

M. Urban*

AIG

A055 AIC
1062

Radon in Wohnhäusern und im Freien

Die Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten in Wohnhäusern führt zu einer der bedeutendsten Strahlenexpositionen der Bevölkerung. Im Auftrag des Bundesministers des Innern wurden bundesweite Radon-Erhebungsmessungen durchgeführt. Der Medianwert von 6000 Wohnungen liegt bei 40 Bqm^{-3} . Einige der Ergebnisse wurden vorgeführt.

Radon in domestic buildings and in the open environment

One of the most important sources of radiation exposure for the population is the inhalation of radon and its short lived daughters in houses. On the behalf of the Federal Minister of Interior a nation wide radon survey was carried out in German houses. The median radon concentration of 6000 houses was found to be 40 Bqm^{-3} . Some of the data is presented in more detail.

Le radon dans les habitations et en plein air

L'inhalation du radon et des ses déchets à courte durée de vie est l'une des sources les plus importantes de l'exposition radioactive de la population urbaine. A la demande du ministère de l'intérieur des mesures ont été effectuées sur tout le territoire national. La moyenne sur 6000 habitations se situe à 40 Bqm^{-3} . Quelquesuns de ces résultats sont présentés ici.

Radon in der Umgebung des Menschen

Die natürliche Strahlenexposition des Menschen ist durch zwei Strahlungskomponenten bedingt: der Bestrahlung von außen durch kosmische Strahlung und durch Strahlung der natürlichen Radionuklide der Umwelt sowie der Bestrahlung von innen durch Inhalation natürlicher Radionuklide mit der Atemluft und durch Ingestion mit Nahrungsmitteln und Trinkwasser. Zivilisatorische Einflüsse führen oft zu einer Erhöhung. Verantwortlich für eine deutliche Erhöhung der Inhalationsdosis ist das Edelgas Radon. Es hat drei Isotope mit den Massenzahlen 222, 220 und 219. Sie entstehen in den Zerfallsreihen von ^{238}U , ^{232}Th und ^{235}U . Die Halbwertszeiten sind 3,8 d, 56 s und 4 s. Da natürliches Uran zu ca. 99% auf ^{238}U und nur zu ca. 0,7% aus ^{235}U besteht, ist ^{219}Rn von untergeordneter Bedeutung. Im folgenden wird nur das wichtigste Isotop ^{222}Rn „Radon“ betrachtet. Die Konzentration von Radon (^{222}Rn) und dessen kurzlebigen Zerfallsprodukten in Luft ist starken räumlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen. In Häusern hängt sie ab vom geologischen Untergrund, von der Bauweise der Häuser, vom Radiumgehalt der verwendeten Baumaterialien und von der Raumbelüftung (Bild 1). Weitere Quellen können Wasser und Erdgas sein [1].

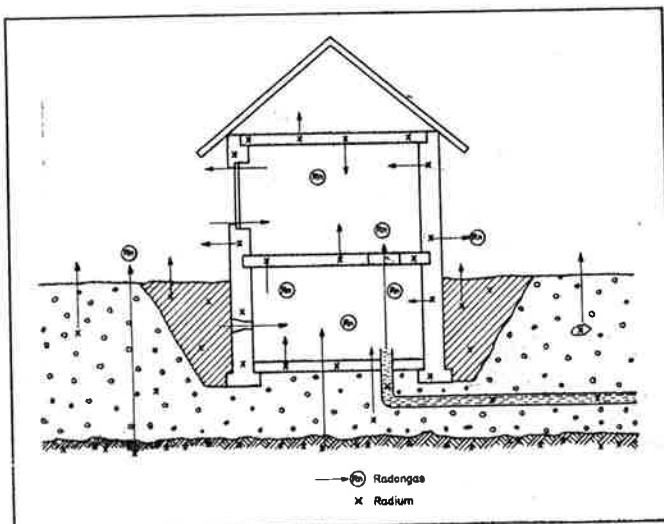


Bild 1 Quellen für Radon in Häusern

* Dr. Manfred Urban, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hauptabteilung Sicherheit. - Manuskript eingereicht im Oktober 1984.

Wenn eine Radonquelle mögliches Eindringen von Bodenluft in das Haus ist, dann hängt die zu erwartende Konzentration im Haus von folgenden Parametern ab:

- dem mittleren Druckgefälle zwischen Haus und Boden,
- dem Strömungswiderstand von Boden und Fundament für Bodenluft bei bestimmtem Druckgefälle,
- der Radonfreisetzung im Erdboden um das Haus, einschließlich eventueller Sickerungen (dies bestimmt die Radonkonzentration in der Bodenluft),
- der Luftaustauschrate zwischen Haus und Außenluft.

Konventionell gebaute Keller sind im allgemeinen nicht luftdicht. Bodenluft kann durch Fugen, poröse Wände, Kellerfenster oder Durchführungen von Versorgungsleitungen in das Hausinnere gelangen. Relativ hohe Radonkonzentrationen sind in granitischen oder vulkanischen Gebieten zu erwarten, niedrige Konzentrationen, z. B. in Muschelkalkgebieten.

Ein Teil der durch den Zerfall von ^{226}Ra im Baumaterial gebildeten Edelgasatome gelangen durch Diffusion in die Luft. Dennoch kann auf Grund des Radiumgehaltes des Baumaterials nicht unbedingt auf die Freisetzung von Radon geschlossen werden. Die Durchlässigkeit der Baumaterialien spielt dabei eine wesentliche Rolle. Bei hoher Temperatur gebrannte Baustoffe, z. B. Schlackensteine, verhindern durch ihre glasartige Feinstruktur ein Austreten von Radon. Ebenso kann durch eine günstige Oberflächenbehandlung, z. B. Anstrich ein Austreten von Radon aus den Baumaterialien in die Raumluft verhindert werden. Weitere Quellen können Wasser sowie Erdgas sein.

