

Proben-Nr. AB - GmbH	ausgewertete Filterfläche in mm ²	Anzahl Asbestfasern > 5 µm			Volumen in m ³	effektive Filterfläche in mm ²	Asbestfaserkonzentration		Analytische Empfindlichk. in m ⁻³	Nachweisgrenze in m ⁻³
		Amphibol	Chrysotil	Gesamt			Messwert in m ⁻³	oberer Fehler in m ⁻³		
P17.080-389	5	0,0	0,0	0,0	0,024	380	< 3167	9500	3167	9500
P17.080-394	3	2,0	1,0	3,0	0,060	380	6333	18509	2111	6333
P17.080-401	3,75	1,0	0,0	1,0	0,024	380	4222	23525	4222	12667
		Summe	Summe	Summe	Summe					
P17.080 Mittelwert		3,0	1,0	4,0	0,108		3897	4872	974	2923

Abb. 26: Unterschiedliche Asbestarten in den Materialproben

Probeweise Arbeiten

Nach Gefahrstoff-Verordnung muss auch für Gehalte unter 0,1 % eine Gefährdungsbeurteilung erstellt werden. Dies geht nur über die Ermittlung der Faserkonzentration bei solchen Arbeiten. Probeweise Arbeiten beim Schleifen der Wände an Flächen, bei denen die höchsten Gehalte gefunden wurden. Selbst bei Arbeitsverfahren mit sehr großer Absaugleistung werden noch Asbestfasern in der Luft gefunden. Die Arbeiten bleiben Umgang mit Asbest!



Abb. 27: Mitarbeiter mit Vollschutz beim abschleifen von Asbesthaltigen Materialien

Gefährdungsbeurteilung

Bei den Schleifarbeiten der Schimmelsanierung müssen die Schutzmaßnahmen von Arbeiten geringen Umfangs,

erweitert um Schwarz/Weiß-Anlage und Transferanzügen auf dem Weg vom Arbeitsbereich dahin ergriffen werden. Für die nachfolgenden Gewerke brauchen, außer den allgemeinen Staubschutzmaßnahmen, keine weiteren Maßnahmen ergriffen werden, da nicht zu erwarten ist, dass es selbst beim späteren Schleifen der Wände zu höheren Staubeentwicklungen kommt als bei den Schleifarbeiten zur Schimmelsanierung. Für Nutzer (Mieter) bestehen keine Gefährdung und damit keine Nutzungseinschränkung.



Abb. 28: Absauggeräte, die zur Reinigung der Luft bei Asbestarbeiten unverzichtbar sind

Über den Autor:

Dr. Alexander Berg, Dr. Berg GmbH

Medizinische Bedeutung der Radonproblematik in Innenräumen

Prof. Dr. med. Klaus Fiedler, Berlin

1. Strahlenexposition in Deutschland

Radon ist ein natürlich vorkommendes, geruch-, geschmack- und farbloses Edelgas, welches beim radioaktiven Zerfall von Uran-238, Thorium-232 und Kalium-40 aus seinem Mutternuklid Radium ständig neugebildet wird (Emanation) und in unterschiedlichen Konzentrationen

in Böden und Gesteinen überall auf der Welt vorkommt. Das Radon-222 entsteht in der Zerfallsreihe des Uran-238 aus dem Radium-226. Radon hat den größten Anteil an der Strahlenexposition der Bevölkerung aus natürlichen Strahlenquellen in Deutschland.

Uran-238 \rightleftharpoons Radium-226 \rightleftharpoons Radon-222 (Rn-222, Halbwertszeit 3,8 Tage)

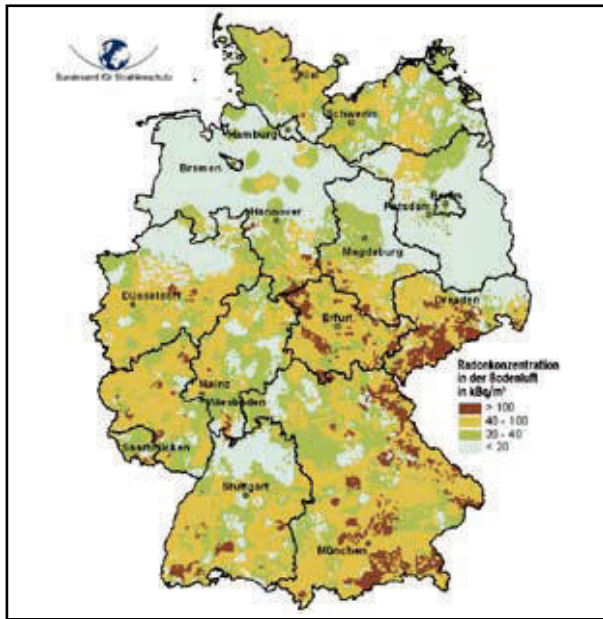


Abb. 1: Die Radonkarte Deutschlands Quelle: BFS (2018): <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/boden/radon-karte.html>

Radon entweicht relativ leicht aus dem Boden und verbreitet sich über die Luft oder gelöst in Wasser (Migration). Radon kommt vermehrt in Gebieten mit hohem Uran- und Thoriumgehalt im Boden vor. Das sind insbesondere die Mittelgebirge aus Granitgestein. In Deutschland betrifft das vor allem das Erzgebirge, Thüringer Wald, Schwarzwald, den Bayerischen Wald, das Fichtelgebirge und die Eifel. Hierbei gibt es erheblich unterschiedliche Konzentrationen in den einzelnen Regionen. Insgesamt ist Radon in Süddeutschland in wesentlich höherer Konzentration als in Norddeutschland zu finden. Zur Messung der Radioaktivität wird aus physikalischer Sicht gezählt, wie viele Zerfälle pro Zeiteinheit bei einer radioaktiven Substanz erfolgen. Die Einheit ist Becquerel. 1 Becquerel (Bq) bedeutet ein Zerfall pro Sekunde. Mit der Einheit Sievert (Sv) ist die Energiedosis durch Strahlung gemeint, sie lässt Rückschlüsse auf die biologische Wirkung der Strahlung zu. Verschiedene Strahlungsarten verursachen bei gleicher Energiemenge unterschiedliche Auswirkungen in verschiedenen Geweben und werden deshalb mit einem jeweils unterschiedlichen Faktor multipliziert. Hieraus ergibt sich die Organ- oder Organ-Äquivalentdosis. Mit ihrer Hilfe kann man die sogenannte effektive Dosis berechnen. Diese Angabe gibt die Strahlenbelastung des gesamten Körpers an und ist ein Maß für das damit verbundene Risiko. Sie berücksichtigt weiter die unterschiedliche Strahlenemp-

