

Radon in Wohnungen ist wichtigster Umweltrisikofaktor für Lungenkrebs

Michaela Kreuzer

Die bisher in Europa, Nordamerika und China durchgeführten epidemiologischen Studien zum Lungenkrebsrisiko durch Radon in Wohnungen zeigten eine starke Evidenz für einen linearen Zusammenhang zwischen Erkrankungsrisiko und Höhe der Radonkonzentration. Die in den einzelnen Studien geschätzten Risikokoeffizienten waren konsistent erhöht, schwankten jedoch von Studie zu Studie stark und erreichten oftmals keine statistische Signifikanz [1]. Einzelstudien zu Radon in Wohnungen und Lungenkrebs sind im allgemeinen in ihrer Aussagefähigkeit begrenzt. Häufig ist der Stichprobenumfang oder der Größenbereich der Exposition zu gering, um eine tatsächlich vorhandene Risikoerhöhung statistisch absichern zu können und um für den dominanten Risikofaktor für Lungenkrebs, das Rauchen, ausreichend adjustieren zu können. Nur sehr große Studien können diese Probleme überwinden und verlässliche Risikoabschätzungen liefern. Mit finanzieller Unterstützung durch die Europäische Kommission wurden deshalb die Originaldaten der in Europa durchgeführten Studien zusammengefasst und gemeinsam ausgewertet. Dies war möglich, da alle Studien nach einem nahezu einheitlichen Studienprotokoll vorgegangen waren. Die Ergebnisse dieser weltweit größten Studie wurden vor kurzem publiziert [2] und sollen hier vorgestellt werden.

Ziele der europaweiten Studie

Ziel der gemeinsamen Auswertung der europäischen Studie war die Untersuchung folgender – bisher in den Einzelstudien nicht schlüssig zu beantwortenden – Fragen.

- Welche Form hat die Expositions-Wirkungs-Beziehung?
- Wie hoch ist das zusätzliche relative Risiko durch Radon?
- Gibt es einen Schwellenwert, unterhalb dessen keine Gesundheitsgefährdung zu befürchten ist?
- Wie ist die gemeinsame Wirkung von Radon und Rauchen?
- Wie viele der Lungenkrebstodesfälle werden durch Radon verursacht?

Aufbau der europaweiten Studie

Die gemeinsame Studie umfasst dreizehn Studien aus neun Ländern. Die Studienkoordination und

statistische Auswertung erfolgte in Oxford unter Leitung von Prof. Sarah Darby. Von deutscher Seite waren das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), das GSF-Institut für Epidemiologie in Neuherberg und die Tierärztliche Hochschule Hannover beteiligt. Insgesamt gingen in die Studie 7.148 Lungenkrebspatienten und 14.208 Kontrollpersonen ohne diese Erkrankung ein. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die an der europäischen Auswertung beteiligten Einzelstudien. Darunter waren zwei vom BfS geförderte große deutsche Studien [3, 4, 5].

Tabelle 1: Übersicht über die an der gemeinsamen europäischen Auswertung beteiligten epidemiologischen Studien zu Lungenkrebs und Radon in Wohnungen (Quelle: [2])

Studie	Stichprobenumfang (Anzahl der Probanden)	
	Lungenkrebs- patienten	Kontroll- personen
Österreich	183	188
Tschechische Republik	171	713
Finnland (landesweit)	881	1.435
Finnland (Süden)	160	328
Frankreich	571	1.209
Deutschland (Ost)	945	1.516
Deutschland (West)	1.323	2.146
Italien	384	405
Spanien	156	235
Schweden (landesweit)	960	2.045
Schweden (Nieraucher)	258	487
Schweden (Stockholm)	196	375
Großbritannien	960	3.126
Insgesamt	7.148	14.208

Bei den Studienteilnehmern wurde in den Wohnungen, die im Zeitraum 5 bis 35 Jahre vor Befragung oder Diagnose bewohnt wurden, die Radonkonzentration über mindestens ein halbes Jahr gemessen. Zusätzlich wurden alle Probanden detailliert nach ihrem lebenslangen Rauchverhalten und anderen Risikofaktoren für Lungenkrebs befragt. Für jeden Probanden wurde der zeitgewichtete Mittelwert der Radonkonzentrationen in Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³) für die im Zeitraum der letzten 5 bis 35 Jahre bewohnten Wohnungen berechnet. In allen Risikoanalysen wurden die wichtigen Störfaktoren wie Alter, Ge-

schlecht, Region und insbesondere Rauchen berücksichtigt.

Ergebnisse der europaweiten Studie

• Expositions-Wirkungs-Beziehung

Tabelle 2 zeigt für verschiedene Expositions-kategorien von Radon das zugehörige relative Risiko (RR) für Lungenkrebs mit Angabe des 95 %

Vertrauensbereichs. Das relative Lungenkrebsrisiko steigt deutlich mit steigender Radonkonzentration. So hat beispielsweise eine Person, die in einer Wohnung mit einer Radonkonzentration von mehr als 800 Bq/m³ lebt, ein zweimal so hohes Risiko (RR = 2,02) an Lungenkrebs zu erkranken wie eine Person, die in einer Wohnung mit einer fiktiven Radonkonzentration von 0 Bq/m³ wohnt.