Die Radonkonzentration in Räumen steigt wie die Konzentration anderer Schadstoffe, wie z. B. Formaldehyd (aus Klebstoff), Pentachlorphenol (aus Holzschutzmitteln) und Lösungsmitteln allgemein mit sinkendem Luftaustausch mit außen stark an. Energiesparmaßnahmen haben in letzter Zeit zu einer ständigen Verringerung der Luftwechselraten beigetragen.

Inhalation von Radon und dessen kurzlebigen Zerfallsprodukten

Aufgrund ihrer Edelgaseigenschaften wird Radon im Gewebe nicht chemisch gebunden. Die Aktivitätsaufnahme ist durch die Löslichkeit im Körpergewebe begrenzt, die von der Radonkonzentration der Umgebungsluft abhängt [2]. Dabei spielen die Aufnahme aus der Luft in das Blut, die Verteilung über die Blutbahn, die Diffusion vom Blut in die Zellflüssigkeit und der radioaktive Zerfall während des Transports eine Rolle. Die Aufnahme in das Blut geschieht über die Lunge.

Da die mittlere Zirkulationszeit ca. 1 min beträgt, ist auch für Thoron mit dem Erreichen der Sättigungslöslichkeit im Blut zu rechnen. Die Aufnahme von Radon aus dem Blut ins Körpergewebe geschieht mit Halbwertszeiten von Minuten bis Stunden. Für Radon wird die Sättigungslöslichkeit erreicht, während Thoron durch die kurze radioaktive Halbwertszeit nur in der Lunge von Bedeutung ist. Die Inhalation von Radon führt zu einer gleichmäßigen Dosisverteilung im Körper mit Ausnahme der Lunge und des Fettgewebes, bedingt durch die hohe Radonlöslichkeit.

Die Aufnahme von kurzlebigen Zerfallsprodukten von Radon in den Körper ist wegen der Schwermetalleigenschaften grundsätzlich verschieden von der Aufnahme der Edelgase. Die Zerfallsprodukte werden abgeschieden und dadurch angereichert. Da die Depositionswahrscheinlichkeit im Atemtrakt u. a. abhängt von der Teilchengröße, unterscheiden sich die aerosolgebundenen Zerfallsprodukte von den freien Atomen oder Ionen und werden daher getrennt betrachtet.

Nach ihrer Abscheidung werden die Zerfallsprodukte von den im Atemtrakt ablaufenden Transportvorgängen erfaßt. Dabei kommt es entweder zu einer Abreicherung über das Blut oder zu einer Abreicherung in den Magen, hervorgerufen durch den durch die Ciliarbewegung in den Bronchien verursachten Scheimtransport und anschließendem Verschlucken. Da die biologische Halbwertszeit sehr viel größer als die radioaktive Halbwertszeit ist, zerfällt der größte Teil der kurzlebigen Zerfallsprodukte im Atemtrakt.

Die Strahlenbelastung wird durch die Zerfallsprodukte und nicht durch das Edelgas selbst verursacht. Aus diesem Grund ist es bei der Abschätzung der Dosis wichtig, die Konzentration der Zerfallsprodukte in Luft zu kennen.

Physikalische Vorgänge in der Raumluft

Durch den Zerfall von ²²²Rn entsteht ²¹⁸Po (Polonium) zunächst als freies Ion. Wasserdampf oder Spurengase lagern sich sehr schnell um dieses Ion und bilden eine sog. „Cluster“, einen Verband von mehreren Molekülen mit einem Durchmesser von 2 bis 20 µm. Das freie Ion oder dieser Verband von wenigen Molekülen wird als „freies oder unangelagertes“ Zerfallsprodukt bezeichnet. Diese sind sehr beweglich und neigen dazu, sich an Oberflächen im Raum oder an in der Luft befindliche Aerosole anzulagern (Bild 2). An Oberflächen abgeschiedene Zerfallsprodukte, frei oder aerosolgebunden, bleiben mit hoher Wahrscheinlichkeit an den Oberflä-

chen. In der Luft befindliche angelagerte Zerfallsprodukte haben einen Durchmesser von 50-500 µm und sind relativ träge. Die Abreicherung durch Oberflächenabscheidung geschieht sehr viel langsamer. Beim α-Zerfall eines an ein Aerosol gebundenen ²¹⁸Po Atoms erfährt das entstehende ²¹⁴Pb-Atom eine Rückstoßenergie von ca. 110 keV. Diese Energie reicht aus, um mit einiger Wahrscheinlichkeit das ²¹⁴Pb vom Aerosol zu trennen. Wird es nicht gleich wieder an das Aerosol angelagert, verhält es sich wie oben beschrieben. Die übrigen Zerfälle sind β-Zerfälle. Die resultierende Rückstoßenergie beträgt nur einige eV und reicht zu einer Trennung nicht aus. Auf Grund dieser Vorgänge ist in der Raumluft, wie mit radioaktivem Gleichgewicht zwischen Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten zu rechnen. Der Grad der Abreicherung wird als Gleichgewichtszustand bezeichnet. Als Maß für die Konzentration der Zerfallsprodukte in Luft wird die potentielle α-Energiekonzentration verwendet. Dies ist die Summe der Energien aller möglichen α-Zerfälle von ²¹⁸Po bis ²¹⁴Po einschließlich der sog. Gleichgewichtsfaktor F ist der Quotient aus tatsächlicher potentieller α-Energiekonzentration in Luft zu der maximal möglichen, nämlich dann, wenn radioaktives Gleichgewicht zwischen Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten in Luft besteht. Radioaktives Gleichgewicht heißt die Aktivitätskonzentration aller Isotope dieses Teils der Zerfallsreihe ist gleich.

