskutiert.

Um einen Überblick über die Immissionssituation in den betroffenen Regionen zu geben, werden darüber hinaus auch Daten von Messstellen zur Überwachung

- der Luft (Werte der Radon-222(Rn-222)-Konzentration in der bodennahen Atmosphäre) und
- der Oberflächengewässer (Werte der Urankonzentration und Radium-226(Ra226)-Aktivitätskonzentration in Vorflutern mit regionaler und überregionaler Bedeutung)

angegeben und bewertet. Die Bewertung dieser Daten orientiert sich jeweils am geogen bedingten Konzentrationsniveau der natürlichen Radioaktivität und berücksichtigt ebenfalls den langjährigen Trend.

Über die Emissions- und Immissionsüberwachung hinaus führt die Wismut GmbH ein umfangreiches Monitoring durch, das an den jeweiligen Stand der Sanierungsarbeiten angepasst wird. Aufgaben dieses Monitorings sind sowohl die Überwachung der Schutzgüter Boden, Wasser und Luft als auch die Überwachung geotechnischer, bergschadenskundlicher und seismischer Besonderheiten in den betroffenen Regionen.



Hinterlassenschaften des historischen Bergbaus in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

Als einigungsbedingte Sonderaufgabe beauftragte die Bundesregierung das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) durch das StrVG mit den erforderlichen Untersuchungen, um die radiologische Situation in den betroffenen Regionen insgesamt zu klären. In den Jahren 1991 – 1999 wurde das Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten - Altlastenkataster“ durchgeführt [1]. Im Ergebnis dieses Projektes zeigte sich, dass in diesen Ländern infolge des Bergbaus insgesamt etwa 130 Mio. m³ Haldenmaterial, etwa 20 Mio. m³ Schlacken und etwa 30 Mio. m³ Aufbereitungsrückstände abgelagert wurden, die Ursache erhöhter Strahlenexpositionen sein können und deshalb für den Strahlenschutz relevant sind („radiologisch relevante“ Hinterlassenschaften).

Die im Projekt erhobenen Daten und Informationen zu den bergbaulichen Hinterlassenschaften stehen den für den Vollzug des Strahlenschutzrechtes zuständigen Landesbehörden als Grundlage für die nur fall- und standortbezogen zu treffende Entscheidung über Nutzungsmöglichkeiten oder Sanierungsnotwendigkeit zur Verfügung.

Hinterlassenschaften aus der Industrie

Im Ergebnis der intensiven industriellen Entwicklung, die sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts in Deutschland vollzog, entstand eine Vielzahl von Rückständen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität, für die keine Verwendungsmöglichkeiten bestanden und die auf kostengünstigste Weise durch Deponierung in der Umwelt beseitigt wurden. Gesichtspunkte des Umweltschutzes, des Grundwasserschutzes, aber auch des Strahlenschutzes waren nicht bekannt oder/und wurden nicht berücksichtigt. Es entstanden Deponien mit ganz unterschiedlichen Ausmaßen, in denen diese Rückstände mit teilweise mit anderen Materialien (z. B. Hausmüll) vermischt wurden.

Zu den möglichen Mengen solcher Rückstände gibt es zurzeit nur eine grobe Schätzung des BfS, die auf industriege-schichtlichen Recherchen aufbaut. Danach wird das Gesamtvolumen der in Deutschland seit Beginn der Industrialisierung abgelagerten Rückstände von sechs Industriebereichen dominiert und kann eine Größenordnung von 100 Mio. m³ erreichen. Da nur wenige Standorte mit Ablagerungen solcher Rückstände bekannt und ausreichend untersucht sind, sind kaum zuverlässige Aussagen über deren radiologische Bedeutung möglich. Die folgende Tabelle 2.2-1 gibt einen Überblick über die Industriebereiche und die jeweils abgeschätzte Menge der deponierten Rückstände.

