

**Beschaffenheit:**

Beim Zerfall der natürlichen radioaktiven Stoffe Uran und Thorium entstehen im Verlauf einer mehrstufigen Zerfallskette Isotope des Radiums, die bei weiterem Zerfall in Radon übergehen. Radon ist ein farb-, geschmack- und geruchloses radioaktives Edelgas. Als Edelgas geht es mit anderen Stoffen keine chemischen Reaktionen ein und kann deshalb aus den Stoffen und Materialien entweichen, in denen es nach dem Zerfall des Mutternuklids Radium entsteht. Das bei weitem bedeutendste Radonisotop Rn-222 zerfällt unter Emission von Alphastrahlung mit einer Halbwertszeit (HWZ) von 3,8 Tagen. Im weiteren Verlauf der Zerfallskette entstehen sogenannte »kurzlebige Radontöchter«, die gesundheitlich wesentlich bedenklicher sind als das Radon selbst.

## Wirkungscharakter:

Das Risiko der Strahlenbelastung durch Radon liegt in der möglichen Induktion von Lungenkrebs. Die Lunge ist ein Organ mit hoher Strahlenempfindlichkeit. Lungenkrebs ist die am längsten bekannte Art eines durch Strahlung hervorgerufenen Krebses. Bereits im 16. Jahrhundert war unter den Minenarbeitern in Schneeberg (Erzgebirge) die Schneeberger Krankheit bekannt, die 1879 als Lungenkrebs diagnostiziert wurde. Der Zusammenhang mit dem Radon wurde erstmals vor 60 Jahren hergestellt.

Die Art und Weise, wie es durch Radon zu einer Schädigung der Lunge kommt, ist ein außergewöhnlich komplizierter Prozeß. Die Strahlenbelastung der Lunge erfolgt im wesentlichen nämlich nicht durch Radon selbst, sondern durch dessen radioaktive Tochterprodukte. Mit diesen Tochterprodukten befindet sich Radon in einem Konzentrationsgleichgewicht. Die Tochterprodukte (Ionen der Schwermetalle Polonium, Wismut und Blei) schlagen sich zum Teil auf den Oberflächen des Raumes (z.B. Möbel, Wände) nieder. Ein anderer Teil lagert sich an in der Luft befindliche Aerosolpartikel (Staubkörnchen etc.) an. Ein Teil der aerosolgebundenen Tochterprodukte lagert sich ebenfalls an Oberflächen des Raumes ab. Auf gleiche Konzentration bezogen ist die Dosisbelastung durch die nicht aerosolgebundenen Tochterprodukte des Radons größer als durch die aerosolgebundenen. Ein wesentlicher Teil der Strahlenbelastung erfolgt über den aerosolgebundenen Transport der Tochterprodukte in die Lunge.

Der größte Anteil der Strahlenbelastung erfolgt durch die Tochterprodukte Polonium-218 und Polonium-214, deren Alphastrahlung im Gewebe eine Reichweite von 0,05 bis 0,08 mm besitzt. Von dieser Strahlenbelastung sind praktisch ausschließlich die Epithelien der Atmungsorgane, vor allem das Bronchialepithel bis hinein in die kleinsten Verästelungen des Bronchialbaumes betroffen. Der auf die Alveolen entfallende Strahlenbelastungsanteil spielt im Vergleich dazu keine Rolle.

Für die deutsche Gesamtbevölkerung ergibt sich infolge der Inhalation von Radon und Zerfallsprodukten ein Mittelwert der jährlichen Strahlenbelastung von 1,3 mSv (effektive Äquivalentdosis), dies ist etwa die Hälfte der gesamten natürlichen Strahlenbelastung. Dieser Mittelwert läßt zwar eine große Abschätzung der in einer Gesamtbevölkerung zu erwartenden Krebsfälle zu. Über die individuelle Belastungssituation, d.h. über das individuelle Gesundheitsrisiko, läßt ein Bevölkerungs-Mittelwert jedoch keinerlei Aussage zu, ebensowenig wie die Angabe des mittleren Blutverlustes bei einer Massenkarambolage auf der Autobahn.