Welcher Gleichgewichtszustand sich in der Raumluft einstellt, hängt ab von der Luftaustauschrate nach außen, der Aerosolkonzentration im Raum sowie des Oberflächen- zu Volumenverhältnisses des Raumes.

In einem abgeschlossenen Raum werden über mehrere Tage die Radon- und die Radon-Zerfallsproduktkonzentrationen kontinuierlich gemessen. Durch eine künstliche Quelle wird eine mittlere Konzentration von 3,3 kBqm⁻³ Radon in Luft eingestellt. Mit Hilfe von SF₆-Spurengas und eines Infrarotabsorptionsphotometers wird der Luftaustausch zwischen Raum

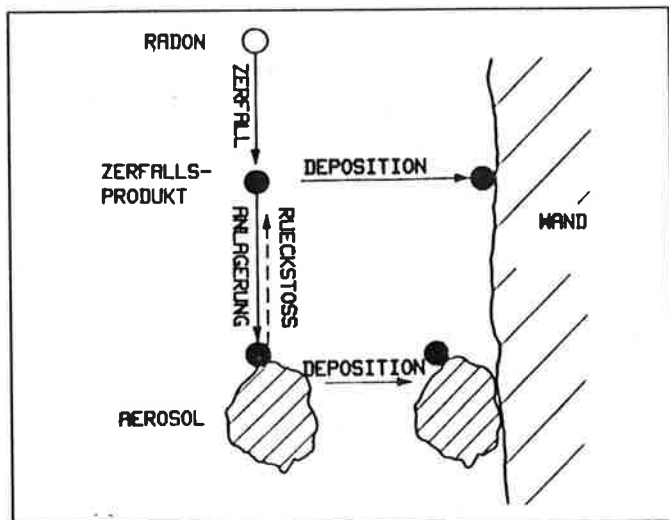


Bild 2 Physikalisches Verhalten von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten in der Luft

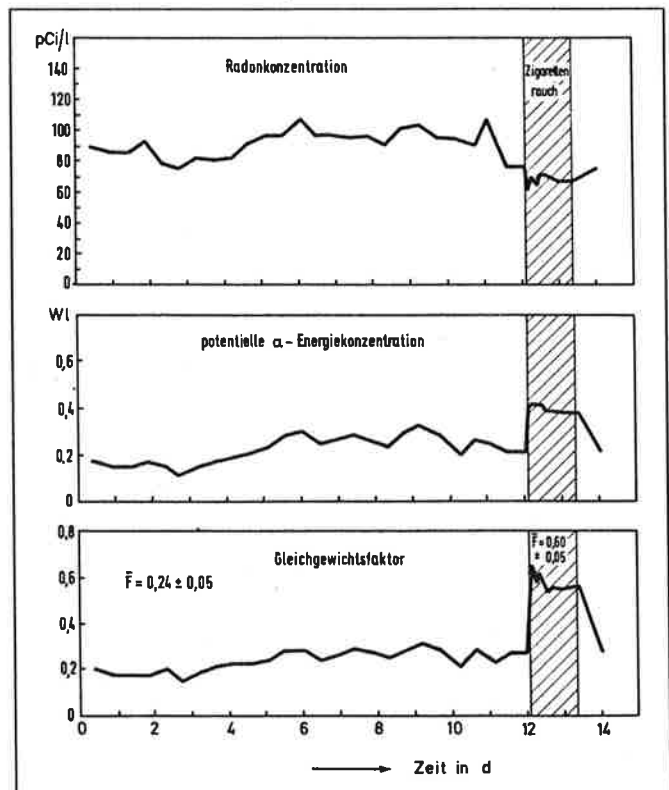


Bild 3 Einfluß von Zigarettenrauch auf den Gleichgewichtszustand zwischen Radon und dessen kurzlebigen Zerfallsprodukten

und Außenluft kontrolliert. Die Austauschrate beträgt $0,09 \text{ bis } 0,11 \text{ h}^{-1}$. In Bild 3 ist der zeitliche Verlauf der Radon- und der Zerfallsproduktkonzentration sowie der draus resultierende Gleichgewichtsfaktor dargestellt. Bei einer Temperatur im Bereich von 18°C bis 27°C und einer relativen Luftfeuchte von 40% bis 60% stellt sich ein mittlerer Gleichgewichtsfaktor von 0,24 ein. Am 12. Tag nach Beginn der Messungen werden in diesem Raum mehrere Zigaretten in bestimmten Zeitabständen geraucht. Bedingt durch das mehrfache Öffnen des Raumes fällt die Radonkonzentration um $\frac{1}{3}$ ab, während gleichzeitig die potentielle α -Energiekonzentration leicht ansteigt. Dadurch erhöht sich der Gleichgewichtsfaktor um den Faktor, 2,5 auf 0,6. Dies ist auf die Erhöhung der Aerosolkonzentration durch den Zigarettenrauch zurückzuführen. Wird in dem Raum nicht mehr geraucht, so stellt sich der ursprüngliche Zustand wieder ein [4].