findlichkeit der verschiedenen Organe: So sind innere Organe beispielsweise strahlenempfindlicher als Haut sowie Keimdrüsen empfindlicher als Brustgewebe. In der Praxis des Strahlenschutzes werden in der Regel Bruchteile der Doseinheit verwendet: 1 Sievert = 1 000 Millisievert (mSv) = 1 000 000 Mikrosievert (µSv) = 1 000 000 000 Nanosievert (nSv). Die Dosis wird oft auf einen Zeitraum bezogen, also pro Jahr (mSv/a) oder pro Stunde (mSv/h). Als Strahlenexposition wird die Einwirkung von Strahlung auf den menschlichen Körper oder Körperteile bezeichnet. Hierbei versteht man unter Ganzkörperexposition die Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlung auf den ganzen Körper, mit Teilkörperexposition die Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlung auf einzelne Organe, Gewebe oder Körperteile. Die innere Strahlenexposition ist die Einwirkung der Strahlung von Radionukliden, die in den Körper mit der Atemluft (Inhalation) und mit der Nahrung (Ingestion) aufgenommen werden. Die äußere Strahlenexposition beinhaltet die terrestrische sowie die kosmische Strahlung, welche von der Sonne und aus den Tiefen des Weltalls zur Erde gelangt und im Wesentlichen aus energiereichen Teilchen und Gammastrahlung besteht. Die Intensität der kosmischen Strahlung ist von der Höhenlage abhängig, d.h. auf dem Meeressniveau am niedrigsten, und nimmt mit der Höhe eines Ortes zu.

Quellen der effektiven Dosen der natürlichen Strahlenbelastung von 2,1 Millisievert (mSv) in Deutschland (BfS 2018):

- innere Strahlenexposition: 1,4 mSv
 - o Inhalation 1,1 mSv
 - o Nahrung 0,3 mSv
- äußere Strahlenexposition 0,7 mSv
 - o terrestrische Strahlung 0,4 mSv
 - Aufenthalt im Freien 0,1 mSv
 - Aufenthalt in Gebäuden 0,3 mSv
 - o kosmische Strahlung 0,3 mSv

Weitere Quellen der ionisierenden Strahlung, stammen aus medizinischer und technischer Anwendung („zivilisatorischen Strahlenexposition“). Deren mittlere effektive Dosis beträgt etwa 1,9 Millisievert pro Jahr.

Die effektive Dosis der Gesamtstrahlenbelastung der Bürger in Deutschland berechnet sich demnach auf 4 mSv. Die Abb. 2 enthält den prozentualen Anteil der einzelnen Quellen an der Strahlenbelastung.

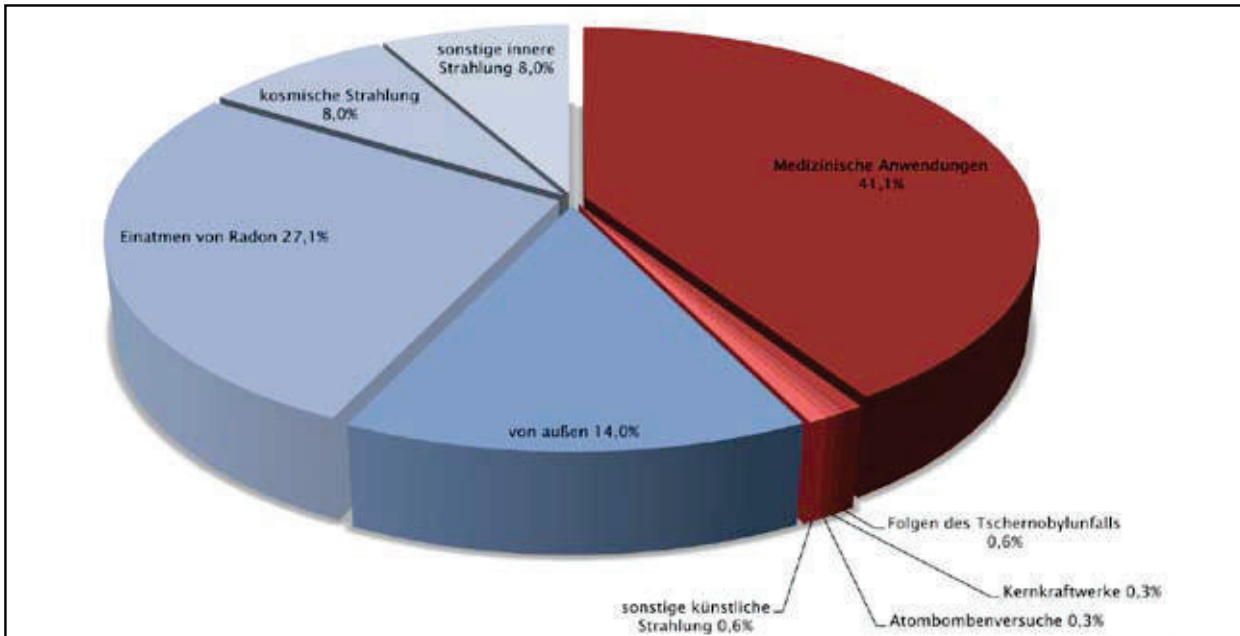


Abb. 2: Durchschnittliche Strahlenbelastung

Quelle: http://www.physikblog.eu/wp-content/uploads/2011/03/Durchschnittliche_Strahlenbelastung.png

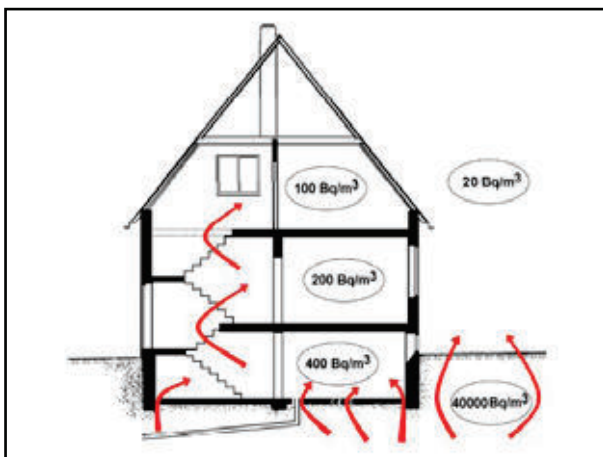


Abb. 3: Beispielhafte Radonkonzentration in der Raumluft eines Hauses und in der Bodenluft des umgebenden Erdbereichs. In vorliegendem Beispiel führt eine Bodenluftkonzentration von 40.000 Bq/m³ zu einer Raumluftkonzentration im Keller von 400 Bq/m³ Quelle: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (2018): Radonmessung in der Bodenluft: <https://lfu.rlp.de/fileadmin/lfu/Arbeitssicherheit/Radoninformationen/Radoninformationsblatt.pdf>