1. Hier sind im Wesentlichen Abwetter von Untertage gemeint.

Tabelle 2.1-1 Abschätzung der Menge von industriellen Rückständen mit erhöhter natürlicher Radioaktivität
(*Estimation of the amount of industrial residue with increased natural radioactivity*)

| Industriebereich / Prozess | Art der Rückstände | | | | |
|---|--|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Schlämme | Schlacken | Scales | Flugaschen | Gips |
| Primärförderung von Rohöl und Erdgas | - | - | 500 – 12.000 m ³ | - | - |
| Verarbeitung von Rohphosphat zur Herstellung von Phosphorsäure und Düngemitteln | - | - | - | - | 4 – 25 Mio. m ³ |
| Roheisenmetallurgie einschließlich Rauchgasreinigung | 2 – 3 Mio. m ³ | 2– 3 Mio. m ³ | - | - | - |
| Aufbereitung von Bauxit zur Aluminiumgewinnung (Bayer-Verfahren) | 14 – 35 Mio. m ³ | - | - | - | - |
| Rauchgasreinigung bei der Verbrennung von Steinkohle | - | - | - | 2 – 20 Mio. m ³ | - |
| Aufbereitung von Grundwasser zu Trinkwasser (Eisen- und Manganfällung) | 2 – 7 Mio. m ³ | - | 12.000 – 25.000 m ³ | - | - |
| Summe | 18 – 45 Mio. m³ | 2 – 3 Mio. m³ | 12.500 – 37.000 m³ | 2 – 20 Mio. m³ | 4 – 25 Mio. m³ |
| Gesamt | ca. 25 – 100 Mio. m³ | | | | |

Literatur

- [1] Ettenhuber E, Gehrcke K, 2001: „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten“, Abschlussbericht, BfS-SCHR-22/2001

2.2 Radon in Gebäuden (*Radon in buildings*)

Radon und seine Zerfallsprodukte werden vom Menschen mit der Atemluft im Freien und in Gebäuden aufgenommen. Während das Edelgas Radon zum größten Teil wieder ausgeatmet wird, werden seine Zerfallsprodukte (dabei handelt es sich um die radioaktiven Schwermetalle Polonium-218 (Po-218), Wismut-214 (Bi-214), Blei-214 (Pb-214), Polonium-214 (Po-214), Blei 210 (Pb-210) und Polonium-210 (Po-210)) im Atemtrakt angelagert. Die dort beim radioaktiven Zerfall auftretende Strahlung führt zu einer Exposition, die in Deutschland zu einer mittleren effektiven Dosis von insgesamt 1,1 Millisievert pro Jahr (mSv/a) führt. Davon werden der Strahlenexposition durch Radon in Gebäuden 0,9 mSv/a zugerechnet. Andere Organe werden durch Radon und seine Zerfallsprodukte nach derzeitiger Kenntnis weitaus weniger belastet.

In einer Reihe internationaler Studien wurde der Zusammenhang zwischen einer langjährigen Exposition durch Radon in Wohnungen und dem Auftreten von Lungenkrebs untersucht. Auf der Grundlage zusammenfassender Auswertungen dieser Studien in Europa und Nordamerika kommt die deutsche Strahlenschutzkommission [1] zu folgender Bewertung:

- Es zeigt sich ein klarer Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration,
- dieser Zusammenhang ist auch für lebenslange Nichtraucher nachweisbar,
- eine signifikante Risikoerhöhung wurde ab einem Konzentrationsintervall von 100 – 199 Bq/m³ festgestellt,
- es wird von einer linearen Expositions-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert ausgegangen.

Die Radonkonzentration in Gebäuden variiert in Deutschland in einem breiten Bereich. Der bundesweite Jahresmittelwert in Wohnräumen beträgt ungefähr 50 Bq pro m³ Raumluft. Während die Mehrzahl der Messwerte unter diesem Wert liegt, kommen auch Häuser mit einigen Tausend Bq/m³ vor.