Meßverfahren

Entscheidend für die Möglichkeit in Form von Erhebungsmessungen eine Art von Bestandsaufnahme über die Höhe der Radonkonzentration in deutschen Wohnungen war die Entwicklung eines geeigneten, billigen, in Großserie verwendbaren Meßverfahren. Derzeit gebräuchliche Meßverfahren lassen sich in zwei große Gruppen unterteilen; aktive und passive Meßverfahren. Aktive Meßverfahren benötigen zum Betrieb eine externe Energieversorgung. Sie arbeiten überwiegend mit Pumpen und Auswertelektronik. Passive Meßverfahren arbeiten ohne Energieversorgung, haben keine beweglichen Teile oder Elektronik und benutzen als Detektoren bevorzugt Thermolumineszenzdetektoren ($\text{CaSO}_4: \text{Dy}, \text{LiF}$), Aktivkohle oder Kernspurendetektoren (Polycarbonat, Cellulosenitrat). Detaillierte Gegenüberstellungen sind in der Literatur zu finden [5, 6].

Es werden prinzipiell zwei Arten von Radon-Dosimetern unterschieden: Diffusionskammern bestehen aus einem mit einem Filter abgeschlossenen Behälter mit einem Detektor im Innern. Radon diffundiert durch das Filter in das Innere des Behälters; in der Luft befindliche Radonzerfallsprodukte werden durch das Filter zurückgehalten. Der Detektor registriert α -Teilchen des Radonzerfalls sowie der Zerfälle der im Dosimeter neu entstandenen Zerfallsprodukte. Dieses Verfahren zeichnet sich durch gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse aus. Häufig werden auch offene Detektoren verwendet, um eine Aussage über die Radonkonzentration in Luft zu machen. Es wird ein Detektor ohne Gehäuse exponiert, der alle α -Teilchen aus einem bestimmten Volumenbereich und die α -Teilchen von auf seiner Oberfläche deponierten Radonzerfallsprodukten registriert. Dabei ist im allgemeinen nur eine Aussage über die Bruttoalphaaktivität ohne nuklidspezifische Trennung möglich, es sei denn, der Gleichgewichtszustand

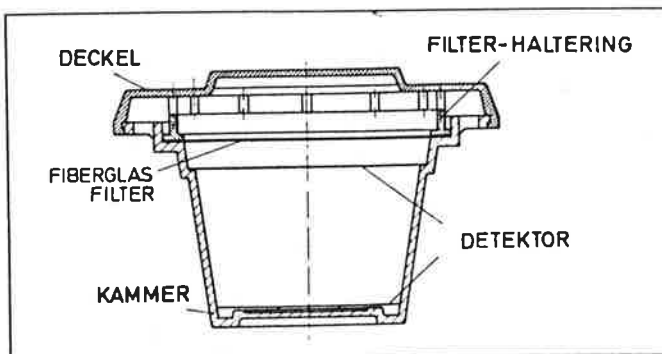


Bild 4 Querschnitt Karlsruher Passives Radon Dosimeter, Diffusionskammer

zwischen Radon und seinen Zerfallsprodukten in Luft ist unbekannt.

Es wurde ein einfaches über lange Zeit integrierendes passives Radondosimeter für einen Einsatz von Großserien entwickelt [5]. In Bild 4 ist der Diffusionskammerquerschnitt dargestellt.

Erhebungsmessungen

Im Rahmen des vom Bundesminister des Innern geförderten Forschungsvorhabens wurden in den Jahren 1972-1975 Erhebungsmessungen in Wohnhäusern und im Freien zur Ermittlung der Schwankungsbreite der natürlichen terrestrischen Strahlung für die Bundesrepublik Deutschland durchgeführt [7]. Dabei wurde in ca. 30000 Wohnungen gemessen. Ähnliche Messungen wurden in den Jahren 1980-1984 zur Bestimmung der Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten in ca. 6000 Wohnungen mit ca. 25000 Einzelmessungen durchgeführt. Die Meßreihe wurde vom Kernforschungszentrum Karlsruhe in Zusammenarbeit mit dem Bundesgesundheitsamt Neuherberg organisiert. Bei der Durchführung waren sieben weitere Meßstellen beteiligt.

Ergebnisse in Wohnhäusern

Die Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration in Wohnhäusern (Bild 5) läßt sich gut durch eine logarithmische Normalverteilung annähern. Der Medianwert der Verteilung beträgt 40 Bq m^{-3} , der zugehörige Streufaktor ist 1,8, ca. 1% der gemessenen Wohnungen weisen Radonkonzentrationen von mehr als 220 Bq m^{-3} auf.

