



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 124. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21. April 1994

Veröffentlicht in: – Bundesanzeiger Nr. 155 vom 18. August 1994
– Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 36

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2.	Ausgangssituation	3
3	Risiko durch Radon und seine Zerfallsprodukte	
3.1	Radon und Lungenkrebs.....	4
3.2	Risikoschätzung	4
3.3	Abhängigkeit von zusätzlichen Faktoren.....	5
4	Empfehlungen der SSK	
4.1	Wohnungen.....	6
4.2	Arbeitsplätze	7
5	Literatur	8

1 Einleitung

Die Strahlenschutzkommission hat bereits auf ihrer 84. Sitzung am 30. Juni 1988 /SSK 91/ Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radon und seine Zerfallsprodukte empfohlen. In den letzten Jahren ergaben sich aus verschiedenen internationalen Studien neue Erkenntnisse durch epidemiologische Untersuchungen, die die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) veranlaßten, einen Bericht und Empfehlungen über den Schutz vor Radon-222 in Wohnungen und am Arbeitsplatz /IC 93/ zu verfassen. Aus diesen Gründen hat sich die Strahlenschutzkommission mit der Thematik erneut befaßt. Sie hält es für sinnvoll und notwendig, unter Berücksichtigung des derzeitigen wissenschaftlichen und technischen Kenntnisstandes eine erneute Beurteilung vorzunehmen, die eine Weiterentwicklung der früheren Empfehlungen bedeutet.

2 Ausgangssituation

Die radioaktiven Isotope des Edelgases Radon (Rn-222 und Rn-220) sind natürliche Stoffe aus der Uran/Radium- bzw. Thorium-Zerfallsreihe, die überall in der Umwelt vorkommen. Radon kann aus dem Boden, dem Baumaterial von Häusern und aus dem Wasser in die Atmosphäre und somit auch in die Raumluft von Häusern gelangen. In der Regel ist die Radon-Konzentration in Häusern höher als in der Außenluft. Beim Zerfall von Radon entstehen weitere radioaktive Zerfallsprodukte, die bei Inhalation zu einer Strahlenexposition des Atemtraktes einschließlich der Lunge führen. Infolge dieser Inhalation erhalten der Atemtrakt und die Lunge die höchste Strahlenexposition aus natürlichen Quellen. Zur Strahlenexposition tragen vor allem die kurzlebigen Zerfallsprodukte des Radon-222 bei.

Die Konzentration von Radon in der Raumluft kann von Gebiet zu Gebiet und von Haus zu Haus sehr verschieden sein. Außerdem weist sie einen großen Bereich zeitlicher Schwankungen auf. Da die maßgebende Quelle in der Regel die Radon-Zufuhr aus dem Boden unter dem Haus ist, treten in Häusern in den meisten Fällen die höchsten Konzentrationen im Keller und in den Erdgeschoßwohnungen auf.

Entscheidend für die Strahlenexposition der Bewohner ist der langzeitige Mittelwert im Wohn- und Aufenthaltsbereich des Hauses. Die im letzten Jahrzehnt stichprobenartig in der gesamten Bundesrepublik Deutschland durchgeführten Langzeitmessungen der Radon-Konzentration in Häusern ergeben eine stark asymmetrische Verteilung. Die Jahresmittel der Radon-Konzentrationen in Wohnungen variieren im Bereich von einigen Bq/m³ bis zu einigen Tausend Bq/m³ und erreichen in Extremfällen einige 10.000 Bq/m³; der Mittelwert beträgt 50 Bq/m³. In Gebieten mit Gestein hohen Uran- bzw. Radiumgehaltes und unter bestimmten geologischen Bedingungen treten gehäuft höhere Radon-Konzentrationen auf. Außerdem wurden bei speziellen Erhebungsmessungen in Einzelfällen besonders hohe Werte gefunden, die durch den früheren Bergbau, beispielsweise durch Stollen unter den Häusern, bedingt waren. Nach diesen Messungen können unter den ca. 15 Mio. vorhandenen Wohngebäuden in der Bundesrepublik Deutschland bei ca. 1 bis 1,5 % der Gebäude Radon-Konzentrationen im Bereich zwischen 250 - 1.000 Bq/m³ und bei ca. 0,1 bis 0,3 % Radon-Konzentrationen über 1.000 Bq/m³ auftreten.

