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

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin, und Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Oberschleißheim

2.1 Radon in Gebäuden *(Radon in buildings)*

Die regionale Verteilung der Radonkonzentration in Gebäuden wird vor allem durch das Radonangebot aus dem Baugrund bestimmt. Ein Maß dafür ist die Radonkonzentration in der Bodenluft. Das Radonangebot hängt wiederum von der Geologie des Grundgebirges, von der Art und Mächtigkeit der Bedeckung und von standortspezifischen Besonderheiten, z. B. tektonischen Störungen, und dem Niveau des Grundwasserspiegels ab. Durch Bergbau kann über vermehrte Wegsamkeiten in Form von bergmännischen Auffahrungen und Rissen im Deckgebirge das Radonangebot im Untergrund erhöht werden.

Die Radonkonzentration in einem Gebäude wird auch durch die Bauweise, vor allem durch die Dichtheit des Hauses gegenüber dem Baugrund beeinflusst, aber auch durch die innere Strukturierung der Gebäude und das technisch vorgegebene sowie individuell bestimmte Heizungs-/Lüftungsregime.

Aus diesen Gründen existieren in Deutschland flächenhaft beträchtliche Unterschiede hinsichtlich der Radonkonzentration in Häusern. Sowohl die bisher in ca. 60.000 Häusern durchgeführten Radonmessungen als auch die Untersuchungen der Bodenluft zeigen, dass es Gebiete gibt, in denen Radon in Gebäuden keine für den Strahlenschutz relevante Bedeutung hat. In anderen Gebieten können dagegen erhöhte Radonkonzentrationen auftreten (Radongebiete). In solchen Gebieten ist die Anwendung eines gestaffeltes Systems von Untersuchungs- und ggf. von Schutzmaßnahmen zu empfehlen.

Gemäß der europäischen “Empfehlung zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden” sollen die Jahresdurchschnittswerte der Radonkonzentration in existierenden Wohnräumen den Referenzwert von 400 Bq/m^3 nicht überschreiten und in neu zu errichtenden Wohnräumen unter dem Planungswert von 200 Bq/m^3 liegen [1]. Unter Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse über das Gesundheitsrisiko durch die Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten werden in Deutschland auch für Aufenthaltsräume in bestehenden Gebäuden bei Radonkonzentrationen im Bereich ab 200 Bq/m³ Maßnahmen empfohlen.

Für die Festlegung von Radongebieten werden in Deutschland nicht nur die Ergebnisse von Radonmessungen in Gebäuden sondern zusätzliche Informationen in Betracht gezogen. Dies sind vor allem Informationen über die geologischen Gegebenheiten, den umgebenden Bergbau, untertägige und übertägige bergbauliche Hinterlassenschaften, Ergebnisse geophysikalischer Untersuchungen und vor allem Informationen über das Radonangebot im Baugrund.

Die wissenschaftlichen Arbeiten zur Festlegung von Radongebieten sind noch nicht abgeschlossen. Für die flexible Auswertung aller Informationen, die dafür und auch für Prognosen z. B. über Häufigkeiten von erhöhten Radonkonzentrationen in bestimmten Gebieten benötigt werden, wurde eine Datenbank entwickelt, die zur Zeit erprobt wird.

Untersuchungen und Ergebnisse

Im Rahmen vom BMU geförderter Forschungsvorhaben wurden im Jahre 2002 Untersuchungen in Regionen durchgeführt, in denen auf Grund geologischer Indikatoren oder besonderer bergbaulicher Situationen gehäuft erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern zu erwarten waren.

Diese Untersuchungen zum Radonpotential im Boden und zur Radonkonzentration in Häusern zeigen:

- die in Häusern in Deutschland vorkommenden Radonkonzentrationen sind hinsichtlich ihres geogenen Anteils vergleichbar mit denen, die auch in anderen Ländern Mitteleuropas angetroffen werden.
  Rein geologisch bedingt können Jahresmittelwerte von einigen Tausend Bq/m^3 auftreten. Es ist jedoch wenig wahrscheinlich, dass in bergbaulich nicht beeinflussten Gebieten Langzeit-Mittelwerte der Radonkonzentration in Wohnräumen von mehr als 10.000 Bq/m^3 vorkommen. Die höchsten Radonkonzentrationen, die ausschließlich auf geologische Ursachen zurück zu führen sind, wurden in Häusern gemessen, die über Graniten oder ähnlichen Gesteinsformationen errichtet wurden.

- Aktuelle Abschätzungen ergeben, dass auf höchstens 5% der Fläche Deutschlands gehäuft erhöhte Radonkonzentration in Gebäuden auftreten können, insbesondere in älteren Häusern. In diesen Gebieten sollten auch bei Neubauten Schutzmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Zu diesen Gebieten gehören auch die Bergbaugebiete. Sie sind von besonderer Bedeutung, da dort über Klüfte und Risse im Deckgebirge oder über direkte Verbindungen von Stollen oder Schächten Grubenwetter mit häufig sehr hoher Radonkonzentration in die Gebäude gelangen können. Die Bewetterung der Stollen, Schächte und Hohlräume ist in solchen Fällen eine wichtige Einflussgröße.
- Auf ca. 25% der Fläche Deutschlands sind auf Grund der geologischen Bedingungen unabhängig von der Bauweise erhöhte Radonkonzentrationen in Häusern wenig wahrscheinlich. Dies betrifft vor allem große Teile des norddeutschen Tieflandes.