Die jährliche effektive Dosis aus der mittleren Konzentration von Radon in Wohnräumen kann in guter Näherung abgeschätzt werden. Eine mittlere Radonkonzentration von 20 Bq/m<sup>3</sup> führt zu einer jährlichen effektiven Äquivalentdosis zwischen 1 mSv und 1,8 mSv. Bei einer effektiven Äquivalentdosis von 1,3 mSv pro Jahr beträgt der auf das Bronchialepithel entfallende Dosisanteil etwa 20 mSv. Untersuchungen in Norwegen kommen zu der Annahme, daß zwischen 10% und 30% der Lungenkrebsfälle in der norwegischen Bevölkerung durch Radonbelastungen in Wohnungen ausgelöst werden. In Deutschland ergeben Abschätzungen auf der Grundlage einer mittleren Exposition von 40 Bq/m<sup>3</sup> Radon in Wohnungen einen Anteil von bis zu 12% der Lungenkrebshäufigkeit.

Es ist nachgewiesen, daß Rauchen die tumorauslösende Wirkung durch Radon deutlich erhöht. Es handelt sich um einen überadditiven Synergismus, wobei das Lungenkrebsrisiko mit steigender Anzahl der täglich gerauchten Zigaretten in nichtlinearer Weise ansteigt. Im Vergleich zum Nichtraucher erhöhen bereits wenige Zigaretten pro Tag (ab 1 Zigarette!) das Risiko, durch Radonbelastung an Lungenkrebs zu erkranken. Die Dosis-Wirkungsbeziehung verläuft supralinear. Auch ohne Rauchen scheint die tumorauslösende Wirkung von Radon bei mäßigen Belastungswerten relativ höher zu sein als bei extrem hohen Werten. Ferner gibt es Hinweise, daß eine langdauernde Belastung mit niedrigen Radonkonzentrationen eine stärkere tumorauslösende Wirkung zeigt als kurze Aufenthalte in Räumen mit extrem hohen Belastungswerten (→ [Lengfelder, 1993](#)).

Daß sich eine Strahlenbelastung durch das radioaktive Edelgas tatsächlich gesundheitlich bemerkbar macht, zeigt eine Studie des schwedischen Karolinska Instituts in Stockholm, die kürzlich in der angesehenen Fachzeitschrift *New England Journal of Medicine* publiziert wurde. Die skandinavischen Wissenschaftler konnten zeigen, daß das Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken, deutlich mit dem Radongehalt der Raumluft ansteigt, dem die Studienteilnehmer über Jahre ausgesetzt waren. Raucher, so das Ergebnis der Studie, sind durch das

Edelgas besonders gefährdet.

An der schwedischen Studie nahmen 4200 Männer und Frauen im Alter von 35 bis 74 Jahren teil, wovon 1360 Personen an primären Tumoren der Bronchien oder der Lunge litten. Die Wissenschaftler untersuchten sorgfältig die Lebensumstände der Studienteilnehmer. Sie berücksichtigten alle Faktoren, die Rückschlüsse auf eine eventuelle Radonbelastung der Studienteilnehmer zuließen. So wurden beispielsweise die Adressen der Probanden - und damit die geologischen Gegebenheiten des Wohnorts - bis ins Jahr 1947 zurückverfolgt. In rund 9000 Wohnungen bestimmten die Forscher außerdem drei Monate lang den Radongehalt und rechneten die kumulative Radonexposition seit 1947 hoch.

*Tab. 4: Die Abhängigkeit des relativen Lungenkrebsrisikos von der Radonbelastung und dem Rauchverhalten. Vergleichswerte: Nichtraucher in einer nicht-radonbelasteten Umgebung haben ein relatives Krebsrisiko von 1, ehemalige Raucher unter gleichen Bedingungen ein Risiko von 2,6 (nach Pershagen et al., 1994).*

	Radonbelastung (Bq/m <sup>3</sup> )		
	≤50	140-400	>400
weniger als 10 Zigaretten/Tag	6,2	7,3	25,1
mehr als 10 Zigaretten/Tag	12,6	15,0	32,5

Auf der Basis der erhaltenen Werte nahmen die schwedischen Wissenschaftler eine Risikoabschätzung vor. Als Bezugsgröße diente das Lungenkrebsrisiko bei einer durchschnittlichen Strahlenbelastung von 50 Becquerel (Bq) pro Kubikmeter Luft. Das heißt: Das Krebsrisiko von Personen, in deren Wohnräumen in jeder Sekunde durchschnittlich 50 Radonatome pro Kubikmeter Atemluft zerfielen, wurde gleich 1 gesetzt. Waren die Personen im Vergleich dazu einer Belastung von 140-400 Bq/m<sup>3</sup> ausgesetzt, erhöhte sich ihr Lungenkrebsrisiko auf 1,3, bei mehr als 400 Bq/m<sup>3</sup> sogar auf 1,8. Das Risiko, an einem Adenokarzinom oder einem kleinzelligen Lungenkarzinom zu erkranken, stieg besonders drastisch an.