3 Risiko durch Radon und seine Zerfallsprodukte

3.1 Radon und Lungenkrebs

Schon im Mittelalter wurde über die hohe Sterblichkeitsrate bei den Bergleuten in den sächsischen und böhmischen Bergwerken berichtet. Im 19. Jahrhundert wurde Lungenkrebs als eine der Hauptursachen erkannt, und um 1920 begann man, Radon für die erhöhte Inzidenz verantwortlich zu machen.

In den vergangenen Jahrzehnten waren zahlreiche Bergleute im Uranbergbau hohen Radon-Konzentrationen sowie zusätzlichen Einflußfaktoren, wie z.B. Arsen, Staub, ausgesetzt. Bei diesen Bergleuten ergab sich in den folgenden Jahrzehnten eine deutlich erhöhte Rate von Lungenkrebs. Dieses ist vor allem auf die α -Strahlung des Radons und seiner Zerfallsprodukte zurückzuführen. Jedoch auch durch andere ionisierende Strahlen wird Lungenkrebs erzeugt, wie die Daten aus den Untersuchungen an den Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki zeigen.

Die Beobachtungen an Bergleuten, die erhöhten Radon-Konzentrationen ausgesetzt waren, sind mit der Annahme vereinbar, daß die Erhöhung der Lungenkrebsrate der Radonexposition proportional ist, und daß es keinen Schwellenwert der Radon-Konzentration gibt, unterhalb dessen kein zusätzliches Risiko für Lungenkrebs existiert. Da die durchschnittliche über das gesamte Leben akkumulierte Radonexposition der Bevölkerung nur etwa um den Faktor 10 geringer ist als Expositionen von Bergleuten, bei denen bereits eine Erhöhung der Lungenkrebsrate feststellbar war, ist davon auszugehen, daß Radon mit seinen Zerfallsprodukten auch in Wohnungen zur Lungenkrebsrate beiträgt.

3.2 Risikoschätzung

Aus den Beobachtungen an Bergarbeitern hat die Internationale Kommission für Strahlenschutz (ICRP) in ihrem Bericht "Protection against radon-222 in homes and at work" /IC 93/ das Lungenkrebsrisiko abgeschätzt. Für eine altersgemittelte männliche Bevölkerung mit durchschnittlichen Rauchgewohnheiten leitet sie das Mortalitätsrisiko für Lungenkrebs in Höhe von 0,0003 (30 Fälle unter 100.000 Personen) für einen typischen Jahresaufenthalt von 7.000 Stunden in einer Luftkonzentration von 250 Bq/m³ Radon *) ab. Akkumuliert über 70 Jahre des Lebens ergibt sich somit in einer Wohnung mit einer Radon-Konzentration von 250 Bq/m³ ein Zusatzrisiko von 0,02 für Lungenkrebs, wenn die Übertragung des Risikos von den Bergwerken auf die Situation in den Wohnungen vorgenommen wird.

Da die dosimetrischen Lungenmodelle für Radon und seine Zerfallsprodukte bisher nicht genügend abgesichert sind, geht die ICRP von einer Risikoschätzung aufgrund der epidemiologischen Daten aus und schlägt als Konvention vor, den Jahresaufenthalt in einer Wohnung, deren Radon-Konzentration 250 Bq/m³ beträgt, als gleichbedeutend mit einer effektiven Dosis von 4 mSv/a durch eine andere Strahlung anzusehen, da diese beiden Expositionen zum gleichen Risiko führen.