Die Hauptgefahr für die Bevölkerung sind erhöhte Radonkonzentrationen welche aus dem Untergrund in die Häuser eindringen und dort akkumulieren können (Abb. 3). Radonkonzentrationen in einem Gebäude werden durch die Radonbildung im Baugrund, die den Radontransport bestimmenden Eigenschaften der dort vorkommenden Materialien sowie von den Bauweisen bestimmt. Auch Baumaterialien in Form von Steinen und Erden

können durch freigesetzte Nuklide eine natürliche Quelle der Strahlenexposition der Bevölkerung sein. Für die natürlichen Radionuklide in Baustoffen wurde ein Mittelwert der erreichten Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) in Gebäuden von rund 80 Nanosievert pro Stunde ermittelt. Nur selten konnten Werte über 200 Nanosievert festgestellt werden, d.h. die in Deutschland vorwiegend verwendeten Baustoffe Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein sind im Allgemeinen nicht die Ursache für eine erhöhte Strahlenexposition durch Radon in Gebäuden. Der Beitrag von Radon-222 aus verschiedenen Bauprodukten in Deutschland zur Radonkonzentration in Wohnungen liegt laut Auskunft des BfS bei maximal 70 Bq/Kubikmeter. Bei im Handel erhältlichen Bauprodukten bestimmte man Werte deutlich unter 20 Bq pro Kubikmeter. Dem Bundesamt für Strahlenschutz liegen Daten der spezifischen Aktivitäten von mehr als 1500 Proben von Natursteinen, Baustoffen und mineralischen Reststoffen vor. Bei einer erheblichen Anzahl von Proben bestimmte man zusätzlich die Radonfreisetzung (Tabelle 1). Es gibt jedoch kritische Baumaterialien, die höhere Emissionen für den Innenraum verursachen können. Hierzu gehören „Kohleschlacke“, welche in bestimmten Regionen als Füllung von Geschossdecken verwendet wurde, in Ausnahmefällen Natursteine mit erhöhter Aktivität von Radium-226, sowie regional in Bergbaugebieten als Baumaterial eingesetzte Abraum- und Reststoffe der Erzverarbeitung mit erhöhten Radiumkonzentrationen (z.B. als Beton- oder Mörtelzusatzstoff, Füllmaterial beim Hausbau).

	Radium-226 in Becquerel Kilogramm Mittelwert (Bereich)	Thorium-232 in Becquerel pro Kilogramm Mittelwert (Bereich)	Kalium-40 in Becquerel pro Kilogramm Mittelwert (Bereich)
Granit	100 (30 - 500)	120 (17 - 311)	1000 (600 - 4000)
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)
Kies, Sand, Kiessand	15 (1 - 39)	16 (1 - 64)	380 (3 - 1200)
Natürlicher Gips, Anhydrit	10 (2 - 70) < 5	(2 - 100)	60 (7 - 200)
Tuff, Bims	100 (< 20 - 200)	100 (30 - 300)	1000 (500 - 2000)
Ton, Lehm	< 40 (< 20 - 90)	60 (18 - 200)	1000 (300 - 2000)
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)
Schlacke aus Mansfelder Kupferschiefer	1500 (860 - 2100)	48 (18 - 78)	520 (300 - 730)
Gips aus der Rauchgasentschwefelung	20 (< 20 - 70)	< 20	< 20
Braunkohlenfilterasche	82 (4 - 200)	51 (6 - 150)	147 (12 - 610)

Tab. 1: Spezifische Aktivitäten von Baustoffen Quelle: BfS 2018: Natürliche Radionuklide in Baumaterialien http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/baustoffe/radionuklide/radionuklide_node.html

Effektive Dosis	typische Dosiswerte im Vergleich
0,01 mSv pro Jahr	Rechnerisch ermittelte Größenordnung der jährlichen Höchstdosis der Bevölkerung in Deutschland durch Kernkraftwerke im Normalbetrieb
0,01 - 0,03 mSv pro Aufnahme	Typischer Dosisbereich bei einer Röntgenaufnahme des Brustkorbs (Thorax)
bis zu 0,1 mSv pro Flug	Dosis durch Höhenstrahlung bei einem Flug von München nach Japan
1- 3 mSv pro Aufnahme	Typischer Dosisbereich für eine Computertomographie des Hirnschädels
2 mSv pro Jahr	Durchschnittliche jährliche Dosis einer Person in Deutschland aus künstlichen Quellen, vornehmlich Medizin (Wert für 2012: etwa 1,9 mSv)
2 mSv in 50 Jahren	Gesamte Dosis für eine Person im Voralpengebiet auf Grund des Reaktorunfalls von Tschernobyl für den Zeitraum 1986-2036
2-3 mSv pro Jahr	Durchschnittliche jährliche Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland aus natürlichen Quellen
10-20 mSv pro Aufnahme	Typischer Dosisbereich für eine Ganzkörper-Computertomographie eines Erwachsenen

Tab. 2: Dosiswerte im Strahlenschutz:

Quelle: BfS 2018, <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/grenzwerte/grenzwerte.html>

Die Gesamtbelastung des Menschen entstammt den natürlichen Quellen, der Kernkrafttechnologie, aus medizinisch-radiologischen diagnostischen und therapeutischen Verfahren, Flugreisen und dem radioaktiven Fall-out. In der Tabelle 2 werden typische Dosiswerte im Vergleich dargestellt. Radiologische medizinische Diagnostik und Therapie kann eine erhebliche Strahlenbelastung darstellen. Die Entscheidung zur Durchführung muss von den Ärztinnen und Ärzten verantwortungsbewusst durchgeführt werden, die hierzu eine spezielle Fachkunde besitzen. In jedem Fall sollte zwischen dem diagnostischen Nutzen für die Patienten und dem damit verbundenen Strahlenrisiko abgewogen werden. Die größte Belastung besteht bei Computertomografien von Kopf Brustkorb und Bauchraum (Abb. 4).