Regionale Unterschiede der Radonkonzentration in Gebäuden werden vor allem durch das Radonangebot des Baugrundes bestimmt, das von der Geologie des Grundgebirges, der Art und Mächtigkeit der Bedeckung und tektonischen Störungen abhängig ist. Ein Maß für das Radonangebot ist die Radonkonzentration in der Bodenluft. Die letztendlich im einzelnen Gebäude vorkommende Radonkonzentration hängt von der Bauweise, vor allem von der Dichtheit des Hauses gegenüber dem Baugrund, der inneren Strukturierung des Gebäudes und dem technisch vorgegebenen sowie individuell bestimmten Heizungs-/Lüftungsregime ab.

Durch Bergbau kann über vermehrte Wegsamkeiten in Form von bergmännischen Auffahrungen und Rissbildungen im Deckgebirge das Radonangebot aus dem Untergrund erhöht werden. Wenn am Baukörper Undichtigkeiten infolge von Senkungen des Baugrundes entstehen, muss zusätzlich noch mit einem höheren Radoneintritt in die betroffenen Gebäude gerechnet werden.

Generell sollte die Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen möglichst niedrig sein. Diesem Bestreben sind jedoch im Allgemeinen praktische Grenzen dadurch gesetzt, dass der Beitrag des in der Außenluft vorkommenden Radons zur Innenraumkonzentration und die Radonfreisetzungen aus den Baumaterialien der bestehenden Häuser kaum beeinflussbar sind. Die Summe beider Komponenten liefert für Aufenthaltsräume einen Anteil, der üblicherweise nicht über 100 Bq/m^3 Innenraumluft liegt. Höhere Radonkonzentrationen in Gebäuden werden in Deutschland vor allem durch das in der Bodenluft des Baugrundes vorhandene und in das Gebäude eindringende Radon bestimmt. Mehr als 100 Bq/m^3 in Aufenthaltsräumen können mit vertretbarem Aufwand beim Neubau vermieden und in der Mehrzahl der Fälle in bestehenden Häusern reduziert werden. Unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit ist aus dem Spektrum der verfügbaren Maßnahmen die für den Einzelfall geeignete auszuwählen.

Sowohl die bisher in über 60.000 Häusern durchgeführten Radonmessungen als auch die Untersuchungen der Bodenluft zeigen, dass es große Gebiete gibt, in denen auf Grund der geologischen Verhältnisse keine erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden vorkommen und in denen deshalb keine besonderen Maßnahmen gegen den Eintritt von Bodenradon erforderlich sind.

Aktuelle Daten zu Radon in Gebäuden sind gegebenenfalls in Teil B - I - 2.2 dargestellt.



Literatur

- [1] Strahlenschutzkommission (Hrsg.) 2005 : „Lungenkrebsrisiko durch Radonexposition in Wohnungen“, verabschiedet auf der 199. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21./22. April 2005

2.3 Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten (*Radioactive substances in building materials and industrial products*)

Zur vollständigen Bewertung der Strahlenexposition, die in Gebäuden auftreten kann, werden seit mehr als 25 Jahren in Deutschland Untersuchungen über den Gehalt natürlicher Radionuklide in Baumaterialien und industriellen Rückständen durchgeführt. Es wurden die spezifischen Aktivitäten des Radium-226 (Ra-226), Thorium-232 (Th-232) und Kalium-40 (K-40) in mehr als 1.500 Proben von Natursteinen, Baustoffen und Industrieprodukten bestimmt.

Wie die Tabelle 2.3-1 verdeutlicht, variiert die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide auch innerhalb der einzelnen Materialarten in einem großen Bereich. Unter den Natursteinen besitzen vor allem kieselsäurereiche Magmasteine vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

Von den natürlichen Radionukliden in Baumaterialien geht im Wesentlichen eine äußere Exposition durch Gammastrahlung und eine innere Strahlenexposition durch Inhalation von in die Raumluft freigesetztem Radon und den daraus entstehenden Zerfallsprodukten aus.

In Deutschland wird zunehmend die Verwendbarkeit von Rückständen in der Baustoffindustrie untersucht.