Waren die Versuchspersonen, die einer hohen Radonbelastung ausgesetzt waren, zusätzlich Raucher, hatten sie ein extrem erhöhtes Risiko, einen Tumor im Bereich der Atemwege auszubilden. Personen, die beispielsweise mit einer mittleren Strahlenbelastung von mehr als 400 Bq/m<sup>3</sup> lebten und täglich bis zu zehn Zigaretten rauchten, hatten ein 25fach erhöhtes Krebsrisiko, bei mehr als zehn Zigaretten pro Tag war das Risiko sogar um den Faktor 33 erhöht.

Noch einen weiteren interessanten Aspekt brachte die Studie zutage: Die Radonbelastung in Wohnräumen reduziert sich drastisch, wenn stets gut gelüftet wird. Studienteilnehmer, die sommers wie winters bei offenem Fenster schliefen, hatten kein erhöhtes Lungenkrebsrisiko, selbst wenn in ihrer Umgebung eine Strahlenbelastung von mehr als 400 Bq/m<sup>3</sup> gemessen wurde. Bei »Lüftungsmuffeln« war unter den gleichen Bedingungen das Risiko um den Faktor 2,6 erhöht.

Als weitere strahleninduzierte Schädigung der Atmungsorgane durch Radon und Radon-Folgeprodukte muß die Lungenfibrose angesehen werden, eine Vermehrung des Bindegewebes, die die Lungenfunktion herabsetzt und zum Tode führen kann. Bei einer akkumulierten Lungendosis von mehr als 20 Sv ist mit der Auslösung einer strahleninduzierten Lungenfibrose zu rechnen. Sie ist im Gegensatz zum Krebs ein nicht-stochastischer Schaden, dessen Schwere mit der Strahlendosis parallel geht und der erst ab einer bestimmten Schwellendosis auftritt (➔ [Eigenwillig, 1997](#)).

Neben der bei Radonexposition bereits bekannten, erhöhten Inzidenz von Bronchialkarzinomen wird eine erhöhte Malignomrate auch bei anderen Tumoren vermutet.

Tschechische Autoren gingen dieser Frage bei 4320 Bergarbeitern aus zwei westböhmisches Uranminen in einer 25 Jahre umfassenden Mortalitätsstudie nach. Hierbei zeigte sich nach Ausschluß des Bronchialkarzinoms eine gegenüber der Normalbevölkerung nur geringe, statistisch nicht signifikante Zunahme von allen übrigen Malignomen. Bei der Analyse von Untergruppen konnten gering erhöhte Mortalitätsraten für das hepatozelluläre Karzinom, das Gallenblasenkarzinom und das extrahepatisch gelegene Gallengangskarzinom gefunden werden, ein eindeutiger Kausalzusammenhang bestand jedoch nicht (→ Tomasek et al., 1995)

Neben Radon und Radon-Folgeprodukten können auch andere Noxen, wie zum Beispiel Zigarettenrauch, Bronchialkrebs auslösen. Rauchen darf aber in der Bundesrepublik Deutschland ebensowenig zur Beurteilung einer Berufskrankheit herangezogen werden wie andere Auswirkungen der persönlichen Lebensführung, solange die Strahlenexposition, wie bereits beispielhaft erwähnt wurde, wesentliche Teilursache ist.

In der Bewertung epidemiologischer Erhebungen werden neben den dort für Bergleute behandelten Radon und Radon-Folgeprodukten häufig auch andere berufsbedingte Noxen mit berücksichtigt, wie Arsen, Asbest, silikogener Staub, Schweißrauche und Dieselmotoremissionen. Aus der internationalen Fachliteratur geht aber noch nicht eindeutig hervor, ob diese Noxen additiv oder exponentiell als Kofaktoren bei der Auslösung von Bronchialkrebs wirken.