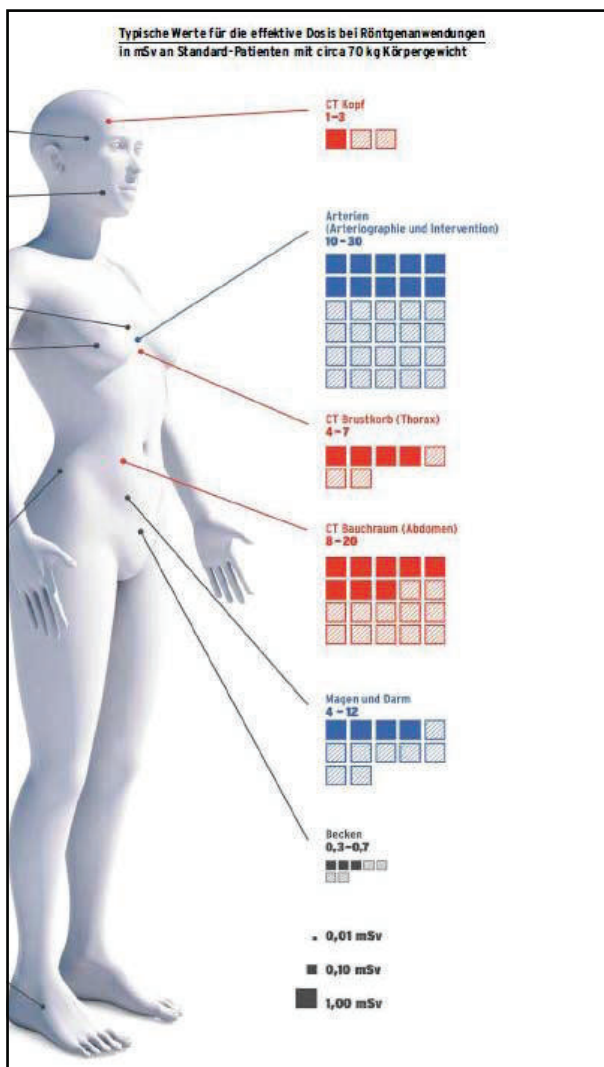


Abb. 4: Typische Werte für die effektive Dosis bei Röntgenanwendungen

Quelle: BFS 2017, Strahlung und Strahlenschutz, Broschüre http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/str-u-strschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=3 2018

2. Medizinische Bedeutung von Radon

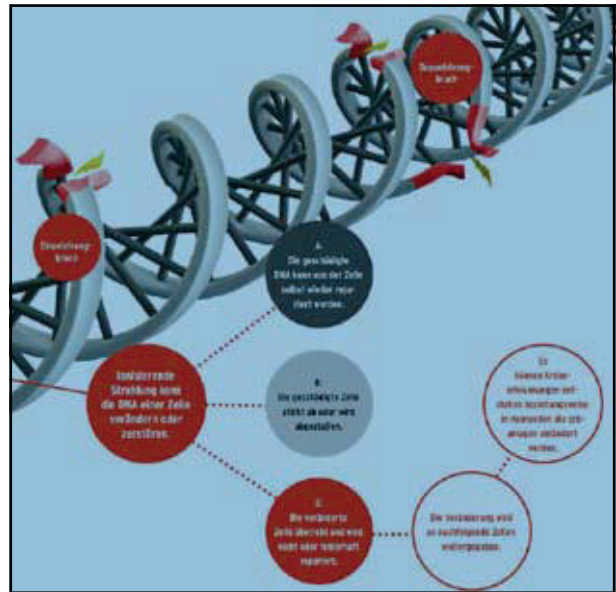
Silberfunde in der Nähe von Freiberg führten schon im 12. Jahrhundert zu einer schnellen Besiedlung einer einstmals kargen Gegend, die seither als „Erzgebirge“ bezeichnet wird. Es zeigte sich aber bald, dass die exponierten Bergleute häufig schwere Lungenerkrankungen bekamen. Viele Menschen starben schon sehr jung an einer Krankheit, die Agricola, Stadtarzt im böhmischen Joachimsthal (1494–1555) „Bergsucht“ nannte. Er vermutete damals, dass durch das Einatmen von Staub die Erkrankung verursacht wurde und entwickelte Vorschläge, Bergwerke künstlich zu belüften. Paracelsus (1493–1541) beschrieb in seinem Buch „Von der Bergsucht und anderen Bergkrankheiten“ verschiedene Lungenerkrankungen, die wir heute als Silikose, Tuberkulose oder Lungenkrebs diagnostizieren würden.

1879 erkannten die beiden Mediziner Herting und Hesse, dass es sich bei den im Bergbauggebiet von Schneeberg rasch tödlich verlaufenden Krankheit, der „Schneeberger Krankheit“, um Lungenkrebs handelte. Nachdem die Chemikerin Marie Curie (1867–1934) die „Radium Emanation“ entdeckt hatte, wurden in verschiedenen Stollen im Erzgebirge Messungen durchgeführt. 1913 wird Radon als Ursache für Lungenkrebs identifiziert. Der „Schneeberger Lungenkrebs“ wurde 1925 im Rahmen der ersten Berufskrankheiten-Verordnung in Deutschland in die Liste der entschädigungspflichtigen Berufskrankheiten aufgenommen. 1960 gibt es erste epidemiologische Studien bei Bergarbeitern. 1980 wird Radon als Karzinogen für den Menschen eingestuft (IARC – International Agency for Research on Cancer der WHO). Die gesundheitliche Gefährdung geht weniger vom Radon selbst aus, sondern von seinen kurzlebigen radioaktiven Zerfallsprodukten. Aufgrund seiner Edelgaseigenschaften wird Radon (Halbwertszeit 4 Tage) zum größten Teil wieder ausgeatmet, die Atemluft enthält aber immer auch die Zerfallsprodukte des Radons (radioaktive Isotope der Elemente Polonium, Wismut und Blei), welche überwiegend an die in der Luft befindlichen Aerosole oder Staubteilchen angelagert sind. Diese werden dann im Atemtrakt abgelagert und zerfallen dort vollständig. Die dabei entstehende energiereiche Alphastrahlung trifft auf die strahlenempfindlichen Zellen des Bronchialepithels. Die hohe biologische Wirksamkeit der Alphastrahlung kann dann zu einer Schädigung der Zellen führen und somit die Entstehung einer Lungenkrebserkrankung verursachen.