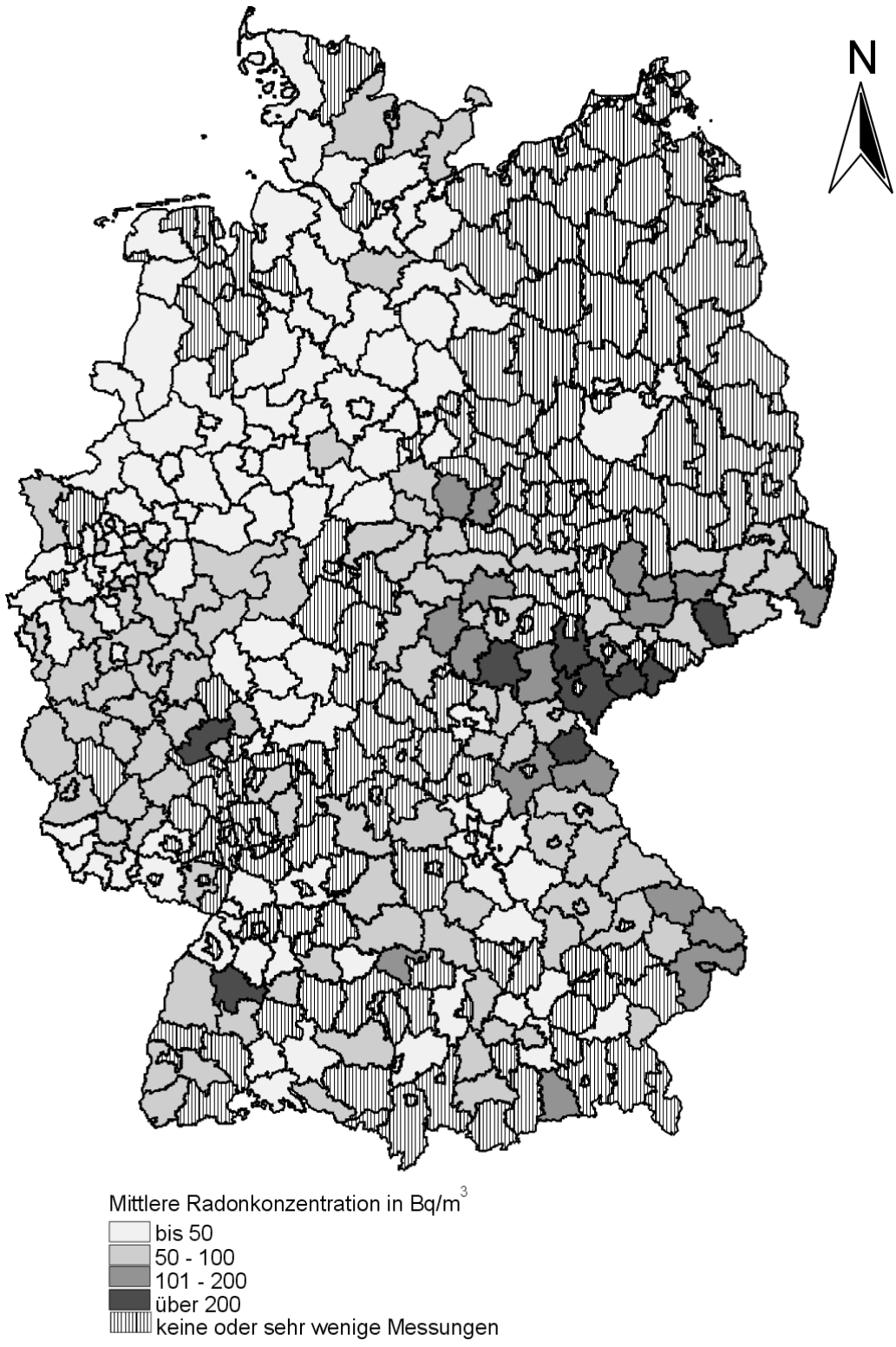
In Bergbaugebieten wurden in Einzelfällen in Gebäuden, kurzzeitig mehr als 100.000 Bq/m^3 (bis über 600.000 Bq/m^3) und Jahresmittelwerte über 10.000 Bq/m^3 festgestellt. Ursache dafür waren meist Verbindungen zu Grubengebäuden. Aber auch in Häusern, die auf mit Haldenmaterial belegten Flächen gebaut wurden, können hohe Konzentrationen auftreten. Auf Grund der in einigen Lagerstätten vorhandenen paragenetischen Uranvererzungen, aber auch wegen der im Allgemeinen hohen Permeabilität von geschüttetem Material sollten Halden als Flächen mit erhöhtem Radonangebot eingestuft werden und im Allgemeinen nicht bebaut werden.

Baumaterialien sind in Deutschland selten die Ursache hoher Radonkonzentrationen in Gebäuden. Auch durch die zunehmende Verwendung von Fliesen und anderen Elementen aus Granit im Hausinneren konnte bislang keine dadurch erhöhte Radonkonzentration nachgewiesen werden. Zu beachten ist die Verwendung von Haldenmaterial oder anderen Rückständen zu Bauzwecken. Infolge unkontrollierter früherer Verwendung solcher Materialien als Baustoff wurden in Einzelfällen Jahresmittelwerte von Radon-222-Konzentrationen bis zu einigen Tausend Bq/m^3 gemessen. Diese Fälle sind auf Gebiete beschränkt, in denen hinsichtlich der natürlichen Radioaktivität besondere Rohstoffe gewonnen oder verarbeitet wurden. Es treten allerdings auch in solchen Gebieten keine flächenhaften Beeinflussungen der Radon-222-Konzentration in Häusern auf. Höhere Radon-222-Konzentrationen wurden nur sporadisch festgestellt.