Bestimmte Rückstände aus industriellen Verarbeitungsprozessen können erhöhte Gehalte natürlicher Radionuklide aufweisen. Bei Verwendung dieser Rückstände, z. B. bei ihrem Einsatz als Sekundärrohstoff im Bauwesen, sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Um dies zu vermeiden, werden im Teil A der Anlage XII der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [1] die Rückstände genannt, bei deren Verwendung oder Deponierung Gesichtspunkte des Strahlenschutzes beachtet werden sollten. Durch die ebenfalls in Anlage XII der StrlSchV festgelegten Überwachungsgrenzen für die Verwertung dieser Materialien wird sichergestellt, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv pro Jahr nicht überschritten wird.

Mit den Festlegungen der StrlSchV wird ein wichtiges Instrumentarium zum Vollzug des Strahlenschutzes im Rahmen der Baugesetzgebung zur Verfügung gestellt. Gemäß der Bauproduktenrichtlinie (89/106/EWG) darf in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt. Diese Richtlinie wird mit dem Bauproduktengesetz [2] umgesetzt. Auf der Grundlage der Landesbauordnungen ist die Verwendbarkeit der Bauprodukte geregelt. Mit dem Mandat M/366 [3] hat die Europäische Kommission die europäischen Normungsinstitute CEN und CENELEC mit der Entwicklung harmonisierter Untersuchungsmethoden von gefährlichen Substanzen im Sinne der oben genannten Richtlinie beauftragt. Die natürliche Radioaktivität in Baumaterialien wird in dieser Norm berücksichtigt soweit sie in notifizierten Regelungen der Mitgliedstaaten begrenzt ist.

Tabelle 2.3-1 Spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen und Industrieprodukten
(Specific activity of natural radionuclides in building materials and industrial products)