Uranbergleute waren vor allem in den 40er und 50er Jahren nicht nur durch Radon-Folgeprodukte, sondern auch durch Inhalation von radioaktivem Staub und äußerer Bestrahlung zusätzlich belastet. Eine Studie ergab für Karzinome außerhalb der Lunge ein besonderes Risiko, unter anderem für Nase, Mund- und Rachenraum, Kehlkopf, Knochen, Leber und Niere (→ Lubin, 1994).

## Vorkommen:

Strahlenexpositionen durch Radon und Radon-Folgeprodukte treten zum Beispiel bei Arbeiten mit Uran und Thorium, bei Arbeiten in Gebäuden, in zu Heilzwecken betriebenen Radonbädern, in der Wasserwirtschaft und im Bergbau auf (BMU, 1995; Fachverband f. Strahlenschutz, 1993).

### Boden:

Uran und Thorium sind erdgeschichtlichen Ursprungs und in praktisch allen Bodenarten enthalten, wenn auch - je nach Standort - in sehr unterschiedlichen Konzentrationen. In der Bundesrepublik weisen folgende Regionen gebietsweise einen erhöhten Radiumanteil im Boden und damit auch erhöhte Freisetzungsraten des Radons auf: Bayerischer und Oberpfälzer Wald, Oberfranken, Schwarzwald, Rheinland-Pfalz, Eifel, Regierungsbezirke Koblenz und Kassel, vor allem aber die Uranabbaugebiete in Thüringen und Sachsen. Geringe Werte finden sich in Oberbayern, im östlichen Baden-Württemberg und in der Norddeutschen Tiefebene (→ [Lengfelder, 1993](#))

Tab. 1: Abschätzung der Strahlenexposition der Uranbergleute durch Rn-222-Folgeprodukte in Sachsen und Thüringen (→ [Eigenwillig, 1997](#))

Zeit	Strahlenexposition mSv/a*
bis 1955	150 bis 1500
1956 bis 1960	50 bis 500
1961 bis 1965	25 bis 250
1966 bis 1970	15 bis 125
1971 bis 1975	10 bis 50
ab 1976	5 bis 20

\*effektive Dosis nach ICRP65

Tab. 2: Strahlenexposition der Beschäftigten in einer Trinkwasseraufbereitungsanlage durch Radon und Radon-Folgeprodukte (gerundete Werte) (→ [Eigenwillig, 1997](#))

Exponierte Personen mSv/a	Effektive Dosis mSv/a
Wasserwart	200
Vertreter des Wasserwarts	19
Putzfrau	24
Meister	7
Leiter	5
Reinigungspersonal	130

### Gebäude:

Der größte Anteil des Radons, das in Gebäuden vorgefunden wird, gelangt durch feinste Risse und

Undichtigkeiten im Fundament- und Kellerbereich aus dem Untergrund ins Haus. Im Kellerbereich beeinflussen Risse, Durchbrüche (Gullys, Rohrdurchführungen) und die Porosität der Boden- und Wandbaustoffe die Durchtrittsrate von Radon nach drinnen. In Häusern nimmt die Konzentration von Radon in den Räumen vom Keller zu den oberen Stockwerken hin deutlich ab. In den Kellerräumen eines Hauses finden sich in der Regel die höchsten Radonkonzentrationen, weil der Keller eben von der Radonquelle (dem radiumhaltigen Bodenmaterial) umgeben ist. Die unterschiedliche Verteilung von Radon in verschiedenen Kellerräumen und in die Räume im Erdgeschoß und in die darüberliegenden Stockwerke erfolgt durch (auch sehr feine) Druckunterschiede und durch Luftzug.

Radon wird auch aus Baustoffen in Abhängigkeit von deren Radium- und Thoriumgehalt in die Raumluft freigesetzt. Im Vergleich zur Radonfreisetzung aus der Erde spielt die Radonfreisetzung aus Baustoffen in der Regel eine untergeordnete Rolle. Jedoch können baustoffbedingte hohe Radonbelastungen in Häusern auftreten, wenn z.B. Schlackenbaustoffe und Schlackenfüllungen als Brandschutz- oder Wärmedämm-Material oder großflächige Gipsbaustoffe aus bestimmten Arten von Chemiegips verwendet wurden.