Zwar besitzt der Organismus die Fähigkeit, geschädigte Zellen zu erkennen und zu reparieren und Zellverluste auszugleichen. Die Abwehr- und Reparatursysteme der Immunabwehr können jedoch durch die Strahlenbelastung versagen oder überfordert werden. Es handelt sich hierbei um sog. stochastische Strahlenwirkungen, welche mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erst Jahre oder Jahrzehnte nach einer Exposition auftreten. Die Höhe der Dosis korreliert dabei mit der Schwere der zu erwartenden Strahlenschäden sowie der Wahrscheinlichkeit, dass diese auftreten. Diese Wirkungen beruhen auf zufälligen Vorgängen: Wenn durch eine Strahleneinwirkung der Informationsgehalt einer Zelle verändert und anschließend durch den Organismus nicht ausreichend repariert wird, kann die überlebende Zelle die Veränderung an nachfolgende Zellgenerationen weitergeben, bis sich eine bösartige Neubildung entwickelt (Abb. 5). Deterministische Strahlenwirkungen treten nach relativ hohen Strahldosen sofort oder innerhalb weniger Wochen nach der Exposition auf und werden offensichtlich, wenn ein bestimmtes Maß von Schädigungen der Zellen durch die Überschreitung eines Schwellenwertes (Minstdosis) erfolgt ist. Dieser Wert einer akuten Exposition des ganzen Körpers liegt beim Menschen bei ca. 500 mSv. Hierbei zeigen sich u.a. Veränderungen des Blutbildes durch Schädigung der Blutbildungsorgane. Überschreitet die Exposition den Schwellenwert um mehr als das Zehnfache, führt das in der Regel bei Menschen zum Tod.

Während die Konzentrationen von Radon in der Außenluft durch den Verdünnungseffekt sehr gering sind, kann sich in geschlossenen Räumen das Radon in der Raumluft anreichern. Deshalb sind die Radonkonzentrationen in Innenräumen im Allgemeinen höher als in der Außenluft. Extrem hohe Konzentrationen werden unter Tage im Bergbau gemessen. Gesundheitseffekte hat man deshalb auch als erstes bei Bergarbeitern gefunden, welche unter Tage gearbeitet haben.

Das Bundesamt für Strahlenschutz führt seit 1993 mit 59.000 männlichen Beschäftigten, welche in der ehemaligen DDR zwischen 1946 und 1990 tätig waren, die sog. Wismut Uranbergarbeiter-Kohortenstudie durch, um die gesundheitlichen Folgen einer beruflichen Belastung durch Strahlen und Staub wissenschaftlich zu untersuchen. Von 1952 bis 1990 wurden 5.275 Lungenkrebs-erkrankungen und 14.592 Silikose-Erkrankungen als Berufskrankheit bei Wismut-Beschäftigten anerkannt. Von 1991 bis 2014 wurden der gesetzlichen Unfallversicherung noch ca. 3800 weitere Lungenkrebs-erkrankungen



Quelle: BFS 2017, Strahlung und Strahlenschutz, Broschüre http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/str-u-strschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=3 2018

und 2500 Silikose-Erkrankungen gemeldet (BfS 2018, Wismut Uran Bergarbeiter-Kohortenstudie).

Die bisher aussagekräftigste Studie ist die 2005 publizierte gemeinsame Auswertung von 13 europäischen Studien (Darby et. al. 2005 und Kreuzer 2005), in welche insgesamt 7148 Lungenkrebspatienten und 14.208 Kontrollpersonen ohne diese Erkrankung eingegangen sind. Bei den Studienteilnehmern wurden in den aktuellen und früheren Wohnungen die Radonkonzentration über mindestens ein halbes Jahr gemessen und die Studienteilnehmer nach ihrem Rauchverhalten und anderen Risikofaktoren für Lungenkrebs befragt: Die Untersuchungen beweisen, dass Radon in Wohnungen eine kausale Ursache von Lungenkrebs bei Rauchern und Nichtrauchern ist!

Die Exposition-Wirkungs-Beziehung ist annähernd linear d.h., dass sich das Lungenkrebsrisiko proportional mit steigender Radonkonzentration erhöht. Es gibt keinen Hinweis für einen Schwellenwert. Eine Person die dauerhaft einer Radonkonzentration von 100 Bq/m³ ausgesetzt ist, hat im Vergleich zu einer Person die nie Radon ausgesetzt war, ein um circa 10 % höheres Lungenkrebsrisiko, bzw. eine Person mit 200 Bq/m³ ein 20 % höheres Risiko. Dabei nimmt das Lungenkrebsrisiko um circa 10 % pro Anstieg der Radonkonzentrationen um 100 Bq/m³ zu. Die Berücksichtigung von Unsicherheiten in der retrospektiven Risikoeinschätzung führte jedoch zu einer Korrektur, so dass ein realer Risikoanstieg von 16 % angenommen werden muss (BfS 2018, Gesundheitliche

Auswirkungen von Radon in Wohnungen). Werden nur lebenslange Nichtraucher betrachtet, so findet sich ebenfalls ein statistisch signifikanter Risikoanstieg von etwa 10 %.

Die Wahrscheinlichkeit bis zum Alter von 75 Jahren an Lungenkrebs tödlich zu erkranken, stellt sich wie folgt dar: Bei einer Radonkonzentration von 0, 100 und 400 Bq/m³ für Nichtraucher vier, fünf beziehungsweise sieben von 1000 Personen (Tab. 3). Es besteht ein statistisch signifikant erhöhtes Lungenkrebsrisiko selbst unterhalb der Radonkonzentration von 200 Bq/m³. Bei einem Raucher besteht ein circa 25-fach höheres Lungenkrebsrisiko als bei einem lebenslangen Nichtraucher.

Radonkonzentration in Bq/m ³	Todesfälle je 1000 Nichtraucher	Todesfälle je 1000 Raucher
0	4,1	101
100	4,7	116
200	5,4	130
400	6,7	160
800	9,3	216

Tab. 3: Wahrscheinlichkeit, bis zum 75. Lebensjahr an Lungenkrebs zu versterben in Abhängigkeit von der Radonkonzentration

Quelle: Darby et al. 2005

In der Studie „Abschätzung des attributalen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen“ (BfS 2006, Menzler et. al. 2006) wird geschätzt, dass 5 % der in Deutschland auftretenden Lungenkrebsfälle (also ca. 1900 von 37.000) dem Radon zugeschrieben werden können. Damit ist Radon der wichtigste umweltbedingte Risikofaktor für Lungenkrebs und nach dem Rauchen der zweithäufigste Verursacher dieser Erkrankung. Die Strahlenschutzkommission weist darauf hin, dass es kaum ein anderes umweltrelevantes Kanzerogen gibt, bei welchem die epidemiologische Datenlage so umfassend und eindeutig wie beim Radon geklärt ist.