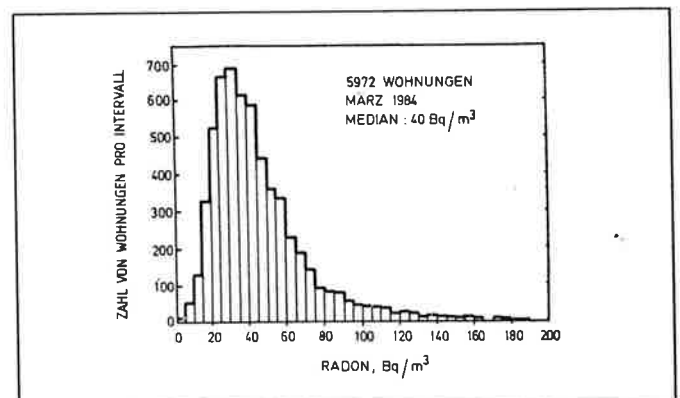


Bild 5 Radon-Häufigkeitsverteilung in Wohnungen

Es zeigen sich kaum regionale Unterschiede mit Ausnahme der Großstädte Berlin, Hamburg, Frankfurt und München, die im Mittel niedrigere Radonkonzentrationen aufweisen. Der erwartete Einfluß unterschiedlicher Baumaterialien auf die Radonkonzentration ist gering (Tab. 1). Statistisch signifikant unterscheiden sich nur Lehm/Holz und Naturstein als vorherrschendes Baumaterial durch eine um 30-40% höhere mittlere Radonkonzentration sowie Holz als vorherrschendes Baumaterial durch eine um ca. 30% niedrigere Konzentration. Dies deutet an, daß selbst Baumaterialien mit einer höheren Ra-226 Konzentration nicht unbedingt auch eine höhere Radonkonzentration zur Folge haben. Auch kann aus diesem Grund nicht aus Dosisleistungsmessungen in Wohnhäusern auf die radonkonzentration geschlossen werden. Hinweise, warum die Baustoffkombination Lehm/Holz und Naturstein im Mittel höhere Radonkonzentrationen aufweisen, geben Tab. 2 und Tab. 3. Diese Baustoffkombination

Tabelle 1 Radonkonzentration in Häusern mit unterschiedlichem vorherrschendem Baumaterial (Wände)

Baumaterial	Anzahl	Median Bqm ⁻³	geom. Standardabweichung σ_g
Ziegel	2227	40	1,8
Kalksandstein	785	37	1,7
Bimssteine	961	47	1,8
Schlackensteine	54	37	1,8
Spaltsteine	29	46	1,9
Beton	350	38	1,8
Gasbeton	277	40	1,8
Lehm (Holz)	44	57	1,8
Holz	150	29	1,8
Naturstein	95	61	2,4
Gips	76	34	1,8

wurde fast ausschließlich bei Fachwerkhäusern verwendet, erbaut überwiegend vor 1900. Die Bauweise dieser Häuser, Natursteinkeller, oft mit Naturboden wie Lehm oder Sand, ermöglicht eine weit bessere Anreicherung von Radon aus dem Erdreich im Haus als es moderne Häuser mit Betonplatte und Feuchtigkeitssperre ermöglichen. Betrachtet man nur die verwendeten Baumaterialien und die Radonkonzentration, so kann ein falscher Zusammenhang vorgetäuscht werden.

Tabelle 2 Radonkonzentration in Häusern mit unterschiedlichem Baujahr

Baujahr	Anzahl	Median Bqm ⁻³	geom. Standardabweichung σ_g
vor 1900	345	50	2,0
1901-1948	858	39	1,9
nach 1948	4677	40	1,9

Tabelle 3 Einfluß der Bauweise auf die Radonkonzentration

Baujahr	Anzahl	Median Bqm ⁻³	geom. Standardabweichung σ_g
Massivhaus	5459	41	1,8
Fachwerkhaus	185	50	1,8
Fertighaus (Leichtbau)	213	29	1,8

Die Radonkonzentration nimmt mit zunehmendem Stockwerk ab (Bild 6). Die höchsten Konzentrationen sind in Kellerwohnungen zu erwarten. Keine Unterschiede wurden zwischen Erdgeschoß und erstem Obergeschoß und zwischen zweitem Obergeschoß und höheren Stockwerken gefunden. Daraus ergibt sich zwangsläufig, daß in Ein- und Zweifamilienhäusern im Mittel höhere Radonkonzentrationen gefunden werden als in Mehrfamilienhäusern und in Hochhäusern (Bild 7). Eine Verringerung der Lüftungsraten wird durch Energiesparmaßnahmen, wie z. B. Abdichten der Fenster verursacht, was ein Ansteigen der Radonkonzentration erwarten läßt. Auskunft darüber geben die Angaben zu Fenstern und Heizungssystem. Es wurden keine Unterschiede für verschiedene Fenster- oder Heizungsarten gefunden. Die Lebens- und Lüftungsgewohnheiten der Bewohner scheinen in der Regel die Haupteinflussfaktoren für die Höhe der Radonkonzentration zu sein.

Die im Mittel höchsten Radonkonzentrationen wurden in Häusern ohne Keller, Medianwert 43 Bqm⁻³, oder mit nur