Tabelle 2: Relatives Risiko für Lungenkrebs nach verschiedenen Expositions-kategorien der Radonkonzentration [2]

Radon [Bq/m ³] ₁	Anzahl (%)		Relatives Risiko ₂	95 % Vertrauensbereich
	Lungenkrebsfälle	Kontrollpersonen		
< 25	566 (7,9)	1.474 (10,3)	1,00	0,87 – 1,15
25 – 49	1.999 (28,0)	3.905 (27,5)	1,06	0,98 – 1,15
50 – 99	2.618 (36,6)	5.033 (35,4)	1,03	0,96 – 1,10
100 – 199	1.296 (18,1)	2.247 (15,8)	1,20	1,08 – 1,32
200 – 399	434 (6,1)	936 (6,6)	1,18	0,99 – 1,42
400 – 799	169 (2,4)	498 (3,5)	1,43	1,06 – 1,92
≥ 800	66 (0,9)	115 (0,8)	2,02	1,24 – 3,31
Insgesamt	7.148 (100,0)	14.208 (100,0)		

Erläuterung:

₁ Mittlere zeitgewichtete Radonkonzentration der Wohnungen, die im Zeitraum 5 bis 35 Jahre vor Interview oder Diagnose bewohnt wurden

₂ Relatives Risiko (RR) adjustiert für Alter, Geschlecht, Region und Rauchen. Skalierung so gewählt, dass RR = 1,00 bei 0 Bq/m³

Um die Form des Expositions-Wirkungs-Zusammenhangs von Radon und Lungenkrebs zu untersuchen, wurden verschiedene Modellierungsansätze verwendet und miteinander verglichen. Ein lineares Modell ohne Schwellenwert beschreibt die Daten am besten. Dabei erhöht sich das Lungenkrebsrisiko um 8,4 % (95 % Vertrauensbereich: 3 % bis 16 %) pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq/m³. Berücksichtigt man zusätzlich Messunsicherheiten wie sie durch Messfehler, Ersetzen von fehlenden Werten etc. entstehen, so erhöht sich das Risiko von 8,4 % auf 16 % (95% Vertrauensbereich: 3 % bis 31 %). Dies bedeutet, dass beispielsweise eine Person, die in einer Wohnung mit einer Radonkonzentration von 100 Bq/m³ lebt, ein 16 % höheres Lungenkrebsrisiko hat, als eine Person, die einer Wohnung mit einer fiktiven Radonkonzentration von 0 Bq/m³ wohnt oder eine Person mit 200 Bq/m³ bzw. 300 Bq/m³ dementsprechend ein 32 % bzw. 48 % höheres Risiko hat als eine Person in einer Wohnung mit 0 Bq/m³.

• Schwellenwert

Um zu prüfen, ob ein Schwellenwert existiert, unterhalb dessen keine Risikoerhöhung auftritt, wurden verschiedene Strategien verwendet. So wurden Risikomodelle angewandt, die davon ausgehen, dass bis zu einem bestimmten Schwellenwert kein Risiko und erst ab diesem Wert ein linearer Effekt auftritt. Keines dieser Modelle lieferte eine statistisch signifikant bessere Modellanpassung als ein lineares Modell ohne Schwellenwert. In diesen Modellen war die obere 95% Vertrauensgrenze für einen möglichen Schwellenwert 150 Bq/m³. Des Weiteren wurden die Risikoberechnungen auf Probanden mit Radonkonzentrationen unterhalb von 200 Bq/m³ beschränkt. Auch bei dem so eingeschränkten Datensatz konnte eine statistisch signifikante lineare Expositions-Wirkungs-Beziehung nachgewiesen werden. Probanden mit Radonkonzentrationen zwischen 100 und 200 Bq/m³ zeigten ein 1,2fach statistisch signifikant höheres Lungenkrebsrisiko als Probanden mit Werten unter 100 Bq/m³ (RR=1,2, 95 % Vertrauensbereich: 1,05 bis 1,30). Damit werden selbst bei einer Radonkonzentration unterhalb von 200 Bq/m³,

welche der derzeit international empfohlenen unteren Grenze zur Durchführung von Sanierungsmaßnahmen zur Radonverminderung in Wohnräumen entspricht [7], statistisch signifikante Risikoerhöhungen beobachtet.