Das BfS empfiehlt daher für Neubauten einen Wert von 100 Bq/m³ Raumluft. Die Kosten zur Einhaltung dieses Wertes betragen in Neubauten in vielen Fällen nicht mehr als 2000 € für ein Haus mit 100 m² Grundfläche betragen. Der Mittelwert der Radonkonzentration in Wohnun-

gen beträgt nach Angaben des wissenschaftlichen Ausschusses der Vereinten Nationen zur Untersuchung der Auswirkungen der atomaren Strahlung (UNSCEAR) in der Europäischen Union etwa 59 Bq Kubikmeter. Wenn man von einem linearen Risikoanstieg von 16 % pro 100 Bq/m³ ausgeht, dann verursacht Radon in Wohnungen in Europa 9 % aller Lungenkrebstodesfälle und 2 % aller Krebstodesfälle, d.h. dass ca. 20.000 Lungenkrebstote pro Jahr in der Europäischen Union durch Radon verursacht werden (Darby et.al. 2005).

Die Weltgesundheitsorganisation schätzt den Anteil der durch Radon verursachten Lungenkrebserkrankungen auf 3 bis 14 %, abhängig vom Durchschnitt der Radonkonzentrationen in dem betreffenden Land und der Berechnungsmethode.

3. Gesetzliche Regelungen und Richtwertdiskussion

Das am 12. Mai 2017 beschlossene Strahlenschutzgesetz ist die aktuelle rechtliche Grundlage für den Strahlenschutz sowie die Arbeit des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS). Es enthält neue Kompetenzen z.B. zur Bewertung aktueller medizinischer Verfahren. So wird z.B. die Bedeutung des BfS als Behörde zum Schutz von Patientinnen und Patienten gestärkt. Weiter gibt es neue Vorgaben zum Edelgas Radon, der Radioaktivität in Baustoffen und zur Rechtfertigung von neuen medizinischen Anwendungen.

Das Gesetz enthält vier Hauptteile:

1. Strahlenschutz bei geplanten Expositionssituationen: Hierzu gehören spezielle Regelungen radiologischer Verfahren sowie auch ein spezielles Informations- und Meldesystem zu Vorkommnissen im Bereich der Medizin.
2. Strahlenschutz bei Notfallexpositionssituationen: Hier sind spezielle Regelungen für den Notfall sowie die Einrichtung eines für diese Fälle spezialisierten Lagezentrums vorgesehen.
3. Strahlenschutz bei bestehenden Expositionssituationen: Es wird der Umgang mit Radon, radioaktiven Altlasten sowie der Radioaktivität in Bauprodukten geregelt.

4. Expositionübergreifende Vorschriften: Hier werden Vorgaben zum Strahlenschutzregister mit dem Ziel zusammengefasst, in exponierten Bereichen Beschäftigte besser zu schützen.

Die Neuregelung stützt sich auf eine EU-Richtlinie und fasst Vorgaben aus dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung zusammen. Das Gesetz ist bereits gültig, zu einigen Neuregelungen werden noch konkretisierende Rechtsverordnungen erarbeitet.

Künftig unterliegen neue Verfahren, bei denen Menschen und Umwelt Strahlen exponiert sein können, speziellen Bewertungsverfahren zur Rechtfertigung ihres Einsatzes. Das gilt sowohl für medizinische Anwendungen, einschließlich medizinischer Diagnostik, wie auch für den Einsatz radioaktiver Stoffe in Konsumgütern.

Es bestehen u.a. folgende Grenz- und Richtwerte im Strahlenschutz:

- Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung
 - Der Grenzwert für die effektive Dosis zum Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung beträgt nach § 46 der Strahlenschutzverordnung 1 mSv. Hierunter versteht man alle Strahlenexpositionen, denen Personen der Bevölkerung durch kerntechnische und sonstige Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlung sowie den Umgang mit radioaktiven Stoffen ausgesetzt sein können. Damit gilt der Grenzwert für die Summe einer Strahlenexposition aus Direktstrahlung sowie der Strahlenexposition aus Ableitungen kerntechnischer Anlagen.
 - Von einzelnen Anlagen ausgehende Strahlenbelastungen über Abwasser und Abluft dürfen jeweils den Wert von 0,3 Millisievert pro Jahr nicht überschreiten (§ 47 Strahlenschutzverordnung).
 - Medizinische Strahlenanwendungen sind von oben genannten Begrenzungen ausgeschlossen!
 - Für Strahlung aus natürlichen Quellen besteht gegenwärtig kein Grenzwert!
 - Für alle Personen beträgt der Grenzwert der Organdosis für die Augenlinse 15 Millisievert im Kalenderjahr und der Grenzwert der Organdosis für die Haut 50 Millisievert im Kalenderjahr.
 - Der Referenzwert für die über das Jahr gemittelten Radon-222-Aktivitätskonzentration in der

Luft in Aufenthaltsräumen beträgt 300 Bq je Kubikmeter.

- Grenzwerte für berufliche exponierte Personen:
 - Zum Schutz von beruflich strahlenexponierten Personen beträgt der Grenzwert für die effektive Dosis 20 Millisievert im Kalenderjahr (§ 55 Strahlenschutzverordnung). Im Einzelfall ist eine Erhöhung durch die zuständige Behörde auf 50 Millisievert zugelassen.
 - Die Berufslebensdosis darf nicht 400 Millisievert übersteigen (§ 56 Strahlenschutzverordnung),
 - Der Referenzwert für die über das Jahr gemittelten Radon-222-Aktivitätskonzentration in der Luft in Aufenthaltsräumen beträgt 300 Bq je Kubikmeter.

Bis zum Ende des Jahres 2020 müssen gemäß Strahlenschutzgesetz die Bundesländer ermitteln, in welchen Gebieten besonders viel Radon in Häusern zu erwarten ist. In den genannten Gebieten sind unterschiedliche Regelungen für verschiedene Gebäudetypen festgelegt:

- Für bereits bestehende private Wohngebäude können Eigentümer und Bewohner freiwillig Maßnahmen zur Senkung der Radon-Konzentration im Gebäude treffen. Das BfS kommentiert auf seiner Homepage: „Die zuständigen Behörden auf Bundes- und Landesebene haben die Aufgabe, Bürgerinnen und Bürger über Gesundheitsrisiken durch Radon zu informieren und sie für Schutzmaßnahmen zu gewinnen“.
- Für private Neubauten besteht ab 2020 die Pflicht für Bauherren, durch bauliche Maßnahmen weitgehend zu verhindern, dass Radon in die Gebäude eindringt.
- Wenn an Arbeitsplätzen die Konzentration von Radon mehr als 300 Bq/Kubikmeter beträgt, müssen Maßnahmen zur Senkung der Radon-Konzentration eingeleitet werden.
- Für bereits bestehende Wohngebäude besteht auch 2020 keine Pflicht, Maßnahmen zur Senkung von erhöhter Radon-Konzentration einzuleiten!