*) bei einem Gleichgewichtsfaktor 0,4 zwischen Radon und seinen Folgeprodukten

Da die Abschätzung des Risikos, d.h. der Wahrscheinlichkeit, mit der eine bestimmte Radonexposition Lungenkrebs verursacht, auf den Beobachtungen an Bergleuten beruht, ist die Extrapolation auf die unterschiedlichen Bedingungen und die geringeren Radon-Konzentrationen in Wohnungen naturgemäß unsicher. Hauptsächliche Unsicherheitsfaktoren sind Unterschiede der Atmungsraten bei der Untertagearbeit und in Wohnungen und zusätzliche schädliche Einflußfaktoren – wie z.B. Arsen oder Staub – in Bergwerken, die für einen Teil der beobachteten Gesundheitsschäden verantwortlich sein können. Insgesamt dürften die Risikowerte, die aus den Beobachtungen an Bergleuten abgeleitet wurden (Übertragung des expositionsabhängigen relativen Risikos auf andere Personengruppen) eine gewisse Überschätzung darstellen, wenn sie auf Radon in Wohnungen angewandt werden.

In epidemiologischen Untersuchungen über einen möglichen Zusammenhang zwischen erhöhten Radon-Konzentrationen in Wohnungen und der Lungenkrebshäufigkeit konnte bisher kein eindeutiger Zusammenhang erkannt werden. Eine neue schwedische Studie /PER 94/ zeigt jedoch einen Zusammenhang und bestätigt die Größenordnung der oben genannten Risikoschätzungen. Die allgemeine Gültigkeit dieser Zusammenhänge muß noch geklärt werden. Die Bundesrepublik Deutschland beteiligt sich durch epidemiologische Studien – ebenso wie andere Länder (z.B. /TIR 93/) – an einer Verbesserung der Kenntnis über das tatsächliche Risiko.

3.3 Abhängigkeit von zusätzlichen Faktoren

Es besteht kein Zweifel daran, daß durch Rauchen das Lungenkrebsrisiko erhöht ist. Es gibt Hinweise, daß das radonbedingte Zusatzrisiko durch Rauchen verstärkt wird. Die o.g. schwedische Studie zeigt, daß das Zusatzrisiko durch Radon für Raucher nicht "additiv" (gleiche Erhöhung bei Rauchern und Nichtrauchern), sondern eher "multiplikativ" ist (Multiplikation der Erhöhungsfaktoren von Radon und Rauchen). Auf der Basis der ICRP-Empfehlung zum Radon aus dem Jahre 1993 /IC 93/ würde dieses bedeuten, daß das radonbedingte Lungenkrebsrisiko der Raucher etwa doppelt so hoch und das der Nichtraucher etwa fünffach geringer ist als das radonbedingte Lungenkrebsrisiko für den Durchschnitt der männlichen Bevölkerung.

Schließlich sind die Risikoschätzungen für Lungenkrebs durch Radon auch im Hinblick auf die Abhängigkeit vom Alter bei Exposition differenziert zu sehen. Es wird häufig angenommen, daß Strahlenexpositionen in jungem Alter ein größeres Gesamtrisiko für Spätschäden, und insbesondere für strahleninduzierte Krebserkrankungen, bedingen als Expositionen in höherem Alter. Die Beobachtungen an den Atombombenüberlebenden sind mit einer solchen Annahme vereinbar. Die Untersuchungen zur Lungenkrebsrate bei Bergleuten nach Radonexposition führen jedoch zu dem gegenteiligen Schluß: Eine bestimmte Exposition in jüngerem Alter, d.h. zwischen 20 und 40 Jahren, führt zu deutlich weniger zusätzlichen Lungenkrebsfällen als eine Exposition in höherem Alter, d.h. zwischen 40 und 60 Jahren. Zwar verursacht eine Radonexposition in jugendlichem Alter für einige Jahre ein deutlich höheres relatives Risiko, jedoch steigen erst in höherem Alter die spontanen Raten von Lungenkrebs auf so hohe Werte, daß ein erhöhtes relatives Risiko auch bei den absoluten Raten ins Gewicht fällt.