Generell von untergeordneter Bedeutung für die Radonkonzentrationen in Gebäuden ist in Deutschland das Radon, welches in Wasser gelöst und bei dessen Anwendung in die Raumluft freigesetzt wird. Wesentliche Erhöhungen der Radon-222-Raumluftkonzentration wurden in Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung festgestellt, weshalb diese in die gesetzlichen Regelungen des Teiles 3 der Strahlenschutzverordnung [2] aufgenommen wurden. Vereinzelt auftretende signifikante Beeinflussungen der Radon-222-Konzentration in Wohnräumen sind auf eng begrenzte Gebiete und Situationen (z. B. Nutzung individueller Brunnen in Granitgebieten) beschränkt.

In Erdöl und Erdgas gelöstes und bei seiner Verwendung freigesetztes Radon-222 spielt nach derzeitigem Kenntnisstand in Deutschland keine Rolle für die Strahlenexposition der Bevölkerung.

In Abbildung 2.1-1 sind die in Kreisen Deutschlands mit Messungen über die Dauer von einigen Monaten bis zu einem Jahr in Erdgeschoss-Wohnräumen ermittelten Mittelwerte der Radon-222-Konzentrationen dargestellt, sofern in den Kreisen mehr als 20 Messungen vorgenommen wurden.



BfS	Mittelwerte der Radonkonzentration in Erdgeschossen (Grundlage: Messungen über mehrere Monate bis zu 1 Jahr) *(Mean values of radon concentration in ground floors -* *Basis: Measurements from several months to one year)*	**2.1-1**

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

Um die Strahlenexpositionen zu bewerten, deren Ursache die natürlichen Radionuklide in Baumaterialien sind, werden seit mehr als 20 Jahren in Deutschland Untersuchungen zum Gehalt radioaktiver Stoffe in Baumaterialien und industriellen Rest- und Abfallstoffen durchgeführt. In mehr als 1500 Proben von Natursteinen, Baustoffen und industriellen Rückständen wurde die spezifische Aktivität des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 bestimmt.

Von natürlichen Radionukliden in Baumaterialien gehen im Wesentlichen eine äußere Exposition durch Gammastrahlung und eine innere Strahlenexposition durch Inhalation von Radon und seinen Zerfallsprodukten aus, das aus dem Baumaterial in die Raumluft freigesetzt wird.

In der Baustoffindustrie wird zunehmend die Verwendungsfähigkeit von Rückständen untersucht. Wegen dieser Entwicklungstendenz in der Baumaterialproduktion ist bei Materialien mit einem überdurchschnittlich hohen Gehalt an natürlichen Radionukliden auf eventuell bestehende Probleme bezüglich des vorsorgenden Strahlenschutzes hinzuweisen. Das Bundesamt für Strahlenschutz wird vom Deutschen Institut für Bautechnik in das Bewertungsverfahren für neue Baustoffe, Bauteile und Bauarten einbezogen.

In den Mitgliedstaaten der Europäischen Union darf ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt [3]. In der 1999 von der Europäischen Kommission verabschiedeten Empfehlung “Radiation Protection 112 – Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials” [4] werden Rahmenbedingungen für die Kontrolle der Radioaktivität von Baumaterialien festgelegt.

Untersuchungen und Ergebnisse
In Tabelle 2.2-1 sind die in Natursteinen, Bindemitteln, Finalbaustoffen und sonstigen Industrieprodukten sowie in industriellen Rohstoffen gemessenen spezifischen Aktivitäten des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 zusammengestellt.

Tabelle 2.2-1 Spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen und Industrieprodukten
(Specific activity of natural radionuclides in building materials and ndustrial products)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
Baustoffe natürlichen Ursprungs						
Granit	100	(30 - 500)	120	(17 - 311)	1000	(600 - 4000)
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 - 1500)
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		1270	
Amphibolit	8		9	(8 - 9)	260	(180 - 310)
Serpentinit	3		7		180	
Quarzporphyr	54	(15 - 86)	77	(53 - 98)	1300	(1000 - 2100)
Porphyrtuff	47	(44 - 52)	206	(130 - 240)	720	(22 - 1700)
Orthophyr	17		22		1300	
Lamprophyr	17	(6 - 30)	12	(7 - 21)	270	(130 - 330)
Augitporphyrit	55	(46 - 61)	67	(57 - 79)	1100	(1000 - 1300)
Hornblendeschiefer	13		14		380	

(Fortsetzung Tabelle)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
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 - 1100)
Kies, Sand, Kiessand	15	(1 - 39)	16	(1 - 64)	380	(3 - 1200)
Gips, Anhydrit	10	(2 - 70)	7	(1 - 100)	70	(6 - 380)
Flintstein	6		1		1	
Kaolin	90	(30 - 200)	100	(70 - 200)	600	(200 - 1000)
Lava	42	(20 - 70)	42	(25 - 60)	720	(490 - 890)
Tuff, Bims	100	(<20 - 200)	100	(30 - 300)	1000	(500 - 2000)
Ton, Lehm	40	(<20 - 90)	60	(18 - 200)	1000	(300 - 2000)
Finalbaustoffe, Bindemittel						
Ziegel/Klinker	50	(10 - 200)	52	(12 - 200)	700	(100 - 2000)
Beton	30	(7 - 92)	23	(4 - 71)	450	(50 - 1300)
Kalksandstein, Porenbeton	15	(6 - 80)	10	(1 - 60)	200	(40 - 800)
Leichtbeton (nicht spezifiziert)	30	(<20 - 90)	30	(< 20 - 80)	1100	(700 - 1600)
Leichtbetonsteine mit Zuschlag aus:						
Bims	80	(20 - 200)	90	(30 - 300)	900	(500 - 2000)
Blähton, Blähschiefer	30	(< 20 - 80)	30	(< 20 - 60)	400	(40 - 700)
Schlacke	100	(20 - 700)	100	(20 - 200)	500	(300 - 1000)
Ziegelsplitt	40	(30 - 70)	60	(30 - 100)	500	(400 - 600)
Hohlblocksteine	40	(15 - 59)	25	(4 - 52)	320	(60 - 800)
Holzwolle-Leichtbauplatten	21	(19 - 25)	12	(11 - 14)	210	(50 - 360)
Wandfliesen	50	(15 - 100)	55	(25 - 130)	560	(250 - 1000)
Asbestzement	20	(< 20 - 40)	20	(11 - 40)	100	(< 40 - 300)
Schamotte	60	(20 - 100)	70	(40 - 200)	400	(200 - 600)
Ofenkacheln	74		70		310	
Schlackenwolle	94		31		110	
Schlämmkreide	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	1100	(1000 - 1200)	300	(230 - 340)	330	