Vor zehn Jahren wurde in einer bundesweiten Studie die Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration in 6000 ausgewählten Wohnungen gemessen. Dabei ergaben sich  $50 \text{ Bq/m}^3$  als Mittelwert der Radonkonzentration. In 1% der Fälle wurden Werte über  $200 \text{ Bq/m}^3$  festgestellt, d.h., im Bundesgebiet sind etwa 300 000 Wohnungen davon betroffen. In manchen Gegenden Deutschlands, und dort dann in älteren Häusern, enthält die Raumluft Radonkonzentrationen von einigen tausend  $\text{Bq/m}^3$ . Eigene Untersuchungen über die Radonbelastung in Innenräumen in den Uranabbaugebieten Thüringens ergaben z.T. Werte weit über  $10\,000 \text{ Bq/m}^3$  (→ Lengfelder, 1993).

Radon entweicht mit einer bestimmten Diffusionsgeschwindigkeit aus dem Baustoff und gelangt so in die Raumluft. Die von einem Material pro  $\text{m}^2$  Oberfläche und pro Stunde abgegebene Radonmenge wird als Exhalationsrate bezeichnet. Die potentielle Radon-Exhalationsrate hängt vom Radiumgehalt des Baumaterials ab. Entscheidend ist aber auch die Wandstärke und wie durchlässig das Material für das entstandene Radon ist. Denn wenn das Radon den Baustoff nicht verläßt, zerfällt es dort und trägt nur zur äußeren Strahlenbelastung bei. Die Exhalationsrate ist folglich bei porösen, leichten Baustoffen, wie Gips oder Leichtbaustoffen am größten. Gebrannte Steine geben bei gleichem Radiumgehalt weniger Radon ab als zementgebundene Steine. Außerdem wanken die Exhalationsraten stark je nach Herkunft der Rohstoffe und nach Art der Herstellung. Stark erhöhte Radonwerte lassen sich in den Uranbergbaugebieten nachweisen, wo z.T. uranhaltiges Haldenmaterial zum Bau verwendet wurde. Baustoffe, die die äußere Bekleidung von Gebäuden bilden, wie Vormauerziegel, Klinker oder Dachziegel, sind für die vorangehende Betrachtung nicht so wichtig, da das Radongas größtenteils durch die Außenluft abgeführt wird. Für die Radonbelastung in Gebäuden ist vor allem die Radioaktivität der Baustoffe wichtig, die die Innenräume unmittelbar begrenzen. Die Exhalation des Radons aus Wänden, Decken und Fußböden ist zusätzlich noch von der Art des Verputzes, der Isolierung, des Anstriches, des Tapezierens usw. abhängig.

Für Baustoffe liegen noch keine ausreichenden Meßergebnisse zum Exhalationsvermögen vor. Über ein geeignetes Meßverfahren besteht international auch noch keine Einigkeit, was zu nicht vergleichbaren

Ergebnissen führt. In Tabelle 3 sind einige Werte für Radon-222-Exhalationsraten angegeben, die in Bq

*Tab. 3: Spezifische Radonexhalationen von Baustoffen (normiert auf eine Baustoffdicke von 10 cm; Werte nach Dr. G. Keller, Universität Homburg)*

Material (d = 10 cm)	Exhalationsrate Rn-222 in Bq/h m <sup>2</sup>	
	Mittel	Max.
Ziegel, Klinker	0,2	0,55
Naturgips	0,4	1,4
Chemiegips (Apatit)	0,4	0,47
Chemiegips (Phosphorit)	24,1	48,2
Kalksandstein	0,6	1,04
Blähton	0,4	0,48
Beton	0,7	2,1
Gasbeton	1,1	4,4
Hüttenschlacke	0,7	-
Hüttenbims	0,9	1,37
Naturbims	1,8	3,9
Naturstein (Porphy)	3,3	-

pro m<sup>2</sup> Wandfläche pro Stunde (Bq/m<sup>2</sup>h) gemessen wurden. Erwartungsgemäß sind auch hier große Schwankungen der Meßwerte je nach Material und innerhalb einer Baustoffgruppe zu beobachten.