Da alle Beobachtungen erhöhter Lungenkrebsraten nach Radonexposition Bergleute oder erwachsene Mitglieder der Bevölkerung betreffen, liegen keine Informationen vor, die sich direkt auf die Strahlenexposition von Kindern beziehen. Jedoch wurde in allen Untersuchungen deutlich, daß die hauptsächlichen Erhöhungen der relativen Lungenkrebsraten nicht länger als etwa 20 Jahre andauern. Da nach Bestrahlung im jugendlichen Alter während dieser Periode auch bei hohen relativen Raten im Vergleich zu dem spontanen Lungenkrebsrisiko die absoluten

Raten gering bleiben, sind Kinder und Jugendliche keine kritischen Gruppen bezüglich der Radonexposition. Die angegebene Dosiskonvention, d.h., der von ICRP vorgeschlagene Zusammenhang zwischen effektiver Dosis und Radonexposition, ist daher für Kinder und Jugendliche konservativ.

4 Empfehlungen der SSK

4.1 Wohnungen

Die SSK hat in ihrer Empfehlung von 1988 /SSK 91/ als Obergrenze des Normalbereiches der Konzentration von Rn-222 in der Raumluft einen Wert von 250 Bq/m^3 vorgeschlagen. Bei höheren Radon-Konzentrationen sollten aus Gründen der Vorsorge Maßnahmen zur Verringerung der Radon-Konzentration in Betracht gezogen werden. Dabei sollte der Zeitraum, in dem eine Sanierung durchzuführen ist, so begrenzt werden, daß die über diesen Zeitraum kumulierte Radonexposition unterhalb der durch die Obergrenze des Normalbereichs verursachten Lebenszeitexposition durch Radon in Häusern, d.h. unter $15.000 \text{ Bq} \cdot \text{a/m}^3$, verbleibt.

Der damals vorgeschlagene Wert von 250 Bq/m^3 ist in guter Übereinstimmung mit dem von der ICRP neuerdings vorgeschlagenen Bereich von 200 bis 600 Bq/m^3 , in dem ein nationaler Richtwert für die Obergrenze des Normalbereichs liegen sollte /IC 93/. In Übereinstimmung mit diesen neuen Empfehlungen der ICRP gibt die SSK für das Jahresmittel repräsentativer Werte der Radon-Konzentration im Wohnbereich folgende Empfehlungen:

1. 250 Bq/m^3 gilt wie bisher als oberes Ende des NORMALBEREICHES der Radon-Konzentration in Wohngebäuden der Bundesrepublik Deutschland. Bei Werten im Normalbereich werden Maßnahmen als nicht notwendig erachtet.
2. Der Bereich zwischen 250 und 1.000 Bq/m^3 gilt als ERMESSENSBEREICH für einfache Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition durch Radon. Dabei hängen die möglichen Maßnahmen stark von den Eintrittspfaden und der Verteilung des Radons im Gebäude ab, d.h. auch von Bauart, Bauzustand des Gebäudes und den Lebensgewohnheiten der Bewohner. In Abhängigkeit von der vorliegenden Situation können als einfache Maßnahmen geeignet sein:
 - vom Bewohner selbst zu treffende Maßnahmen:
 - Änderung der Raumnutzung in Abhängigkeit von der Radon-Konzentration und den Aufenthaltszeiten in den einzelnen Räumen,
 - häufigeres oder intensiveres Lüften,
 - Abdichtung offensichtlicher Radon-Eintrittspfade (Risse, Fugen, Rohrdurchführungen u.ä.),
 - nach Fachberatung durchzuführende Maßnahmen:
 - gezielte Einflußnahme auf die Druck- und Ausbreitungsverhältnisse im Gebäude (beispielsweise Schaffung natürlicher Lüftungsöffnungen an ge-

eigneten Stellen, Einsatz von Kleinventilatoren zur Über- oder Unterdruckhaltung),

→ Anbringen radonhemmender Beschichtungen.