(Fortsetzung Tabelle)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
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	1000	(980 - 1100)	286	(260 - 310)		-
Kesselschlacke	68	(24 - 110)	54	(7 - 120)	200	(20 - 330)
Hochofenschlacke	100	(40 - 200)	100	(30 - 300)	500	(200 - 1000)
Bergbauabraum	700	(36 - 5900)	70	(27 - 100)	700	(40 - 1200)
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 - 1100)	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	(2000 - 4000)
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 - 1000)
Eisenerz (Brasilien)	22		4			-
Eisenerz (Indien)	21		2		27	
Rohphosphat (nicht spezifiziert)	1000	(100 - 2000)	40	(< 20 - 100)	500	(< 40 - 900)
Apatit (GUS)	30		60		100	
Phosphorit (GUS)	390		25		230	
Phosphat (Marokko)	1800		26			-
Phosphat (GUS - Kola)	59		64			-
Magnetit (Erzgebirge)	44		3		52	
Mikrolithkonzentrat (Mosambique)	120000		11000			-
Tantalitkonzentrat (Mosambique)	14000		3900			-
Monazitsand (Indien, Sri Lanka)	600	(30 - 1000)	2000	(50 - 300)	40	(< 40 - 70)
Monazitkonzentrat (Mosambique)	36000		84000			-
Silberkonzentrat (Erzgebirge)	140		150		5200	
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 - 1000)	20	(< 20 - 30)	4000	(< 40 - 8000)
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	

(Fortsetzung Tabelle)

Baustoffe und sonstige Materialien	Radium-226 Mittelwert (Bereich)		Thorium-232 Mittelwert (Bereich)		Kalium-40 Mittelwert (Bereich)	
	Spez. Aktivität (Bq/kg TM)					
PK-Dünger (Deutschland)	370		15		5900	
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		5200	
(GUS)	9		54		1200	
(Belgien)	210		< 15		5900	
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)

Die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide variiert auch innerhalb der einzelnen Materialarten in einem großen Bereich. Unter den Natursteinen besitzen vor allem kieselsäurereiche Magmagesteine vergleichsweise hohe spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide.

Der Mittelwert der von den Baustoffen ausgehenden Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) in Gebäuden Deutschlands beträgt rund 80 nSv/h. Werte über 200 nSv/h sind selten.

Das durch radioaktiven Zerfall aus Radium-226 entstehende Radon-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein wurden allerdings nur Radium-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel nicht die Ursache für Überschreitungen der europäischen Richtwerte für die Radonkonzentration in Wohnungen sind. Der Beitrag von Baumaterialien zur Radonkonzentration in Wohnräumen beträgt im Median ca. 30 Bq/m³ und ist meist deutlich kleiner als 100 Bq/m³.

In einigen Rückständen aus industriellen Verarbeitungsprozessen reichern sich die natürlichen radioaktiven Stoffe an. Bei unkontrollierter Verwendung dieser Rückstände, z. B. ihrem Einsatz als Sekundärrohstoff im Bauwesen, sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen. Um dies zu vermeiden, werden in der Anlage XII der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) die Rückstände ausdrücklich genannt, die aus der Sicht des Strahlenschutzes zu beachten sind. Durch die ebenfalls in Anlage XII der StrlSchV festgelegte Überwachungsgrenze für die Verwertung dieser Materialien zum Bauen wird gesichert, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv pro Jahr nicht überschritten wird. Dies ist bei der Regelung und Zulassung von Baustoffen zu beachten, denen Rückstände der genannten Art zugesetzt werden.

Die radiologische Relevanz der einzelnen Materialien für die Strahlenexposition der Bevölkerung hängt neben der Radionuklidkonzentration auch von anderen Faktoren, z. B. der Radonfreisetzung und der Art der Verwendung ab. Somit ist für Materialien, die in der Baustoffproduktion Verwendung finden, letztendlich die vom fertigen Bauprodukt ausgehende Strahlenexposition der Bevölkerung entscheidend. Die speziellen Einbaubedingungen und die Bedeutung des Materials im Vergleich zu anderen Ursachen der Strahlenexposition in den betreffenden Gebäuden sind zu beachten.

2.3 Zivilisatorisch bedingte Erhöhung der Strahlenexposition durch natürliche Strahlenquellen - Strahlenexpositionen bei Arbeiten

(Technologically enhanced levels of radiation exposure from natural radiation sources - radiation exposures due to work activities)

Die durch natürliche Strahlenquellen verursachte Strahlenexposition lässt sich nur schwer in eine vom Menschen völlig unbeeinflusste "natürliche" und in eine "zivilisatorisch erhöhte" Exposition unterteilen. Interna-

tional besteht Konsens darüber, dass die Strahlenexpositionen, die durch den Gehalt an K-40 im Körper, durch die kosmische Strahlung in Höhe des Meeresspiegels und durch die terrestrischen Radionuklide beim Aufenthalt auf der ‘ungestörten‘ Erdoberfläche verursacht werden, natürlich sind und daher immer unberücksichtigt bleiben. In der englischsprachigen Literatur wird dafür auch der Begriff ‘unamenable to control‘ gebraucht. Alle übrigen Komponenten der Strahlenexposition aus natürlichen Quellen sind durch menschliche Handlungen mehr oder weniger beeinflussbar, zumindest in ihrer Höhe.