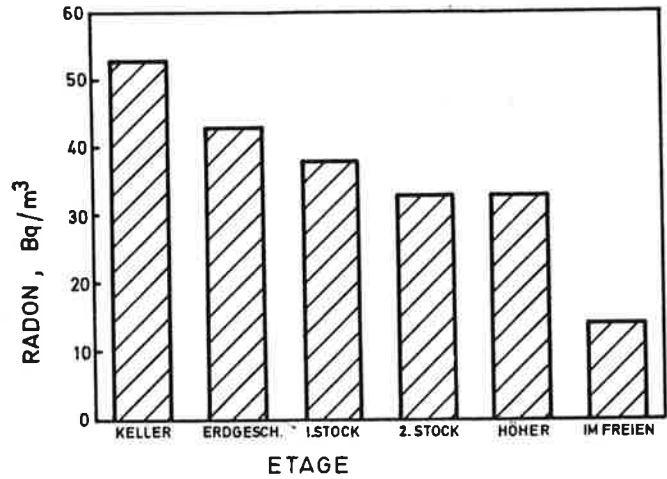


Bild 6 Abhängigkeit der Radonkonzentration von der Etage

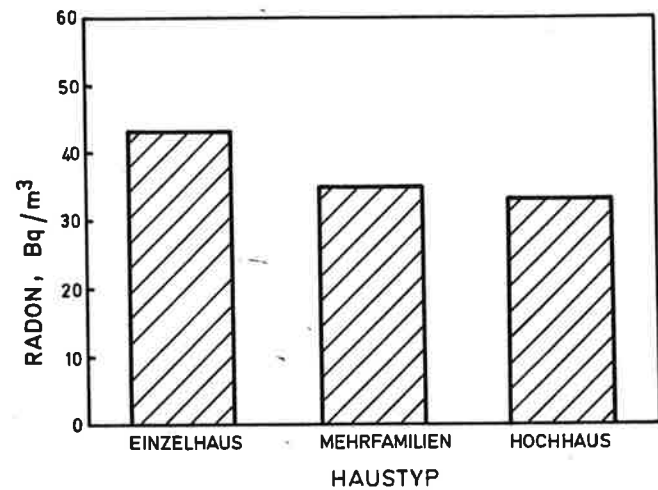


Bild 7 Radonkonzentration in verschiedenen Hausarten

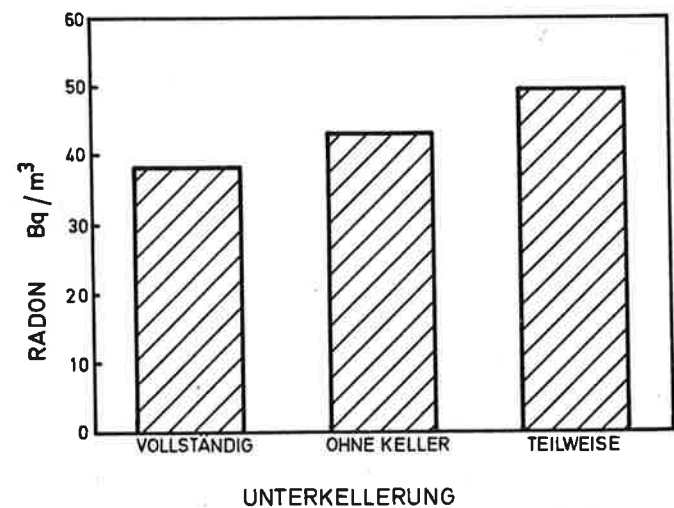


Bild 8 Einfluß der Unterkellerung auf die Radonkonzentration

teilweiser Unterkellerung, Medianwert 50 Bqm⁻³, im Vergleich zu 38 Bqm⁻³ in vollunterkellerten Häusern gefunden (Bild 8).

Radon im Freien

Schon zu Beginn der Meßreihe in Wohnhäusern zeichnete sich ab, daß die Ergebnisse der Radonmessungen im Freien, die gleichzeitig mit dem Wohnraummessungen durchgeführt wurden, nur sehr schwer interpretierbar bzw. nicht zuverlässig sind. Es gibt eine Reihe von Gründen dafür, wie z. B. Exposition der Dosimeter in unterschiedlicher Höhe über dem Erdboden, oder über unterschiedlichem Untergrund (Naturboden, Beton, Asphalt ...). Als Beispiel für die Höhenabhängigkeit der Radonkonzentration im Freien wurden im Sommer 1983 auf dem ehemaligen Betriebsgelände eines Uranversuchsbergwerkes in Bayern Höhenprofile gemessen (Bild 9). Aus diesen Gründen wurde beschlossen, die Messungen der Radonkonzentration im Freien von den Messungen in Wohnräumen zu trennen.

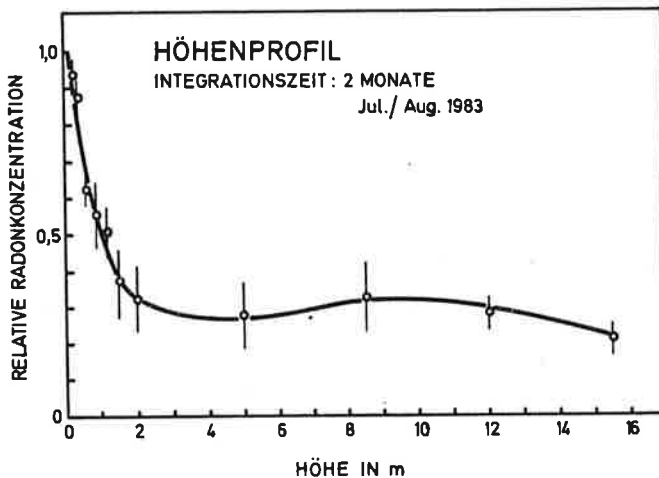


Bild 9 Beispiel für den relativen Verlauf der Radonkonzentration im Freien in Abhängigkeit von der Höhe über dem Erdboden

Die Messungen wurden einheitlich über das gesamte Bundesgebiet in den Wetterhäuschen der Klimahauptstationen des Deutschen Wetterdienstes durchgeführt. Die Expositionszeit wurde einheitlich auf ein Jahr festgelegt, um auch bei kleinen Radonkonzentrationen mit einiger Sicherheit einen Meßwert zu erhalten.

In den Jahren 1981 bis 1983 wurde in insgesamt 244 Wetterhäuschen der Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes über das gesamte Bundesgebiet verteilt Radonmessungen durchgeführt. Die Mittelwerte der Radonkonzentrationen für die einzelnen Bundesländer sind in Tab. 4 angegeben.