3. Der Bereich oberhalb von 1.000 Bq/m^3 gilt als SANIERUNGSBEREICH, in dem die Radon-Konzentration reduziert werden sollte, auch wenn dazu aufwendigere Maßnahmen erforderlich sind. Die Wahl einer geeigneten Sanierungsmethode setzt eine Ermittlung des Sachverhaltes voraus. Die Sanierung - in der Regel bau- und lüftungstechnische Maßnahmen - sollte in einem angemessenen Zeitrahmen erfolgen, der unter anderem auch von der Höhe der Radon-Konzentration bestimmt wird. Bei Konzentrationen oberhalb von 15.000 Bq/m^3 wird jedoch empfohlen, eine Sanierung schnellstmöglich, längstens innerhalb eines Jahres, durchzuführen.
4. Bei Radon-Messungen in bestehenden Gebäuden muß beachtet werden, daß die Radon-Konzentration durch das Lüftungsverhalten sowie durch klimatische Bedingungen zum einen eine Tag/Nacht-Periodik und zum anderen eine jahreszeitliche Schwankung aufweist. Maßnahmen sollten nur auf der Grundlage von repräsentativen Jahresmittelwerten vorgeschlagen werden. Ersatzweise kann in dringenden Fällen der Ganzjahreswert durch einen 3-Monats-Mittelwert aus dem Frühjahr oder Herbst ersetzt werden.
5. Für neu zu errichtende Gebäude sollte angestrebt werden, daß in dem entstehenden Gebäude der Normalbereich der Radon-Konzentration nicht überschritten wird.
6. Es gibt Gebiete, in denen erhöhte Radon-Konzentrationen in Gebäuden besonders häufig auftreten. Das hängt einerseits von natürlichen geologischen Gegebenheiten, insbesondere der Radon-Konzentration der Bodenluft und der Permeabilität des Bodens – eventuell noch verstärkt durch Bergbau in diesen Gebieten –, andererseits von der Bauweise der Gebäude ab. Es wird empfohlen, in der Bundesrepublik Deutschland solche Gebiete unter Beachtung sowohl der geologischen Gegebenheiten als auch der Ergebnisse von Radon-Meßprogrammen in bestehenden Gebäuden schrittweise im einzelnen festzulegen. Orientierende Daten liegen vor. In diesen Gebieten mit erhöhtem Radon-Vorkommen sollte vorrangig radongeschützt gebaut werden. Praktische Erfahrungen über geeignete Baumaterialien und Bauweisen liegen bereits vor.

4.2 Arbeitsplätze

Beim Auftreten erhöhter Radon-Konzentrationen an Arbeitsplätzen in Gebäuden sind die geringeren Aufenthaltszeiten gegenüber Wohnungen zu berücksichtigen. Es kann daher von entsprechend höheren Radon-Konzentrationen ausgegangen werden, bevor Maßnahmen zu erwägen sind.

5 Literatur

- /IC 93/ International Commission on Radiological Protection:
Protection against radon-222 at home and at work, ICRP-Publication (in Druck)
- /PER 94/ G. Pershagen, G. Akerblom, O. Axelson, B. Clavensjö, L. Damberg, G. Desai,
A. Enflo, F. Lagarde, H. Mellander, M. Svartengren, G.A. Swedjemark:
Residential Radon Exposure and Lung Cancer in Sweden. N. Engl. J. Med. 330
(1994) 159 - 164.
- /SSK 91/ Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung
durch Radon und seine Zerfallsprodukte. Empfehlungen der Strahlenschutzkom-
mission 1988/1989, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York, 1991
- /TIR 93/ M. Tirmarche, A. Raphalen, I. Allin, J. Chameaud, P. Bredon:
Mortality of a cohort of French uranium miners exposed to relatively low radon
concentrations. Br.J. Cancer 67 (1993) 1090-1097.