In der Vergangenheit galten die Grundsätze des Strahlenschutzes nur für den Umgang mit natürlichen radioaktiven Stoffen (z. B. Nutzung der Radioaktivität, Erzeugung von oder Anwendung als Kernbrennstoff). Zum Umgang zählten auch Aufsuchung, Gewinnung und Aufbereitung radioaktiver Bodenschätze. Alle übrigen Strahlenexpositionen, die durch natürliche Quellen verursacht werden, waren nicht Gegenstand rechtlicher Regelungen.

Diese Situation hat sich seit 1996 grundlegend geändert, da mit der Direktive 96/29 EURATOM [5] die Mitgliedsländer aufgefordert wurden, auch Regelungen zur Begrenzung von Strahlenexpositionen für solche Fälle zu treffen, bei denen *natürliche Strahlenquellen vorhanden sind, durch die sich die Exposition von Arbeitskräften und von Einzelpersonen der Bevölkerung so erheblich erhöht, dass dies aus der Sicht des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden darf* (Artikel 2, Ziff. 2 der o. g. Direktive).

In dem eigens dafür geschaffenen Regelungsbereich (Titel VII) werden die Anforderungen an den Strahlenschutz in diesem Bereich präzisiert. Zunächst werden die Mitgliedsländer aufgefordert, die Situationen zu identifizieren, die von Bedeutung sein könnten (Artikel 40, Abs. 2) [6]. In der Vergangenheit wurden deshalb in Deutschland umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, um solche Fälle zu identifizieren, die aus der Sicht des Strahlenschutzes beachtet werden sollten. Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden u. a. in dieser Berichtsreihe und in einer Stellungnahme der Strahlenschutzkommission [7] dargestellt.

In der novellierten Strahlenschutzverordnung -StrlSchV-, die am 01. August 2001 in Kraft getreten ist, wurde auf der Grundlage dieser Untersuchungen der Geltungsbereich erweitert. Sie gilt nun auch für Handlungen, *durch die Personen natürlichen Strahlenquellen so ausgesetzt werden können, dass die Strahlenexpositionen aus der Sicht des Strahlenschutzes nicht außer Acht gelassen werden dürfen* (§ 2 Abs.1 Ziff. 2). Diese Handlungen werden als Arbeiten bezeichnet. Die Regelungen dafür werden im Teil III unter der Überschrift Schutz von Mensch und Umwelt vor natürlichen Strahlenquellen bei Arbeiten getroffen. Sie folgen dem Konzept, das in der o. g. Direktive der Kommission der Europäischen Gemeinschaft vorgegeben worden ist.

Im § 3 wird der Begriff Arbeiten weiter erläutert. Danach ergeben sich drei wesentliche Komplexe, für die die Regelungen anzuwenden sind:

- erhöhte Strahlenexpositionen durch natürliche Radionuklide für Arbeitnehmer in bestimmten Arbeitsfeldern,
- ehöhte Strahlenexpositionen für einzelne Personen der Bevölkerung, die durch die Verwendung oder Deponierung von Rückständen aus bestimmten industriellen Prozessen oder bergbaulichen Tätigkeiten verursacht werden und
- erhöhte Strahlenexpositionen durch kosmische Strahlung für Flugzeugbesatzungen.

2.3.1 Erhöhte Strahlenexpositionen für Arbeitnehmer *(Increased radiation exposure to workers)*

In Anlage XI der StrlSchV werden die Arbeitsfelder genannt, bei denen durch das Vorhandensein natürlicher Radionuklide für Arbeitnehmer erhöhte Strahlenexpositionen auftreten können. Es handelt sich einerseits um Arbeiten, bei denen erhöhte Strahlenexpositionen durch Radon auftreten (Anlage XI Teil A) und andererseits um Arbeiten, bei denen erhöhte Strahlenexpositionen durch Uran und/oder Thorium möglich sind (Anlage XI Teil B).

Für den beruflichen Strahlenschutz der Beschäftigten bei der Sanierung von Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten in den Neuen Bundesländern gelten ebenfalls die im Teil 3 der StrlSchV getroffenen Regelungen.

Für den beruflichen Strahlenschutz der Beschäftigten bei der Stilllegung und Sanierung der Betriebsanlagen und Betriebsstätten der Wismut GmbH gelten die im § 118 Abs. 2 genannten Regelungen des Teils 2 der StrlSchV.

Über die Ergebnisse der Abschätzung und Ermittlung der Strahlenexpositionen für die Beschäftigten wird im vorliegenden Bericht im Teil III dieses Berichts unter Punkt 1.4 berichtet.

Für den Schutz des fliegenden Personals vor Expositionen durch kosmische Strahlung werden ebenfalls im Teil III Regelungen getroffen. Über die Ergebnisse der Ermittlung der Strahlenexpositionen für diesen Regelungsbereich wird im Teil III dieses Berichts unter Punkt 1.5 berichtet.