#### Trinkwasser:

Eine weitere Quelle für Radonfreisetzung in Innenräumen ist das Trinkwasser. Trinkwasser, das oft aus größeren Tiefen stammt, enthält gelöstes Radon, dessen Konzentration erheblich von den lokalen Gegebenheiten abhängt. In der Regel enthält Trinkwasser Radonkonzentrationen im Bereich 0,1-20 Bq/l. Wasser aus granitreichem Untergrund kann durchaus Werte von über 10 000 Bq/l aufweisen. Beim Duschen (große Oberfläche des Sprühwassers im Vergleich zum Wasserstrahl aus dem Hahn) wird ein großer Teil des im Wasser gelösten Radons an die Raumluft abgegeben. Dieser kurzzeitige Anstieg ist aber in bezug auf die Jahresbelastung durch Radon, ebenso wie eine Inkorporation durch das Trinken, ohne Bedeutung (→ [Lengfelder, 1993](#)).

## Prophylaxe:

Da Radon in Häusern erheblich zum Lungenkrebsrisiko beiträgt, muß aus ärztlicher Sicht die dringende Empfehlung ausgesprochen werden, die Konzentration von Radon und dessen Tochterprodukten in der Raumluft zu reduzieren. Dies kann durch folgende Maßnahmen geschehen:

### *a) Entfernung der Radonquelle*

Es ist zweckmäßig, Materialien mit hohem Radiumanteil wieder zu entfernen bzw. nicht als Baustoff zu verwenden. Dazu zählen, sofern deren hoher Radiumgehalt bekannt ist, Kelleranschüttungen, Bausteine, Füllmaterialien als Isolierungen und in Zwischenböden und großflächige Materialien aus Industriegips.

### *b) Ableitung von Radon außerhalb des Hauskörpers*

Durch Einbau einer Gasdrainage unter der Fundamentplatte und außerhalb der Kellerwände mit Kaminzug oder forcierter Gasabsaugung kann das Eindringen von Radon in den Keller durch Risse und Spalten verhindert werden.

### *c) Abdichtung im Haus*

Als Abdichtungsmaßnahme gegenüber der Radonquelle können Kellerböden und Kellerwände mit dichtenden Farbanstrichen oder mit Beschichtungsmassen versehen und bestehende Risse verfüllt werden. Besondere Sorgfalt ist auf die Abdichtung von Mauerdurchführungen zu legen.

### *d) Luftreinigung*

Durch Verminderung des Staubanteils (Aerosole) in der Luft, an den sich sonst die Produkte des Radonzerfalls anlagern, kann die durch Radon bedingte Belastung erheblich eingeschränkt werden. Die Reinigung der Luft von Radonzerfallsprodukten kann wirkungsvoll durch elektrostatische Staubsammler erfolgen.

### *e) Durchlüftung*

Einen entscheidenden Einfluß auf die Radonkonzentration in Räumen hat das Lüften. Im Zuge von Energiesparmaßnahmen wurde in letzter Zeit zunehmend auf eine immer bessere Abdichtung im Türen- und Fensterbereich geachtet. Dies führt aber zwangsläufig zur Reduzierung des Luftwechsels in den Räumen und zum Anstieg der Radonkonzentration. Näherungsweise ist die durch die Inhalation der Radon-Zerfallsprodukte verursachte Strahlenbelastung der Lunge umgekehrt proportional zur Anzahl der pro Zeiteinheit durchgeführten Luftwechsel. Eine Verminderung der Belüftungsrate der Räume auf ein Fünftel hilft zwar Heizkosten sparen, erhöht jedoch die durch Radon bedingte Strahlenbelastung auf das Fünffache. Da im Keller eines Hauses meist die höheren Radonkonzentrationen vorherrschen, ist bei der Nutzung von Wohnräumen im Kellerbereich stets auf eine ausreichende Durchlüftung zu achten. Bei aktiver Belüftung mit Ventilatoren ist ferner zu beachten, daß Frischluft in das Haus gedrückt wird. Denn beim Absaugen (ohne Überdruckzufuhr) entsteht im Haus ein Unterdruck, der das Einströmen von Radon ins Haus verstärkt. Heizungsverluste lassen sich durch die Verwendung von Wärmetauschern deutlich verringern.