Dabei ist ein deutlicher Nord-Süd-Gradient erkennbar im Gegensatz zu den Wohnungsmessungen. Die Radonkonzentration im Freien wird u. a. durch geologische Parameter (Bodenbeschaffenheit, Radonquellstärke) sowie meteorologische Parameter (Niederschläge, Luftdruck, Wind) beeinflusst. Eine mögliche Ursache für die niedrigere Radonkonzentration in Küstengebieten ist neben unterschiedlichen geologischen Verhältnissen ein ständiger Verdünnungseffekt mit an Radon armer Seeluft.

Dosisermittlung

Bei der Inhalation von Radon und dessen kurzlebigen Zerfallsprodukten wird die resultierende Strahlenbelastung der Lunge überwiegend durch die Zerfallsprodukte und nicht durch das Edelgas selbst verursacht. Durch die ständig stattfindende Abreicherung der Zerfallsprodukte aus Luft wird in Wohnräumen nie radioaktives Gleichgewicht erreicht. Um

Tabelle 4 Mittlere Radonkonzentration im Freien Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes

Bundesland	Anzahl	Radonkonzentration Bq/m ³
Schleswig-Holstein	19	8
Hamburg	—	—
Niedersachsen	11	11
Bremen	2	12
Nordrhein-Westfalen	9	16
Hessen	44	17
Rheinland-Pfalz	8	15
Baden-Württemberg	129	23
Bayern	18	20
Saarland	2	15
Berlin	2	16

aus den gemessenen Radonkonzentrationen dennoch eine Dosisaussage zu ermöglichen, muß ein mittlerer Gleichgewichtsfaktor angenommen werden. Als mittlerer Gleichgewichtsfaktor wurde in ca. 300 (8,9) Kurzzeitmessungen der Wert 0,3 ermittelt. Wenige über mehrere Monate gemittelte Gleichgewichtsfaktoren bestätigen diesen Wert [4]. Dabei zeigte sich jedoch auch, daß auch Gleichgewichtsfaktoren von 0,7 auftreten können. Die Annahme eines Gleichgewichtsfaktors kann jedoch im Einzelfall zu erheblichen Fehlern führen. Verwendet man den derzeit international üblichen Dosiskonversionsfaktor von 1,5 Sv pro Jhm⁻³ (5,5 mSv/WLM) [10] und einen mittleren Gleichgewichtsfaktor von 0,35, so erhält man als Medianwert 1 mSv/a effektive Äquivalentdosis. Für die höchsten gemessenen Radonkonzentrationen erhält man Dosiswerte von bis zu 30 mSv/a.

Vergleich mit ICRP 39

Der Medianwert der Radonkonzentration von 6000 über das gesamte Bundesgebiet verteilten Wohnungen beträgt 40 Bqm⁻³ entsprechend einer effektiven Äquivalentdosis von 1,2 mSv/a. Gemessen wurde in einer von 5000 Wohnungen. 10% der Wohnungen weisen Radonkonzentrationen über 80 Bqm⁻³, 1% über 220 Bqm⁻³ auf. Die ICRP empfiehlt in ihrer Veröffentlichung Nr. 39 [11] als tolerierbare Grenzen für die gleichgewichtsäquivalente Radonkonzentration für bestehende Häuser 200 Bqm⁻³ sowie 100 Bqm⁻³ für neue Häuser. Nimmt man einen mittleren Gleichgewichtsfaktor von 0,35 an, so liegen 0,1% oder 20000-25000 der bundesdeutschen Wohnungen über dem empfohlenen Grenzwert für bestehende Häuser.

Zusammenfassung

Die Erhebungsmessungen geben einen recht guten Überblick zur derzeitigen Exposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland durch Radon bzw. seine Zerfallsprodukte.

Die Radonkonzentration unterliegt - stärker als die externe Gammastrahlung - ausgeprägten zeitlichen und regionalen Schwankungen. Wichtigste Radonquellen in Häusern sind das Erdreich unter dem Gebäude und teilweise die verwendeten Baumaterialien. Ein bedeutender Einflußfaktor auf die Höhe der Radonkonzentration ist die Luftaustauschrate abhängig von der Bauweise und den Lebensgewohnheiten der Hausbewohner.

Die Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentrationswerte in den 5970 ausgemessenen Wohnungen folgt weitgehend einer logarithmischen Normalverteilung mit einem Medianwert von 40 Bq/m⁻³ und einem Streufaktor von 1,8. Der höchste in der Bundesrepublik ermittelte Radonwert für Wohnungen liegt über 1000 Bq/m⁻³.

Deutliche regionale Unterschiede ergeben sich aus den verschiedenen geologischen Verhältnissen in der Bundesrepublik. So findet man u. a. hohe Werte in den ostbayerischen Granitgebieten und im Bereich der tertiären Vulkanite des Neuwieder Beckens. Dagegen sind in Norddetschland verhältnismäßig geringe Radonwerte anzutreffen. Weiterhin ergeben sich Anhaltspunkte dafür, daß die Radonkonzentrationen bei Häusern in Großstädten deutlich niedriger liegen als in ländlichen Gebieten.

Große Bedeutung haben offensichtlich konstruktive Merkmale eines Hauses. So findet man hohe Radonwerte bevorzugt in Einzelhäusern, teilunterkellert oder ohne Keller sowie in alten Häusern mit Naturstein oder Lehm als Wandbaustoff. Deutlich erniedrigt sind die Radonpegel in Leichtbau-Fertighäusern. Eine entsprechende Beobachtung wurde bereits bei den Erhebungsmessungen zur externen Strahlenexposition gemacht.