| Baustoffe und sonstige Materialien | Radium-226 | | Thorium-232 | | Kalium-40 | |
|--|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-----------------|
| | Mittelwert (Bereich) | | Mittelwert (Bereich) | | Mittelwert (Bereich) | |
| Spezifische Aktivität in Bq/kg TM | | | | | | |
| Baustoffe natürlichen Ursprungs | | | | | | |
| Granit | 100 | (30 - 500) | 120 | (17 - 311) | 1.000 | (600 - 4.000) |
| Granodiorit | 56 | (40 - 73) | 44 | (37 - 104) | 850 | (380 - 990) |
| Syenit | 30 | | 31 | | 670 | |
| Dolerit | 20 | (10 - 29) | 30 | (8 - 44) | 290 | (22 - 380) |
| Gneis | 75 | (50 - 157) | 43 | (22 - 50) | 900 | (830 - 1.500) |
| Diabas | 16 | (10 - 25) | 8 | (4 - 12) | 170 | (100 - 210) |
| Basalt | 26 | (6 - 36) | 29 | (9 - 37) | 270 | (190 - 380) |
| Granulit | 10 | (4 - 16) | 6 | (2 - 11) | 360 | (9 - 730) |
| Grauwacke | 41 | (26 - 51) | 35 | (13 - 46) | 760 | (700 - 780) |
| Phonolit | 56 | | 104 | | 1.270 | |
| Amphibolit | 8 | | 9 | (8 - 9) | 260 | (180 - 310) |
| Serpentinit | 3 | | 7 | | 180 | |
| Quarzporphyr | 54 | (15 - 86) | 77 | (53 - 98) | 1.300 | (1.000 - 2.100) |
| Porphyrtuff | 47 | (44 - 52) | 206 | (130 - 240) | 720 | (22 - 1.700) |
| Orthophyr | 17 | | 22 | | 1300 | |
| Lamprophyr | 17 | (6 - 30) | 12 | (7 - 21) | 270 | (130 - 330) |
| Augitporphyr | 55 | (46 - 61) | 67 | (57 - 79) | 1.100 | (1.000 - 1.300) |
| Hornblendeschiefer | 13 | | 14 | | 380 | |
| Frucht-/Phycodenschiefer | 38 | (34 - 45) | 59 | (56 - 73) | 780 | (760 - 930) |
| Oolit | 19 | | 31 | | 580 | |
| Augit | 65 | | 51 | | 970 | |
| Kalkstein/Marmor | 24 | (4 - 41) | 5 | (2 - 20) | 90 | (< 40 - 240) |
| Travertin | 4 | | 19 | | 20 | |
| Sandstein, Quarzit | 20 | (13 - 70) | 25 | (15 - 70) | 500 | (< 40 - 1.100) |
| Kies, Sand, Kiessand | 15 | (1 - 39) | 16 | (1 - 64) | 380 | (3 - 1.200) |
| Gips, Anhydrit | 10 | (2 - 70) | 7 | (1 - 100) | 70 | (6 - 380) |
| Flintstein | 6 | | 1 | | 1 | |
| Kaolin | 90 | (30 - 200) | 100 | (70 - 200) | 600 | (200 - 1.000) |
| Lava | 42 | (20 - 70) | 42 | (25 - 60) | 720 | (490 - 890) |
| Tuff, Bims | 100 | (<20 - 200) | 100 | (30 - 300) | 1.000 | (500 - 2.000) |
| Ton, Lehm | 40 | (<20 - 90) | 60 | (18 - 200) | 1.000 | (300 - 2.000) |
| Finalbaustoffe, Bindemittel | | | | | | |
| Ziegel/Klinker | 50 | (10 - 200) | 52 | (12 - 200) | 700 | (100 - 2.000) |
| Beton | 30 | (7 - 92) | 23 | (4 - 71) | 450 | (50 - 1.300) |
| Kalksandstein, Porenbeton | 15 | (6 - 80) | 10 | (1 - 60) | 200 | (40 - 800) |
| Leichtbeton (nicht spezifiziert) | 30 | (<20 - 90) | 30 | (< 20 - 80) | 1100 | (700 - 1.600) |
| Leichtbetonsteine mit Zuschlag aus: | | | | | | |
| Bims | 80 | (20 - 200) | 90 | (30 - 300) | 900 | (500 - 2.000) |
| Blähton, Blähschiefer | 30 | (< 20 - 80) | 30 | (< 20 - 60) | 400 | (40 - 700) |
| Schlacke | 100 | (20 - 700) | 100 | (20 - 200) | 500 | (300 - 1.000) |
| Ziegelsplitt | 40 | (30 - 70) | 60 | (30 - 100) | 500 | (400 - 600) |
| Hohlblocksteine | 40 | (15 - 59) | 25 | (4 - 52) | 320 | (60 - 800) |
| Holzwohle-Leichtbauplatten | 21 | (19 - 25) | 12 | (11 - 14) | 210 | (50 - 360) |
| Wandfliesen | 50 | (15 - 100) | 55 | (25 - 130) | 560 | (250 - 1.000) |
| Asbestzement | 20 | (< 20 - 40) | 20 | (11 - 40) | 100 | (< 40 - 300) |
| Schamotte | 60 | (20 - 100) | 70 | (40 - 200) | 400 | (200 - 600) |

(Fortsetzung Tabelle)