Angesichts der Vielfalt und Menge der Karzinogene, von denen die Menschen inzwischen umgeben sind, sind Gegenmaßnahmen ab einer mittleren Radonkonzentration von etwa 100 Bq/m<sup>3</sup> Raumluft zu empfehlen. Bei Häusern mit hohen Radonpegeln sollten Sanierungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Aus Gründen der Vorsorge sollte bereits bei der Planung von Häusern durch Messungen des Untergrundes und entsprechende bauliche Maßnahmen gewährleistet sein, daß hohe Radonkonzentrationen in Wohnräumen ausgeschlossen werden. Regelungen zur Begrenzung der natürlichen Radioaktivität in Baumaterialien und in Häusern stehen in der Bundesrepublik Deutschland bisher leider noch aus (→ [Lengfelder, 1993](#)).

## Kasuistik:

Folgender Fall wurde in der Augsburgener Allgemeinen Zeitung vom 22.9.92 geschildert:

Oberhausens neuer Pfarrer Alfred Fottner schläft momentan im Arbeitszimmer, denn in der Wohntage im ersten Stock des Pfarrhauses von Sankt Martin wurden die Fußböden herausgerissen. Grund: Untersuchungen haben ergeben, daß Schlacke, die in der Decke als Isoliermaterial verwendet wurde, radioaktiv belastet war.

Zur Vorgeschichte: Der katholische Geistliche Erich Urbanek, Pfarrer von Sankt Martin in Oberhausen, starb im Mai 1992 mit 53 Jahren an einer Blutkrankheit. Sein Vorgänger, Pfarrer Schaule, wurde nur 57 Jahre alt. Angebliche Todesursache: Lungenkrebs. Der am Sonntag in sein Amt eingeführte neue Pfarrer glaubte nicht an einen Zufall und gab eine baubiologische Untersuchung des Pfarrhauses in Auftrag.

Ein Krumbacher Unternehmen stellte zwar weder Asbest noch schädliche Holzschutzmittel fest, dafür aber erhöhte radioaktive Strahlung. Das Umweltlabor der Stadt Augsburg bestätigte später die Ergebnisse. Leiter Thomas Gratz: »Der Meßwert lag vier- bis fünfmal über dem bundesweiten Durchschnittswert natürlicher Umgebungsradioaktivität.«

Gratzas Informationen zufolge stammt die Schlacke aus einem Augsburger Gaswerk aus der Nachkriegszeit. Damals sei das Material kostenlos verteilt worden. Gratz stellt klar, daß nicht nachgewiesen werden kann, ob die Radioaktivität beim Tod der Priester eine Rolle gespielt hat. Entsprechende Vermutungen von Pfarrer Alfred Fottner könne er aber auch nicht mit Sicherheit dementieren. »Unter anderem gelangte Radon in die Raumluft des Pfarrhauses«, so Gratz, »ein Edelgas, daß die menschliche Lunge belasten kann.« Durch Einatmen gelange es in den menschlichen Organismus. Fachleute sprächen deshalb von der »inneren Dosis«. Zusätzlich seien die beiden Pfarrer der Strahlung des radioaktiven Materials in der Decke ausgesetzt gewesen. Seine Meinung: Dies alles könnte unter Umständen zumindest die Lungenkrebserkrankung des verstorbenen Pfarrers Schaule mit beeinflußt haben.

Professor Johannes Georg Gostomzyk, Leiter des Gesundheitsamtes, warnt Hausbesitzer vor plötzlich aufkommenden Ängsten: »Es gibt Gebiete in Deutschland mit erhöhter natürlicher Strahlung, dort ist die Zahl der Krankheitsfälle aber nicht größer.« Der in dem Pfarrhaus gemessene Wert liege noch unter den höchsten »normalen« Werten im Bundesgebiet. »Es besteht also kein Grund zur Panik«, sagte er, wenn auch »jede zusätzliche Strahlung möglichst vermieden werden sollte«.