2.3.2 Erhöhte Strahlenexpositionen für einzelne Personen der Bevölkerung *(Increased radiation exposure to single persons of the population)*

Aus umfangreichen Untersuchungen, die in den zurück liegenden Jahren durchgeführt worden sind und deren Ergebnisse in den vorangegangenen Berichten dargestellt wurden geht hervor, dass für Personen der allgemeinen Bevölkerung erhöhte Strahlenexpositionen nur dann auftreten können, wenn Rückstände mit erhöhter spezifischer Aktivität verwertet oder beseitigt werden. Handlungen bei denen solche Rückstände entstehen, fallen auch unter die im Teil 3 der StrlSchV getroffenen Regelungen (§§ 97 bis 102). Die Anlage XII Teil A enthält eine Liste der technologischen Prozesse und der in diesen Prozessen anfallenden Rückstände, die grundsätzlich zu berücksichtigen sind. Bei der Verwertung oder Beseitigung dieser Rückstände sind die Regelungen des Teils 3 der StrlSchV zu beachten, es sei denn, dass sie in den dort genannten technologischen Prozessen wiederum als Rohstoffe eingesetzt werden oder die spezifische Aktivität jedes Nuklids der Nuklidketten U-238 oder Th-232 unter 0,2 Bq/g liegt. Es handelt sich vor allem um Rückstände aus bergbaulichen und industriellen Prozessen, bei denen wegen der geologischen Bedingungen oder infolge der Verarbeitung im Vergleich mit dem normalen Aktivitätsbereich in Böden und Gesteinen erhöhte spezifische Aktivitäten auftreten können.

Fallen bei den Arbeiten jährlich mehr als 2000 t dieser Rückstände an, so ist dieser Sachverhalt der zuständigen Behörde, aber auch der für das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz zuständigen Behörde mitzuteilen. Zur Verwertung und Beseitigung dieser Rückstände ist ein Konzept als betriebsinternes Planungsinstrument zu erarbeiten.

Wenn jedoch bei ihrer Verwertung oder Beseitigung die in der Anlage XII Teil B genannten Verwertungs- oder Beseitigungswege und die dafür geltenden Überwachungsgrenzen eingehalten werden, ist eine weitere Überwachung für diese Rückstände nicht erforderlich. Diese Überwachungsgrenzen sind so gewählt, dass für die Bevölkerung Strahlenexpositionen von mehr als 1 mSv pro Jahr nicht auftreten sollten. Das gilt auch für die Beschäftigten, die die Rückstände verwerten oder beseitigen.

Da nur für eine Verwertung oder Beseitigung auf den ausdrücklich genannten Wegen bei Einhaltung der Überwachungsgrenzen auf eine Überwachung verzichtet werden kann, ergibt sich zwangsläufig, dass Rückstände nicht abhanden kommen dürfen und gegen eine unbefugte Verwendung zu sichern sind.

Rückstände, bei deren Verwertung oder Beseitigung auf den genannten Wegen die für diese Wege geltenden Überwachungsgrenzen nicht eingehalten werden oder die anders als auf diesen Wegen verwertet oder beseitigt werden, sind weiterhin überwachungsbedürftig. Auf Antrag können diese überwachungsbedürftigen Rückstände jedoch durch die Behörde aus der Überwachung entlassen werden. Weitere Strahlenschutzmaßnahmen sind dann nicht erforderlich. Diese Entscheidung kann die Behörde dann treffen, wenn sie sich im Einzelfall davon überzeugt hat, dass die jährliche effektive Dosis von 1 mSv nicht überschritten wird. Die dabei zu beachtenden Grundsätze sind in der Anlage XII, Teil D der StrlSchV aufgeführt.

Folgende Besonderheiten müssen dabei hervorgehoben werden:

- Bei den Abschätzungen der Strahlenexposition sind realistische Einschätzungen der Expositionspfade und -annahmen zu Grunde zu legen,
- bei der Verwertung der Rückstände darf nicht nur die Strahlenexposition betrachtet werden, die sich aus dem ersten Verwertungsschritt ergibt, sondern es müssen alle Etappen der beabsichtigten Verwertung einschließlich der späteren Beseitigung berücksichtigt werden.

Für eine Entscheidung über die Entlassung überwachungsbedürftiger Rückstände zur Beseitigung ist eine vereinfachte Abschätzung der Strahlenexposition möglich, wenn diese Rückstände zusammen mit anderen

Rückständen oder Abfällen auf einer Deponie beseitigt werden sollen. In solchen Fällen kann die Behörde davon ausgehen, dass die jährliche effektive Dosis von 1 mSv nicht überschritten wird, wenn der Mittelwert der spezifischen Aktivität der im Verlaufe von 12 Monaten insgesamt deponierten Rückstände (überwachungsbedürftige Rückstände, Rückstände und sonstige Abfälle) die in Anlage XII, Teil C der StrlSchV festgelegten Werte nicht überschreitet. Wie bei den Überwachungsgrenzen gilt wiederum unter Annahme des radioaktiven Gleichgewichts, dass Werte der spezifischen Aktivität <0,2 Bq pro Gramm jeweils für ein Radionuklid der U-238- Zerfallsreihe und der Th-232- Zerfallsreihe bei der Berechnung des Mittelwertes nicht berücksichtigt werden.

Beachtet werden muss, dass für die Deponierung auf normalen Deponien nur Materialien mit einer spezifischen Aktivität <10 Bq pro Gramm eines Radionuklids der jeweiligen Zerfallsreihen und für die Deponierung auf Deponien für besonders überwachungsbedürftige Abfälle nur Materialien mit einer spezifischen Aktivität <50 Bq pro Gramm in Frage kommen. Die Werte dürfen bei keinem Nuklid der beiden zu betrachtenden Zerfallsreihen im radioaktiven Gleichgewich überschritten werden.

Können überwachungsbedürftige Rückstände nicht aus der Überwachung entlassen werden, trifft die Behörde eine Entscheidung darüber, wie die Rückstände zu beseitigen und welche Schutzmaßnahmen zu treffen sind.