| Baustoffe und sonstige Materialien | Radium-226 Mittelwert (Bereich) | | Thorium-232 Mittelwert (Bereich) | | Kalium-40 Mittelwert (Bereich) | |
|--|------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------|
| | Spezifische Aktivität in Bq/kg TM | | | | | |
| Ofenkacheln | 74 | | 70 | | 310 | |
| Schlackenwolle | 94 | | 31 | | 110 | |
| Schlämme | 9 | | 2 | | 26 | |
| Zement (nicht spezifiziert) | 97 | (23 - 330) | 20 | (11 - 37) | 320 | (110 - 500) |
| Portlandzement | 30 | (10 - 50) | 20 | (10 - 40) | 200 | (100 - 700) |
| Hüttenzement | 60 | (20 - 100) | 80 | (30 - 200) | 100 | (< 40 - 200) |
| Tonerdenschmelzzement | 150 | (100 - 200) | 150 | (100 - 200) | 40 | |
| Kalk, Kalkhydrat | 30 | (13 - 60) | 41 | (2 - 93) | 150 | (20 - 600) |
| Fertigmörtel, Fertigputz | 30 | (< 20 - 100) | 30 | (< 20 - 100) | 300 | (< 40 - 500) |
| Mineralische Roh- und industrielle Abfallstoffe, sonstige Materialien | | | | | | |
| Schlacken | | | | | | |
| Cu-Schlacke, alte Produktion | 1500 | (860 - 2100) | 48 | (18 - 78) | 520 | (300 - 730) |
| Cu-Schlacke, neue Produktion | 770 | (490 - 940) | 52 | (41 - 60) | 650 | (530 - 760) |
| P-Schlacke | 53 | (32 - 86) | 74 | (65 - 82) | 170 | (58 - 270) |
| Ni-Schlacke | 52 | | 78 | | 76 | |
| Ni-Mn-Schlacke | 311 | | 37 | | 710 | |
| Al-Schlacke | 14 | (12 - 16) | 8 | (6 - 9) | 750 | (360 - 960) |
| Fe-Cr-Si-Schlacke | 9 | | 6 | | 10 | |
| Sn-Schlacke | 1.100 | (1.000 - 1.200) | 300 | (230 - 340) | 330 | |
| Siemens-Martin-Schlacke | 20 | | 7 | | 22 | |
| Pb-Schlacke | 270 | | 36 | | 200 | |
| S-Schlacke | 12 | (8 - 15) | < 10 | | 58 | (30 - 85) |
| Frischschlacke | 19 | (17 - 23) | 6 | (5 - 8) | 20 | (10 - 34) |
| Thomasschlacke (Belgien) | 19 | | - | | - | |
| Stahlschlacke | 10 | (6 - 13) | 4 | (1 - 7) | 11 | (1 - 21) |
| Kupolofenschlacke | 110 | | 47 | | 210 | |
| Verblasofenschlacke | 1.000 | (980 - 1.100) | 286 | (260 - 310) | - | |
| Kesselschlacke | 68 | (24 - 110) | 54 | (7 - 120) | 200 | (20 - 330) |
| Hochofenschlacke | 100 | (40 - 200) | 100 | (30 - 300) | 500 | (200 - 1.000) |
| Bergbauabraum | 700 | (36 - 5.900) | 70 | (27 - 100) | 700 | (40 - 1.200) |
| Aufbereitungsrückstände (Nichturanindustrie) | 170 | (9 - 310) | 84 | (3 - 250) | 130 | (1 - 280) |
| Braunkohlenfilterasche (Ostdeutschland) | 82 | (4 - 200) | 51 | (6 - 150) | 147 | (12 - 610) |
| Flugasche (nicht spezifiziert) | 200 | (26 - 1110) | 100 | (14 - 300) | 700 | (170 - 1450) |
| Chemiegips aus: | | | | | | |
| Apatit | 60 | (40 - 70) | < 20 | | - | |
| Phosphorit | 550 | (300 - 1.100) | 20 | (< 4 - 160) | 110 | (< 40 - 300) |
| Rauchgasentschwefelung | 8 | (3 - 70) | 6 | (4 - 20) | 50 | (< 20 - 80) |
| Flussspat | 35 | | 8 | | 280 | |
| Schwerspat | 180 | | 17 | | 350 | |
| Feldspat | 60 | (40 - 100) | 100 | (70 - 200) | 3000 | (2.000 - 4.000) |
| Bauxit (Ungarn) | 170 | | 100 | | < 20 | |
| Bauxit (Zaire) | 240 | | 120 | | < 30 | |
| Bauxit (Guayana) | 33 | | 170 | | 66 | |
| Bauxit (Rotschlamm) | 200 | (< 20 - 800) | 400 | (50 - 1000) | 400 | (< 20 - 1.000) |
| Eisenerz (Brasilien) | 22 | | 4 | | - | |
| Eisenerz (Indien) | 21 | | 2 | | 27 | |
| Rohphosphat (nicht spezifiziert) | 1.000 | (100 - 2.000) | 40 | (< 20 - 100) | 500 | (< 40 - 900) |
| Apatit (GUS) | 30 | | 60 | | 100 | |
| Phosphorit (GUS) | 390 | | 25 | | 230 | |