Die Bundesrepublik hatte 2004 den Entwurf eines Radonschutzgesetzes vorbereitet, welches jedoch nicht vom Gesetzgeber verabschiedet wurde, weil keine Zustimmung der Länder erfolgte. Der Entwurf des Radonschutzgesetzes enthielt einen Zielwert von 100 (Bq/m³), auf

dessen Basis Maßnahmen zum radonsicheren Bauen bei Neubauten und für eine Sanierung bestehender Gebäude geregelt werden sollten. Der Bezugswert war hierbei der Jahresmittelwert im Aufenthaltsraum. Das sollte aber nur für Gebäude und Räume gelten, welche öffentlich genutzt werden oder anderen Personen zur Nutzung, z.B. in Mietwohnungen, überlassen wurden, das heißt nicht für vom Eigentümer selbstgenutzte Häuser oder Räume. Das hätte in der Praxis bedeutet, dass z.B. Mieter von ihrem Vermieter die Durchführung einer Radonmessung sowie gegebenenfalls eine anschließende Sanierung einfordern könnten.

Hätte man in einem Gebäude einen Jahresmittelwert einer Radonmessung von über 100 (Bq/m³) ermittelt, so sah dieser Gesetzentwurf Sanierungsmaßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration vor. Für die Sanierungsmaßnahmen wurden im Einzelnen folgende Messwertbereiche unterschieden:

- 100 bis 400 (Bq/m³): Sanierungszeiten von zehn Jahren
- über 400 ist 1000 (Bq/m³): Sanierungszeiten von fünf Jahren
- über 1000 (Bq/m³): Sanierungszeiten von drei Jahren.

Bei der Sanierung sollte ein Zielwert unterhalb von 100 (Bq/m³) erreicht werden. Dieser Wert war auch für Neubauten vorgesehen.

Auch die WHO empfiehlt einen Richtwert von 100 (Bq/m³), um das Gesundheitsrisiko bezüglich einer Innenraumexposition gegenüber Radon zu minimieren.

Im Klartext: Die jetzige gesetzliche Regelung bleibt weit hinter dem zurück, was bereits 2004 geplant war!

Bleibendes Problem:

- Die WHO stellt, gestützt auf epidemiologische Studien, fest, dass bereits ab 100 Bq eine signifikante Gefahr für die Gesundheit besteht.
- Experten gehen davon aus, dass in ca. 1,6 Millionen Wohngebäuden in der Bundesrepublik Deutschland der Wert von 100 Bq/Kubikmeter überschritten wird (Baulinks 2015).

Interessant ist in diesem Zusammenhang eine kleine Anfrage von Mitgliedern des Bundestages 2014 über die Haltung der Bundesregierung zum Problem Radon in

Wohnungen: In der Antwort der Bundesregierung wird wie folgt argumentiert:

- Die Bundesrepublik hat sich seit Jahren dafür eingesetzt, die Öffentlichkeit über die Gesundheitsgefahren durch Radon zu informieren und über zur Verfügung stehende Prävention- und Sanierungsstrategien aufmerksam zu machen.
- Förderprogramme blieben weitgehend ungenutzt.
- Rechtliche Regelungen zum Schutz vor Radon, waren in der Vergangenheit nicht durchsetzbar, da die betroffenen Bundesländer allein auf Information und Eigeninitiative der betroffenen Bevölkerung gesetzt haben.
- Der festgelegte Referenzwert von 300 Bq/m³ stellt einen Kompromiss dar, welcher bei der praktischen Machbarkeit des Radonschutzes in den europäischen Ländern „ausreichende Flexibilität“ gewährleistet.
- Die Bundesregierung erwägt keine Einführung konkreter verbindlicher Grenzwerte für Radonbelastungen in Innenräumen. „Eine strikte Einhaltung wie bei Grenzwerten könnte nicht sichergestellt werden, oder es müssten so konservative Ansätze gewählt werden, dass sie nur mit unangemessen hohen Kosten umgesetzt werden könnten.“
- „Es müssen ggf. verbleibende, nicht unerhebliche Radonexpositionen, auch oberhalb des Referenzwertes, hingenommen werden, da weiterführende Maßnahmen unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten nicht zu rechtfertigen wären“.
- „Sanierungsmaßnahmen an bestehenden Gebäuden richten sich nach der Höhe der Referenzwertüberschreitung und dem für die Verminderung der Exposition gerechtfertigten materiellen Aufwand. Zu treffende Maßnahmen werden so optimiert, dass der gesamte Nutzen unter Berücksichtigung der Kosten maximiert ist“.

Diese Stellungnahme ist absolut unbefriedigend. Es gibt genügend Risiken durch schädigende Umwelteinflüsse die nicht oder nur schwer zu beeinflussen sind. Die Konzentration von Radon in Räumen hängen neben der Beschaffenheit des Untergrunds und den Witterungsbedingungen wesentlich von der Beschaffung der Bausubstanz und den Lüftungsbedingungen bzw. Lüftungsgewohnheiten ab und sind daher gut beeinflussbar.

Natürlich ist es wichtig, von vornherein in exponierten Gebieten so zu bauen, dass keine oder nur geringfügige Radonexpositionen auftreten.

Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration in bestehenden Wohnungen sind:

- Unterbodenabsaugung (Radondrainage, Radonbrunnen),
- Abdichtungsmaßnahmen zwischen Keller und bewohnten Gebäudeteilen,
- Unterdruckerzeugung im Kellergeschoss mit Entfernung der radonbelasteten Luft durch einen Ventilator,
- verstärktes Lüften, insbesondere eine mechanische Zuluftanlage für bewohnte Räume und schließlich
- eine Umnutzung: Wenn besonders betroffene Räume künftig so genutzt werden, dass die Aufenthaltszeiten von Personen in ihnen wesentlich geringer werden, lässt sich das Radon-Problem oftmals schon deutlich reduzieren!