Nach der Beendigung von Arbeiten müssen Verunreinigungen von Grundstücken, die durch überwachungsbedürftige Rückstände entstanden sind, beseitigt werden. Ziel dieser Maßnahmen ist eine Nutzung des Grundstückes, ohne dass Einschränkungen aus der Sicht des Strahlenschutzes erforderlich sind. Das Kriterium dafür ist wiederum die aus einer Nutzung des Grundstückes mögliche jährliche effektive Dosis von 1 mSv für eine Person der Bevölkerung.

Durch diese Regelungen wird gewährleistet, dass für Personen der Bevölkerung keine Strahlenexpositionen > 1 mSv pro Kalenderjahr auftreten.

2.4 Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten *(Residues of past practices or work activities)*

Nach § 11 Abs. 8 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes obliegt dem Bund im Bereich der Neuen Bundesländer die Ermittlung der Umweltradioaktivität aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlicher radioaktiver Stoffe. Das für die Aufgabe zuständige Bundesamt für Strahlenschutz hat hierzu von 1991 bis 1999 das Projekt "Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)" durchgeführt. In dem Projekt wurden die Hinterlassenschaften des Altbergbaus und diejenigen Hinterlassenschaften des Uranbergbaus, die sich nicht mehr im Besitz der Wismut GmbH befinden, systematisch untersucht und bewertet. Nach der begrifflichen Systematik der StrlSchV handelt es sich dabei um Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten (Hinterlassenschaften des frühen Uranbergbaus) oder Arbeiten (Hinterlassenschaften des Altbergbaus).

Die Berichterstattung über die Ergebnisse des Projektes wurde 2002 abgeschlossen. Die Berichte mit den Untersuchungsergebnissen und deren Bewertung wurden den Landesbehörden übergeben. Ihnen steht auch das Fachinformationssystem zur bergbaubedingten Umweltradioaktivität (FbU), das im Rahmen des Projektes entwickelt worden ist, zur Verfügung.

In den Neuen Bundesländern gelten nach § 118 der StrlSchV für die Sanierung der Hinterlassenschaften aus früheren Tätigkeiten oder Arbeiten folgende Rechtsvorschriften fort: die Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11.Oktober 1989, die Durchführungsbestimmung zu dieser Verordnung und die Anordnung über die Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei der Verwendung darin abgelagerter Materialien vom 17.November 1980.

In den Alten Bundesländern erfolgte noch keine systematische Erfassung der Hinterlassenschaften des Altbergbaus. Nach bisherigen Recherchen in ausgewählten Bundesländern ist jedoch davon auszugehen, dass dort ebenfalls potenziell radiologisch relevante Bergbauhalden vorhanden sind. Tabelle 2.4-1 zeigt eine Auswertung dieser Ergebnisse. Für weitere Altbergbaustandorte in den übrigen Alten Bundesländern ist derzeit keine qualitative Bewertung möglich.

Tabelle 2.4-1 Radiologisch relevante Hinterlassenschaften des Altbergbaus in Alten Bundesländern
(Relics of former mining activities relevant to radioalogy in the f ormer federal Laender)

Bergbau	Halden	
	Anzahl	Masse in t
Baden-Württemberg		
Eisen / Mangan	33	20000
Buntmetalle	15	21000
Steinkohle	3	20000
Ölschiefer	1	800000
Uran	3	37000
Bayern		
Uran	6	120000
Flussspat	1	150000
Zinn	1	10000
Silber / Eisen	1	100000
Zinngranit	3	-

Auch in anderen Bereichen und nicht nur in den Neuen Bundesländern muss mit Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten gerechnet werden, für die Sanierungsmaßnahmen aus der Sicht des Strahlenschutzes in Betracht gezogen werden müssen. Eine allgemeine Übersicht zu industriellen Hinterlassenschaften gibt die Tabelle 2.4-2.

Tabelle 2.4-2: Hinterlassenschaften mit erhöhter natürlicher Radioaktivität in Deutschland
(Mining relics with increased natural radioactivity in Germany)

Industrie	Ursache der erhöhten Radioaktivität	Hinterlassenschaften	Radionuklide und Konzentrationen [Bq/kg TM]
Erdölgewinnung (Rohöl)	Lagerstätten-wasser	Ablagerungen (Krat, Schalen) in Förderanlagen und Rohrleitungen, Schlammabsätze in Tanks, Bohrschlammgruben	Ra-226: 90.000 - 100.000, Pb-210: 7.000 - 72.000, Ra-228: 72.000 - 360.000, Th-228: 33.000 - 20.0000
Erdgasgewinnung	Lagerstätten-wasser	Ablagerungen (Krat, Schalen) in Rohrleitungen, Schlammabsätze in Tanks, Bohrschlammgruben	Ra-226: 90.000 - 100.000, Pb-210: 7.000 - 72.000, Ra-228: 72.000 - 360.000, Th-228: 33.000 - 200.000
Phosphat-Industrie (P-Säure, P-Dünger)	Phosphaterze	Nicht aufbereitete Phosphogipse/ Chemiegips	U-238: 300 - 1.700
		Flugasche	Po-210: 800.000
Roheisenmetallurgie	Erze	Stäube und Schlämme aus Rauchgasreinigung	Pb/Po-210: 1.000 bis 10.000
		Schlacken	U-238: 200 - 400
Kupferschieferverhüttung	Kupferschiefererze	Gießereischutt, Sande Schlacken	Ra-226: 500 - 1.000 (Mittel 770)
Bauxitaufbereitung	Mineral (Aluminium)	Stäube, Schlämme	Pb/Po-210: bis 15.000,
		Rotschlamm	U-238 und Th-230: ca. je 300 (>100 - 1.000)
Columbit-, Euxenitaufbereitung	Mineral (Niob, Tantal)	Schlämme, Sande, Schlacken, Stäube	Th-232: 1.000 - 2.000, Ra-226: 8.000, Th-232: 44.000, Pb/Po-210: > 100.000
Pyrochlor-, Mikrolytaufbereitung	Erz, Mineral (Nb, Ti, Ta)	Schlämme, Sande, Schlacken, Stäube	U-238: 2.000 - 17.000, Th-232: 3.000, teils Ra-226: 400.000, Pb/Po-210: > 100.000