• Gemeinsame Wirkung von Rauchen und Radon

Ein wesentliches Ergebnis der europäischen Studie ist, dass das relative Lungenkrebsrisiko durch Radon für lebenslange Nichtraucher, Ex-Raucher und derzeitige Raucher vergleichbar hoch ist. Da Raucher ein wesentlich höheres Ausgangsrisiko für Lungenkrebs haben, führt ein gleiches relatives Risiko durch Radon zu einem deutlich höheren absoluten Risiko für Raucher. Tabelle 3 zeigt für Raucher und Nichtraucher getrennt die Wahrscheinlichkeiten bis zum Alter von 75 Jahren an Lungenkrebs zu versterben in Abhängigkeit von der Radonkonzentration. Dabei wurde von folgenden Voraussetzungen ausgegangen: 1) Ein Raucher von 15-24 Zigaretten pro Tag hat ein ca. 25fach höheres Lungenkrebsrisiko als ein lebenslanger Nichtraucher. 2) Das Lungenkrebsrisiko steigt um 16 % pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq/m³. In der Gruppe der Raucher erhöht sich das absolute Risiko bis zum 75sten Lebensjahr an Lungenkrebs zu sterben von 101 auf 216 pro 1.000 Personen bei 0 Bq/m³ im Vergleich zu 800 Bq/m³, in der Gruppe der lebenslangen Nichtraucher hingegen nur von 4 auf 9 pro 1.000 Personen. Die Mehrheit der radoninduzierten Fälle stellen deshalb Raucher dar.

Tabelle 3: Kumulatives absolutes Risiko bis zum 75sten Lebensjahr an Lungenkrebs zu sterben in Abhängigkeit der Radonkonzentration für lebenslange Nichtraucher und Raucher [2] / Angaben in Anzahl Lungenkrebstodesfälle pro 1.000 Personen

	0 Bq/m ³	100 Bq/m ³	400 Bq/m ³	800 Bq/m ³
lebenslange Nichtraucher	4,1	4,7	6,7	9,3
Raucher (15-24 Zigaretten pro Tag)	101	116	160	216

• In der EU jährlich etwa 20.000 Lungenkrebstodesfälle durch Radon

In der gemeinsamen europäischen Auswertung wurde eine grobe Abschätzung des Anteils der durch Radon in Wohnungen verursachten Lungenkrebstodesfälle in Europa vorgenommen. Nach UNSCEAR 2000 [6] beträgt der bevölkerungsgewichtete Mittelwert der Radonkonzentration in Wohnungen in der Europäischen Union

etwa 59 Bq/m³. Geht man von einem linearen Risikoanstieg von 16 % pro 100 Bq/m³ aus, so verursacht Radon in Wohnungen in Europa 9 % aller Lungenkrebstodesfälle und 2 % aller Krebstodesfälle. Absolut gesehen heißt dies, dass ca. 20.000 Lungenkrebstote pro Jahr in der europäischen Union durch Radon verursacht werden.

Radonschutzgesetz in Vorbereitung

Das BfS hat Mitte 2004 ein Konzept für Strahlenschutzmaßnahmen zur Verminderung der Strahlenexposition durch Radon in Aufenthaltsräumen entwickelt und vorgestellt. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hat darauf aufbauend einen Gesetzentwurf für ein Radonschutzgesetz vorgelegt. Ab einer Belastung von 100 Bq/m³ sollen zeitlich gestaffelt je nach Höhe der Radonkonzentration Sanierungsmaßnahmen bei bereits bestehenden Gebäuden durchgeführt werden und bauliche Auflagen für neu zu errichtende Gebäude gestellt werden.

Literatur

1. Kreuzer, M.: Radon in Wohnungen – ein wichtiger Risikofaktor für Lungenkrebs. UMID 3/2004, S. 9-12
2. Darby, S., Hill, D., Auvinen, A. et al.: Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. BMJ, doi: 10.1136/bmj.38308.477650.63 (published 21 December 2004)
3. Kreuzer, M., Heinrich, J., Wölke, G. et al.: Residential radon and risk of lung cancer in Eastern Germany. Epidemiology 2003, 14: 559-568
4. Kreienbrock L., Kreuzer, M., Gerken, M., et al. Case-control study on lung cancer and residential radon in West Germany. Am. J Epidemiol. 2001, 153: 42-52
5. Wichmann, H.E., Schaffrath Rosario, A., Heid, I. et al.: Increased lung cancer risk due to residential radon in a pooled and extended analysis of studies in Germany. Health Physics 2005; 88:71-79
6. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Vol 1: Sources. New York: United Nations, 2000
7. ICRP, International Commission on Radiological Protection (1993): Protection against radon 22 at home and at work. ICRP Publ. 65. Annals of the ICRP, Vol. 24, No 1-3

Anschrift der Autorin

Priv.-Doz. Dr. Michaela Kreuzer,
Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Gesundheit, Ingolstädter Landstr. 1,
85764 Oberschleißheim,
[E-Mail: mkreuzer@bfs.de](mailto:mkreuzer@bfs.de)

Aus: **UMWELTMEDIZINISCHER INFORMATIONSDIENST, Ausgabe 1/2005, HERAUSGEBER: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Robert Koch-Institut (RKI), Umweltbundesamt (UBA)**