Es besteht nach der gegenwärtigen Rechtslage für die Besitzer des aktuellen Wohnungsbestandes, d.h. in geschätzten 1.600.000 Wohngebäuden in der Bundesrepublik Deutschland, sowie von bis 2019 zu bauenden Wohnungen keine Verpflichtung, nachweislich bestehende, erhebliche Gesundheitsgefahren durch radonbelastete Gebäude zu verringern.

Als Arzt und Hygieniker ist daher mein Appell an die Legislative, um nicht künftig Tausende Todesfälle durch Radon in Deutschland in Kauf zu nehmen:

- Radonsanierung sollte auch für bereits bestehende exponierte Wohnräume verpflichtend durchgeführt werden. Hier hält man sich noch viel länger auf, als in den künftig reglementierten betrieblichen Räumen.
- Wohnungseigentümer sollten wirksame Anreize in Form von Prämien, höheren Abschreibungsmöglichkeiten oder sonstigen Steuererleichterungen bekommen, um eine Sanierung durchzuführen.
- Für hartnäckige Sanierungsverweigerer müsste die Einführung von Strafmaßnahmen diskutiert und über Ersatzvornahmen in dieser Hinsicht nachgedacht werden.

Es ist nicht nachzuvollziehen, warum wir regelmäßig mit großem Aufwand und wirksamer rechtlicher Unterstützung die Beseitigung von Gefahren in Wohnungen z.B. durch Schimmelbefall oder Lärmbelastung erzwingen, andererseits aber die Beseitigung oder Reduzierung von Radonbelastungen und damit die Entscheidung über Gesundheit und Krankheit in Belastungsgebieten, z.T. an Profitmaximierung interessierten Wohnungseigentümern überlassen. Auf der aktuellen Homepage des Bundesamtes für Strahlenschutz ist 2018 unter „Ionisierende Strahlung“ ausgeführt:

„Da es keinen Dosiswert gibt, unterhalb dessen ionisierende Strahlung mit Sicherheit kein gesundheitliches Risiko beinhaltet, besteht auch unterhalb der Grenzwerte ein gewisses, wenn auch geringes Risiko, das mit zunehmender Dosis ansteigt. Daher muss jede Strahlenexposition auch unterhalb der festgelegten Grenzwerte wenn möglich vermieden und wo dies nicht möglich ist, so gering wie möglich gehalten werden (Prinzip der Optimierung)“. Dieses Prinzip der Optimierung ist bei der gegenwärtigen Rechtsprechung völlig ungenügend durchgesetzt.

Und noch eine Ergänzung: Da eine einzige Computertomografie mit 10–20 Millisievert bereits den Grenzwert der Strahlung durch technische Anlagen für die Bevölkerung von einem Millisievert pro Jahr um das 10–20 fache überschreitet, ist das kritische Hinterfragen ärztlicher Indikationen in dieser Hinsicht dringend geboten. Das Hauptproblem bleibt jedoch eine gesundheitsgefährdende Radon-Konzentration in einer Vielzahl von Wohnungen in Deutschland. Wenn es um die Gesundheit geht, sollten ökonomische Erwägungen weitgehend zurückgestellt werden. Es gilt, das Gesundheitsbewusstsein für eine unsichtbare Gefahr zu heben, Eigentümer und Bauherren zu motivieren und wenn nötig rechtlich zu zwingen, so schnell wie möglich im Sinne der Radonprophylaxe zu handeln.

Literaturverzeichnis

- Baulinks (2015): Mit Radonkarte und Sachverständigen Hauskeller auf Radon untersuchen. <http://www.baulinks.de/webplugin/2007/1750.php4>
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2006): Lungenkrebsrisiko durch Radon-Expositionen in Wohnungen. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission vom 11./12. Juli 2006, verabschiedet in der 208. Sitzung der Strahlenschutzkommission.

- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2017): Strahlung und Strahlenschutz, Broschüre: http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/str-u-strschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=3 2018
- BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Das Strahlenschutzgesetz: Neue Grundlage für den Strahlenschutz und die Arbeit des BfS: <http://www.bfs.de/DE/bfs/gesetze-regelungen/strahlenschutzgesetz/strahlenschutzgesetz.html>
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Gesundheitliche Auswirkungen von Radon in Wohnungen. <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/wirkungen/wirkungen.html>
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz 2018: Grenzwerte im Strahlenschutz: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/grenzwerte/grenzwerte.html>
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Ionisierende Strahlung. http://www.bfs.de/DE/themen/ion/ion_node.html
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Natürliche Radionuklide in Baumaterialien: http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/baustoffe/radionuklide/radionuklide_node.html
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Radon in Gebäuden: http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/gebaeude/gebaeude_node.html
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Die Radonkarte Deutschlands: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/boden/radon-karte.html>
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Wie hoch ist die natürliche Strahlenbelastung in Deutschland? http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/natuerliche-strahlenbelastung/natuerliche-strahlenbelastung_node.html
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Wismut Uranbergarbeiter-Kohortenstudie http://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/projekte/wismut/wismut_node.html
- Darby S. et. al. (2005): Radon in homes and risk of lung cancer: Colloberative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 2005; 330 doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.38308.477650.63> (Published 27 January 2005): *BMJ* 2005;330:223
- Kreuzer M. (2005): Radon in Wohnungen ist wichtigster Umweltrisikofaktor für Lungenkrebs. *UMID* 1/2005, 12–14
- Menzler S., Schaffrath-Rosario A., Wichman H.E., Kreienbrock L. (2006): Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen. Ecomed-Verlag, Landsberg, 2006
- Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (2018): Radonmessung in der Bodenluft: <https://lfu.rlp.de/fileadmin/lfu/Arbeitssicherheit/Radoninformationen/Radoninformationsblatt.pdf>

Rechtsvorschriften

- Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27.06.2017 (BGBl. I S. 114, 1222)
- Röntgenverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I S. 604), zuletzt geändert durch Artikel 6 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010)
- Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die zuletzt durch nach Maßgabe des Artikel 10 durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114, 1222)

Über den Autor:

Prof. Dr. med. Klaus Fiedler, Berlin

Radon in Schulen – Eine Erhebungsmessung in Baden-Württemberg

Ingo Fesenbeck, Christian Naber, Christian Wilhelm, Melanie Schaller

Zusammenfassung

Mit durchschnittlich 1,1 mSv effektiver Dosis pro Jahr entsteht durch Radon und seine Folgeprodukte der größ-

te Anteil der natürlichen Strahlenexposition bei der Bevölkerung. Im Zuge der Umsetzung der EU-Richtlinie 2013/59/EURATOM [1] vom 17.01.2014 sollen die