(Fortsetzung Tabelle)

| Baustoffe und sonstige Materialien | Radium-226 Mittelwert (Bereich) | | Thorium-232 Mittelwert (Bereich) | | Kalium-40 Mittelwert (Bereich) | |
|------------------------------------|------------------------------------|----------------|-------------------------------------|-------------|-----------------------------------|----------------|
| | Spezifische Aktivität in Bq/kg TM | | | | | |
| Phosphat (Marokko) | 1800 | | 26 | | - | |
| Phosphat (GUS - Kola) | 59 | | 64 | | - | |
| Magnetit (Erzgebirge) | 44 | | 3 | | 52 | |
| Mikrolithkonzentrat (Mosambique) | 120.000 | | 11.000 | | - | |
| Tantalitkonzentrat (Mosambique) | 14.000 | | 3.900 | | - | |
| Monazitsand (Indien, Sri Lanka) | 600 | (30 - 1.000) | 2.000 | (50 - 300) | 40 | (< 40 - 70) |
| Monazitkonzentrat (Mosambique) | 36.000 | | 84.000 | | - | |
| Silberkonzentrat (Erzgebirge) | 140 | | 150 | | 5.200 | |
| Blähton und Blähschiefer | 40 | (< 20 - 70) | 70 | (30 - 90) | 600 | (70 - 800) |
| Hüttenbims | 170 | (110 - 230) | 43 | (24 - 62) | 190 | (180 - 190) |
| Porensinter | 37 | | 51 | | 690 | |
| Düngemittel (nicht spezifiziert) | 400 | (< 20 - 1.000) | 20 | (< 20 - 30) | 4.000 | (< 40 - 8.000) |
| Superphosphate | | | | | | |
| (Deutschland) | 375 | (230 - 520) | 30 | (15 - 44) | 96 | (52 - 140) |
| (USA) | 785 | (780 - 790) | 34 | (20 - 48) | - | |
| (GUS) | 110 | | 44 | | 120 | |
| (Belgien) | 910 | | < 25 | | < 180 | |
| PK-Dünger (Deutschland) | 370 | | 15 | | 5.900 | |
| PN-Dünger | | | | | | |
| (Deutschland) | 310 | | 30 | | 41 | |
| (GUS) | 460 | (100 - 820) | 29 | (10 - 48) | - | |
| (USA) | 115 | (20 - 210) | 39 | (15 - 63) | - | |
| NPK-Dünger | | | | | | |
| (Deutschland) | 270 | | 15 | | 5.200 | |
| (GUS) | 9 | | 54 | | 1.200 | |
| (Belgien) | 210 | | < 15 | | 5.900 | |
| Koks | 30 | (20 - 30) | < 20 | | 70 | (40 - 80) |
| Steinkohle | 32 | (5 - 150) | 21 | (5 - 63) | 225 | (7 - 700) |
| Braunkohle | 10 | (< 1 - 51) | 8 | (< 1 - 58) | 22 | (< 4 - 220) |
| Bitumen, Teer | < 20 | | < 20 | | 110 (37 - 260) | |

Literatur

- [1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714)
- [2] Gesetz über das Inverkehrbringen von und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten zur Umsetzung der Richtlinie 89/106 EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (Bauproduktengesetz - BauPG) vom 10. August 1992 (BGBl. I S. 149)
- [3] Europäische Kommission, Mandat M/366 EN concerning the execution of the standardisation work for the development of horizontal standardised assessment methods for harmonised approaches relating to dangerous substances under the construction products directive, Brüssel, 16. März 2005