(Fortsetzung Tabelle)

Industrie	Ursache der erhöhten Radioaktivität	Hinterlassenschaften	Radionuklide und Konzentrationen [Bq/kg TM]
Aufbereitung Seltener Erden (i.W. Cer, Lanthan)	Mineralsande	diverse Rückstände	Ra-226: 33.000
Kohleverbrennung	Steinkohle	Flugaschen, Schlacken	Ra-226: 240 Th-232: 330
Kohleverbrennung	Braunkohle	Flugaschen	Ra-226: 100 - 330, Po-210: 4.000
Steinkohlebergbau	Grubenwasser	Ra-Barytausfällungen in Vorflutern, Ra-Kontamination der Bachsedimente, Klärschlämme und Sumpfungsschlämme	Sedimente: Ra-226: 20.000, Ra-228: 6.700 Th-228: 1.400 ; Klärschlamm (TS): Ra-226: 100 - 600, Ra-228: 70-300, Th-228: 15-30, U-238: > 20
Wasseraufbereitung	Rohwasser	Schlämme, Filterreinigungsrückstände, Ra-Austauscherharze, Aktivkohle,	Ra-226: 500 - 1.000, teils 10.000
Herstellung von thorierten Schweisselektroden und Gasglühstrümpfen	Monazitsande, Thoriumoxid	Schleifabfälle, Glühstrumpfbruch, Bodenkontamination	Th-232: 30.000 - 150.000, kontaminierter Boden: Th-232: 40.000
Luftfahrtindustrie	Mg-Thorium-Legierungen	diverse Rückstände	
Monazitförderung/-verarbeitung	Mineralsande in Deutschland		Th-232: 5.000 - 10.000 U-238: 1.000 - 2.000
Herstellung von Thorium / Thoriumdioxid	Monazitsande	Rohstoffrückstände, Boden- und Gebäude-kontaminationen	kontaminierter Boden: Th-232 + Th-228: 31.000, Th-230: > 1.900
Herstellung von Uran / Uranoxid	Uranerze/-Konzentrate	Rohstoffrückstände, Boden- und Gebäudekontaminationen	kontaminierter Boden: U-238 > 6.000
Herstellung von Kraftstoff aus Kohle nach dem Fischer-Tropsch Verfahren	Katalysatormassen auf Kobalt-Kieselgurbasis mit 8 - 15 Gew.% Thoriumoxid,	Kontamination von Gebäuden und Betriebsflächen, Ablagerung von Rückständen, Schlammablagerungen in Kanalisation und Absatzbecken	Schlammabsätze und Bodenverunreinigungen: Th-232, Ra-228 und Th-228: 500.000, Th-230: 100.000, U-238: 1.000, Ra-226 / Pb-210: 10.000
Herstellung von Katalysatoren für die Fischer-Tropsch-Synthese	Monazitsande, Thoriumoxid	Bei der Fischer-Tropsch-Synthese wurde im Zeitraum 1938 - 1945 stets der gleiche Katalysator bestehend aus Kobalt, Kieselgur und Thoriumoxid sowie später Magnesiumoxid eingesetzt	8 - 15 Gew.% Thoriumoxid, entsprechend 567.000 - 1.063.000 Bq/kg Th-nat (1 Bq Th-nat = 0,5 Bq Th-232 + 0,5 Bq Th-228)
Herstellung und Verwendung von Radium-Leuchtfarben	Gewinnung von Radium aus Uranerzen	kontaminierte Gebäude und Flächen	nicht bekannt
Radium-Fabriken	Gewinnung von Radium aus Uranerzen	Kontamination von Gebäudeteilen und Betriebsflächen, Schlammabsätze in Kanalisation, Reststoffe	nicht bekannt
Medizinische Anwendung von Radium	Gewinnung von Radium aus Uranerzen	kontaminierte Gebäude und Flächen	

(Fortsetzung Tabelle)

Industrie	Ursache der erhöhten Radioaktivität	Hinterlassenschaften	Radionuklide und Konzentrationen [Bq/kg TM]
optische Industrie (U- u. Th-haltige Gläser, Polierpulver)	Thorium	Fehlchargen, Glasbruch, etc.	Th-232 und Th-228: 10.000
Gießerei-Zirkonsande			U-238: 2.500 - 5.000, Th-232: 500 - 700

Regelungen für die Sanierung von Hinterlassenschaften früherer Tätigkeiten oder Arbeiten, die für Deutschland insgesamt gelten, werden vorbereitet.

Literatur

[1] Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Empfehlung der Kommission zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 80/26 vom 27.03.1990

[2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714)

[3] 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 Mitgliedstaaten über Bauprodukte (Bauproduktengesetz - BauPG) vom 10. August 1992 (BGBl. 1 S. 1495)

[4] European Commission: Radiation Protection 112 “Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials”, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2000, ISBN 92-828-8376-0

[5] European Community: Council Directive 96/29 EURATOM of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation, Official Journal of the European Communities No. L 159/1-114 of June 1996

[6] European Community: Recommendations for the Implementation of Title VII of the European Basic Safety Standards Directive (BSS) Concerning Significant Increase in Exposure due to Natural Radiation Sources, Radiation Protection 88

[7] SSK Strahlenexpositionen an Arbeitsplätzen durch natürliche Radionuklide, Stellungnahme der SSK, Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Heft 10, Gustav Fischer Verlag 1997