In diesem Punkt stimmt ihm Jürgen Kopp, Medizin-Physiker im Zentralklinikum und Experte auf dem Gebiet der Radioaktivität zu. Er hält es auch für sinnvoll, daß das Pfarrhaus saniert wird, denn die Bewohner sollten nicht mit Krankheitsängsten belastet werden. Ganz klar widerspricht er jedoch der Vermutung, die Schlacke könne den Tod der Priester mit verursacht haben. Kopp schließt auch aus, daß sich durch die Beseitigung der Schlacke das natürliche Krankheitsrisiko verringert hat. »Erhöhte Gefahr wurde in globalen Untersuchungen nur bei rauchenden Arbeitern in Uranbergwerken nachgewiesen«, so Kopp. Die seien jedoch einer ungleich höheren Strahlen-Belastung ausgesetzt gewesen als die Pfarrer in Oberhausen.

Alfred Fottner fühlt sich - nichtsdestotrotz - jetzt sicherer in seiner Umgebung. »Die Kosten für Sanierung«, so der Geistliche, »trägt größtenteils die Diözese.« Thomas Gratz vermutet, daß in Zukunft weitere Sanierungen notwendig werden.

Gerhard Witte, Leiter des Bauordnungsamtes, glaubt, daß der Vorfall einige Menschen beunruhigen könnte. Die Verwendung von Schlacke sei früher üblich gewesen, damals sei sie nicht auf »unerfreuliche Auswirkungen« geprüft worden.

Medizin-Physiker Kopp rät Privatpersonen davon ab, das Umweltlabor mit Untersuchungen zu beauftragen. Wer sich wirksam vor Lungenkrebs schützen wolle, sollte besser Zigarettenrauch meiden. Dessen krebsverursachende Wirkung sei schließlich nachgewiesen.

## Literatur:

Becker, D.E., Gärtner, S., Reichelt, A., Riepl, S.: Berufsbedingte Strahlenexposition in einer Trinkwasseraufbereitungsanlage. In: Winter, M., Wicke, A. (Hrsg.): Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkungen. FS-93-67-T, ISSN 1013-4506, Köln: Verlag TÜV Rheinland, 79-83 (1993)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Auszug, Strahlenexposition an Arbeitsplätzen durch natürliche Strahlung (vorläufige Übersicht). Anlage 2 zum BMU-RSII3A-15509/6 Schreiben, 3. März 1995.

Der Rat der Europäischen Union: Richtlinie 96/29/Euratom des Rates vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 39: L159, ISSN 0376-9453 (1996)

Eigenwillig, G.G.: Berufliche Strahlenexposition durch Radon und dessen Folgeprodukte. Dt. Ärzteblatt 94 (Heft 16): A-1051-1062 (1997)

Fachverband für Strahlenschutz: Strahlenexposition und strahleninduzierte Berufskrankheiten im Uranbergbau am Beispiel Wismut. November 1993; FS-92-62/2-AKURA, ISSN 1013-4506.

International Commission on Radiological Protection (ICRP): Protection against Radon-222 at home and at work. Rev. 2, Oktober 1993; ICRP 65, ICRP/93/MC-11.

Jacobi, W.: Verursachungswahrscheinlichkeit von Lungenkrebs durch die berufliche Strahlenexposition von Uran-Bergarbeitern der Wismut AG. Hrsg. Institut für Strahlenschutz der BG FuE und BG Ch, 1992.

Jacobi, W.: Risiko und Verursachungswahrscheinlichkeit von extrapulmonalen Krebserkrankungen durch die berufliche Strahlenexposition von Beschäftigten der Wismut AG. Institut für Strahlenschutz der BG FuE und BG Ch, März 1995.

Lengfelder, E.: Die Radonbelastung in Innenräumen. MÄA 1, 18 (1993)

Lubin, J.H. et al.: Radon and lung cancer risk: A joint analysis of 11 underground miners studies. USA: NIH-Publication, Januar 1994.

Pershagen, G. et al.: Residential radon exposure and lung cancer in Sweden. N. Engl. J. Med. 330, 159-164 (1994)

Schöllmann, C.: Strahlenbelastung in Wohnräumen durch Radon. Forum Immunologie 10, 17-18 (1994)

SENES Consultants Limited: Uncertainty in exposure of underground miners to radon daughters and the effect to uncertainty on risk estimates. Canada: October 1989; AGCB-INFO-0334.

Tomasek, L., Darby, S. C., Swerdlow, A. J., Placek, V., Kunz, E.: Radon exposure and cancers other than lung cancer among uranium miners in West Bohemia. Lancet 341, 919-923 (1993)