Unterschiede zwischen verschiedenen Heizungs- und Fenstersystemen sind von untergeordneter Bedeutung. Lediglich bei Häusern mit Einscheibenfenstern findet man leicht erniedrigte Radonwerte.

Innerhalb eines Hauses nimmt die Radonkonzentration vom Keller zu höheren Etagen hin ab. Dies ist wiederum ein Hinweis auf die Bedeutung des Erdbodens als Radonquelle.

Die mittlere Radonkonzentration im Freien ist etwa um den Faktor 3 kleiner als der Medianwert in Häusern. Mit 14 Bq/m^{-3} liegt er deutlich über den bislang publizierten Konzentrationsangaben. Für die Bundesrepublik ist ein deutlicher Nord-Süd-Astiege erkennbar, der sowohl durch unterschiedliche geologische Verhältnisse als auch durch meteorologische Einflüsse bestimmt sein kann.

Aus den mittleren Konzentrationswerten (Median) läßt sich unter Berücksichtigung der unterschiedlichen relativen Auf-

enthaltensdauer in Gebäuden (80%) und im Freien (20%) sowie unter Anwendung eines Gleichgewichtsfaktors von 0,35 eine effektive Äquivalentdosis von 1 mSv/a ableiten.

Eine Anwendung des ICRP-Konzepts zur Begrenzung der natürlichen Strahlenexposition würde etwa 20 000–25 000 bestehende Wohnungen (0,1%) in der Bundesrepublik betreffen.

Literatur

- [1] Urban, M., Kiefer, H.: Strahlenbelastung durch Radon in Wohnhäusern. Vortrag AGF „Strahlung und Radionuklide in der Umwelt“, 8.-9. Nov. 1984, Bonn Wissenschaftszentrum.
- [2] Jacobi, W., Eisfeld, K.: Dose to tissue and effective dose equivalent by inhalation of ^{222}Rn , ^{220}Rn and their short lived daughters, GSF-report 626, Feb. 1980, S. 626.
- [3] Porstendörfer, J.: Behaviour of Radon Daughter Products in Indoor Air, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 7, 1984, S. 107-113.
- [4] Urban, M.: Dosisbestimmung durch gleichzeitiges Messen der Radon-/Thoronkonzentration sowie der Gleichgewichtsfaktoren in Luft mit Hilfe eines Passiven Dosimeters, Dissertation, Universität Karlsruhe 1984.
- [5] Urban, M., Piesch, E.: Low Level Environmental Dosimetry with a Passive Track Etch Detector Device, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 1, 1981, S. 97-110.
- [6] Wicke, A.: Methoden zur Messung von Radon, Thron und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten in der Luft, Vortrag 5. Fachgespräch „Überwachung der Umweltradioaktivität“, 22.-24. März 1983, Kernforschungszentrum Karlsruhe.
- [7] Der Bundesminister des Innern: Die Strahlenexposition von außen in der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche radioaktive Stoffe im Freien und in Wohnungen, Bonn 1978.
- [8] Folkerts, H. K.: Messung der Aktivitätskonzentration der natürlichen Radionuklide ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Bi und $^{212}\text{Pb}/^{212}\text{Bi}$ in der Luft von Wohnung und im Freien, Diplomarbeit, Universität des Saarlandes 1981.
- [9] Wicke, A.: Untersuchungen zur Frage der Natürlichen Radioaktivität der Luft in Wohn- und Aufenthaltsräumen, Dissertation, Universität Gießen 1979.
- [10] NEA Group of Experts Report: Dosimetry Aspects of Exposure to Radon and Thoron Daughter Products, OECD, Paris 1983.
- [11] Annals of the ICRP: Statement from the 1983 Washington Meeting of the ICRP, CRP Publication 39; Principles for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation, Volume 14, No. 1, 1984.

Zur Reinhaltung von Luft und Gasen. Atemschutz. Zur Reinigung, Entfärbung und Rückge-

IDOS KG AKTIVKOHLE DÜSSELLA®
DUSSELDORF JÄGERSTR. 52-56

winnung von Flüssigkeiten. Trink- und Brauchwasseraufbereitung. Kondensatentölung etc.

*Allen unseren Inserenten
und Geschäftsfreunden
wünschen wir frohe Festtage
und ein
glückliches Neues Jahr 1985!*

**Anzeigenverwaltung
Reutin & Beck GmbH**

Lehrgänge / Schulung



**Die Bundesfachschule
Kälte-Klima-Technik
bringt Sie weiter!**

Informieren Sie sich unverbindlich über unser Schulungsangebot. Bestimmt finden auch Sie den geeigneten Lehrgang für Ihren Bedarf. Die Lehrgänge sind staatlich anerkannt und werden durch das Arbeitsamt gefördert.

Unser Programm-(Teil- und Vollzeitlehrgänge):

- Vorbereitungslehrgänge auf die Meisterprüfung
- überregionale Gesellenprüfung im Kälteanlagenbauerhandwerk
- Fort- u. Weiterbildungslehrgänge für Kälte- und Klimatechnik
- Wärmepumpenpraxislehrgänge

**Bundesfachschule
Kälte-Klima-Technik**

Schönstraße 21, 6000 Frankfurt
Telefon (0 69) 24 44 49

Senden Sie bitte
ausführliche
Informationen an:

