



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Attributives Lungenkrebsrisiko durch Radon-Expositionen in Wohnungen

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 208. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 11./12. Juli 2006

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Zusammenfassung der Studie „Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen“	3
3	Aktueller Kenntnisstand zum Lungenkrebsrisiko durch Radon in Wohnungen	8
4	Zusammenfassende Stellungnahme der Strahlenschutzkommission.....	9
5	Literatur	11

1 Einleitung

Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat in ihrer Stellungnahme [SSK 2005] „*Lungenkrebsrisiko durch Radonexpositionen in Wohnungen*“ zu den Ergebnissen neuerer Studien, insbesondere der europäischen Pooling-Studie [Darby et al. 2005, 2006], auf eine signifikante Erhöhung des Lungenkrebsrisikos im Bereich von 100 bis 199 Bq/m³ für lebenslange Nichtraucher hingewiesen.

In der Studie „*Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen*“ [Menzler et al. 2006] wurden die Ergebnisse der europäischen Pooling-Studie zur Abschätzung des Lungenkrebsrisikos durch Radon in Deutschland angewandt. Dazu war insbesondere eine Abschätzung der Radon-Konzentration in den Wohnungen der einzelnen Teile Deutschlands und ihrer Variabilität nötig. Aus Anlass dieser neuen Studie nimmt die SSK zum attributiven Lungenkrebsrisiko durch Radon-Expositionen in deutschen Wohnungen sowie zu einer möglichen Reduktion der jährlichen Lungenkrebstodesfälle durch die Einführung eines Höchstwertes für die Radon-Konzentration nachfolgend Stellung.

Unter dem (bevölkerungsbezogenen) attributiven Risiko versteht man dabei den Anteil an den Erkrankungen in der Bevölkerung (in %), der durch die Exposition gegenüber einem Risikofaktor erklärbar ist. Im Hinblick auf Radon gibt das attributive Risiko somit an, wie viel Prozent der Lungenkrebserkrankungen in Deutschland der Exposition gegenüber Radon in Wohnungen zuzuschreiben sind.

2 Zusammenfassung der Studie „Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen“

Zur Ermittlung des attributiven Risikos durch Radon in Deutschland werden folgende Daten verwendet:

1. (Relatives) Risikomodell
2. Daten in den Regionen Deutschlands
 - zur Radon-Verteilung
 - zur Struktur und Verteilung des Wohnraums
 - zum Rauchverhalten
 - zur Mortalität.

Deutsche Radon-Verteilung

Derzeit gibt es in Deutschland kein nationales oder regionales Radon-Monitoring-Programm. Es war daher im Rahmen der Studie erforderlich, für Deutschland eine Radon-Verteilung aus den vorliegenden diversen Forschungsdaten abzuleiten. Dazu wurden in Kooperation mit dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) 18 von insgesamt 28 vorliegenden Studien ausgewählt, bei denen Messungen in Wohnräumen durchgeführt worden waren, und in ein gemeinsames Datenformat gebracht. Studien, die gezielt in hoch belasteten Häusern durchgeführt worden waren, wurden nicht berücksichtigt. Notwendig war in diesem Zusammenhang die Harmoni-

sierung der Studien bezüglich der drei Variablen „bewohnt/unbewohnt“, „Baujahr“ und „Etage“ sowie die Behandlung fehlender oder falscher Einträge.

Nach dem Ausschluss nicht geeigneter Daten lagen schließlich 75 764 Radon-Messwerte in 28 509 Wohneinheiten vor. Messwerte in den einzelnen Wohneinheiten wurden entsprechend der Messdauer gewichtet. Für diese Messwerte wurde eine Saisonkorrektur durchgeführt, um eine mittlere jährliche Radon-Konzentration in den Wohneinheiten abzuleiten. Es stellte sich heraus, dass diese Korrektur zu keinen wesentlichen Änderungen z.B. beim geometrischen und arithmetischen Mittel der Radon-Konzentration führt.

Für die 76 Landkreise, in denen nur 10 oder weniger Messungen vorlagen, wurden bis zu 50 zufällig ausgewählte Ersatzwohnungen aus Landkreisen aufgenommen, die die gleichen Bodenluftkonzentrationen aufweisen. Insgesamt wurden auf diese Weise 3 827 Wohnungen dem Datensatz hinzugefügt, so dass die weitere Auswertung 32 336 Wohneinheiten umfasste. Es zeigte sich, dass für Schleswig-Holstein, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt keine regionalen Aussagen getroffen werden können, da die Anzahl der Messwerte in diesen Bundesländern zu niedrig war.

Um sich einer repräsentativen Verteilung der Radon-Messwerte weiter anzunähern, wurden ferner die Radon-Messwerte entsprechend der Bevölkerung der Landkreise gewichtet. Im Ergebnis beträgt danach das arithmetische Mittel der gewichteten Radon-Konzentration in Deutschland 49 Bq/m^3 (5%-Perzentil: 13 Bq/m^3 ; 95%-Perzentil: 115 Bq/m^3).

Da auch das Baujahr eines Hauses sowie die Etage des Raumes, in dem gemessen wurde, einen deutlichen Einfluss auf die Radon-Konzentration haben, wurden die Messergebnisse zudem mit einer für Deutschland typischen Verteilung von Baujahr und Etagenanzahl gewichtet. Dazu wurden Angaben des Statistischen Bundesamtes verwendet, die auf Bundeslandebene zur Verfügung standen. Dabei wurde auch die Bevölkerungsgewichtung auf Bundeslandebene durchgeführt. Dieses Verfahren ergab ein arithmetisches Mittel der gewichteten Radon-Konzentration in Deutschland von 50 Bq/m^3 .

In der Studie wird zudem die Radon-Verteilung für Deutschland korrigiert auf zufällige Unsicherheiten bei der Bestimmung der Radon-Konzentrationen. Dazu wurde ein Verfahren angewendet, das dem Korrekturverfahren in der europäischen Pooling-Studie [Darby et al. 2005, 2006] entspricht. Bei diesem Verfahren wird berücksichtigt, dass die zufälligen Unsicherheiten, die mit der Bestimmung der Radon-Konzentration in Häusern verbunden sind, nicht symmetrisch verteilt sind. So kann beispielsweise bei einer wahren Konzentration von 300 Bq/m^3 die tatsächlich gemessene zwar um 500 Bq/m^3 zu hoch, jedoch nicht um 500 Bq/m^3 zu niedrig sein. Die Bestimmung dieser Unsicherheiten fand nach Darby et al. statt, indem in denselben Häusern in verschiedenen Jahren wiederholt Raumluftmessungen durchgeführt worden waren. Das Verfahren schließt Messunsicherheiten, unterschiedliches Lüftungsverhalten der Bewohner oder saisonale Schwankungen der Radon-Konzentration ein und berücksichtigt auch die Unsicherheiten, die entstehen, wenn aus den Messwerten auf langjährige mittlere Radon-Konzentrationen in der Vergangenheit geschlossen wird. Nicht berücksichtigt werden nach Darby et al. bei diesem Verfahren jedoch beispielsweise Variabilitäten, die auf Grund der unterschiedlichen Nutzungsdauern verschiedener Räume durch die Bewohner entstehen. Systematische Änderungen der Raumluftkonzentrationen, etwa auf Grund von energieeffizienterer Bauweise, gehen ebenfalls nicht in die Analyse ein.

Zur Schätzung der Unsicherheitenvarianz wurde in der vorliegenden Studie der Median der Unsicherheitsgrößen aus den europäischen Radon-Studien verwendet. Da jedoch diese Unsicherheiten für verschiedene Länder unterschiedlich sind, wäre es interessant, inwieweit derartige unterschiedliche Werte das Ergebnis für die korrigierte Radon-Konzentration in Deutschland beeinflussen können. Dies wurde in der Studie nicht untersucht.

Nach Durchführung des beschriebenen Korrekturverfahrens ergibt sich für die 32 336 Wohneinheiten an Stelle der Radon-Verteilung, die ein arithmetisches Mittel von 49 Bq/m^3 aufwies, eine korrigierte Expositionsverteilung mit einem arithmetisches Mittel von 44 Bq/m^3 .

Angaben zum Rauchen

In der Studie wurden die Daten zum Rauchen, getrennt nach Geschlecht und Alter, berücksichtigt. Für das Lungenkrebsrisiko durch Rauchen sind für Deutschland die Angaben von Wichmann et al. [2005] und Schaffrath Rosario et al. [2006] verwendet worden. Es wird angenommen, dass eine multiplikative Interaktion von Rauchen und Radon besteht. Die Daten zum Anteil der aktuellen Raucher, Ex-Raucher und lebenslangen Nichtraucher in den Jahren 1990-1992 stammen aus der ersten gemeinsamen Publikation der Nationalen Untersuchungs-surveys West 1990-91 und Ost 1991-92.

Mortalitätsdaten

Es wurden aktuelle Mortalitätsdaten für Lungenkrebs für die Jahre 1996-2000 verwendet (Datenquelle: Deutsches Krebsforschungszentrum) und daraus nach Alter, Geschlecht und Raucherstatus differenzierte Mortalitätsraten berechnet.

Methodik

Bei der Schätzung des attributiven Risikos wird für Deutschland eine Sterbetafelmethode zur Schätzung des Lebenszeitriskos für Lungenkrebsmortalität verwendet. In das Hauptmodell zur Berechnung der Anzahl der durch Radon induzierten Lungenkrebstodesfälle gehen ein:

- Das lineare relative Risikomodell der europäischen Pooling-Studie,
- eine Expositionsverteilung, die aus der Verteilung der Messwerte abgeschätzt wurde,
- der multiplikative Zusammenhang zwischen Rauchen und Radon sowie
- ein Basiswert von 9 Bq/m^3 für die Außenluft („Null-Exposition“).

Ferner wird eine minimale Latenzzeit von 20 Jahren bezüglich des Lungenkrebsrisikos nach Radon-Exposition angenommen.

Ergebnisse

Im Abschlussbericht der Studie [Menzler et al. 2006] werden die folgenden Hauptergebnisse angegeben:

- Bei einer mittleren Radon-Konzentration von 49 Bq/m^3 sind 1 896 Fälle pro Jahr oder 5% aller 37 700 jährlichen Lungenkrebstodesfälle in Deutschland mit der Radon-Exposition in Wohnungen assoziiert. Vergleiche zu entsprechenden Berechnungen mit Risikomodellen, die aus Studien bei Bergarbeitern abgeleitet worden waren, zeigen, dass bisherige Berechnungen eher zu einer etwas höheren Abschätzung des populations-attributiven Risikos geführt hatten. Ein wichtiger Aspekt ist hierbei die unzureichende

Berücksichtigung der Abnahme des Risikos mit der Zeit seit Exposition in den Bergarbeitermodellen [BEIR VI 1999]. Wegen der begrenzten Beobachtungszeit in den zugrundeliegenden Kohorten-Studien wird für 35 und mehr Jahre nach Exposition immer noch ein nennenswertes Risiko angenommen. Folgt man Jacobi [1993], dann halbiert sich das Risiko jedoch alle 10 Jahre und ist ab 35 Jahren nahe bei Null. Führt man eine solche Korrektur beim BEIR VI-Modell ein, so ergeben sich ähnliche Schätzer wie in der Indoor-Studie [Menzler et al. 2006].

- Das attributive Risiko ist in Thüringen (8,75%), Sachsen (8,29%), Rheinland-Pfalz (6,43%) und Bayern (6,24%) am höchsten und in Bremen, Hamburg, Berlin und Niedersachsen am geringsten (Tabelle 1).
- Berücksichtigt man jedoch die Bevölkerungszahlen in den Bundesländern, dann sind Nordrhein-Westfalen, Bayern, Baden-Württemberg und Sachsen die Länder mit den meisten Lungenkrebstodesfällen (genauer siehe in [Menzler et al. 2006]).
- Es könnten insgesamt 302 Fälle pro Jahr vermieden werden, wenn die Radon-Konzentrationen in Wohnungen auf unter 100 Bq/m^3 reduziert würden. Dies entspricht 15,9% aller mit Radon-Konzentrationen assoziierten Lungenkrebstodesfälle oder 0,8% aller Lungenkrebstodesfälle in Deutschland (Tabelle 2).
- Ein Richtwert von 200 Bq/m^3 könnte zu einer Verminderung der Todesfälle durch Lungenkrebs um 143 Fälle pro Jahr führen (Tabelle 2).
- Ein zulässiger Wert von maximal 400 Bq/m^3 ließe die Anzahl der mit Radon assoziierten Lungenkrebstodesfälle um 68 Fälle sinken (Tabelle 2).
- Unter Annahme einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ist die Radon-Exposition in Wohnräumen in Deutschland bei Rauchern mit 1 737 Todesfällen pro Jahr, bei lebenslangen Nichtrauchern mit 159 Todesfällen pro Jahr assoziiert. Als Unsicherheitsbereich ergaben sich für beide Gruppen zusammen 652 bis 4 759 Lungenkrebstodesfälle pro Jahr.

*Tabelle 1: Arithmetisches Mittel der Radon-Konzentration, geometrisches Mittel der Radon-Konzentration mit Standardabweichung und abgeschätzte attributive Risiken** durch Radon für die einzelnen Bundesländer. Auf Grund ungenügender Information zur Radon-Konzentration wurden keine Werte für Schleswig-Holstein, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt angegeben (nach [Menzler et al. 2006] „Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen“, Tabellen 9, 10 und 42).*

Bundesland	Arithmetisches Mittel der Radon-Konzentration in Wohnräumen (Bq/m ³)	Geometrisches Mittel der Radon-Konzentration in Wohnräumen (Bq/m ³) (in Klammern: Geometrische Standardabweichung)	Attributives Risiko** in % (in Klammern: 95%-Konfidenzintervall) M: Männer, F: Frauen
Thüringen	81	57 (2.16)	M 8,67 (3,07-20,43) F 9,05 (3,19-21,46)
Sachsen	79	51 (2.23)	M 8,21 (2,90-19,44) F 8,58 (3,02-20,49)
Bayern	59	43 (2.03)	M 6,19 (2,14-15,26) F 6,37 (2,20-15,76)
Rheinland-Pfalz	59	48 (1.85)	M 6,36 (2,21-15,65) F 6,62 (2,30-16,32)
Hessen	47	38 (1.94)	M 4,97 (1,71-12,53) F 5,14 (1,76-12,96)
Saarland	47	40 (1.70)	M 4,84 (1,66-12,21) F 5,07 (1,74-12,80)
Baden-Württemberg	46	34 (2.09)	M 4,79 (1,64-12,09) F 4,92 (1,68-12,46)
Nordrhein-Westfalen	42	35 (1.87)	M 4,31 (1,47-10,96) F 4,50 (1,54-11,48)
Niedersachsen	35	28 (1.90)	M 3,40 (1,15-8,80) F 3,52 (1,19-9,13)
Berlin	33	28 (1.90)	M 3,28 (1,11-8,50) F 3,38 (1,14-8,78)
Hamburg	32	27 (1.85)	M 3,02 (1,02-7,87) F 3,13 (1,06-8,16)
Bremen	26	21 (1.97)	M 2,27 (0,76-5,99) F 2,35 (0,79-6,23)
Deutschland gesamt	49	37 (2.02)	M 5,02 (1,72-12,61) F 5,21 (1,79-13,13) M+F 5,02 Absolut: 1896 (652-4759)*

* abgeschätzte mittlere Zahl der Lungenkrebstodesfälle in Deutschland durch Radon

** hierbei sind Konzentrationen unterhalb der geschätzten Außenluftkonzentration von 9 Bq/m³ nicht berücksichtigt worden.

Tabelle 2: In der Studie „Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen“ [Menzler et al. 2006] abgeschätzte jährliche Lungenkrebstodesfälle unter der Annahme, dass Radon-Konzentrationen oberhalb eines Eingreifrichtwertes auf die gleiche Verteilung wie die Radon-Konzentrationen unterhalb des Eingreifrichtwertes reduziert werden.

Eingreifrichtwert (Bq/m ³)	Vermeidbare jährliche Lungenkrebstodesfälle	Anteil vermeidbarer Fälle (%) ⁺
400	68	0,2
200	143	0,4
100	302	0,8

⁺ bezogen auf alle 37 700 Lungenkrebstodesfälle

3 Aktueller Kenntnisstand zum Lungenkrebsrisiko durch Radon in Wohnungen

Ergebnisse der europäischen Pooling-Studie

Die europäische Pooling-Studie zum Lungenkrebsrisiko durch Radon in Wohnungen [Darby et al. 2005, 2006] ist unter anderem zu den folgenden Ergebnissen gekommen:

- Das relative Risiko für Lungenkrebs wird für verschiedene Expositionskategorien der Radon-Konzentration angegeben. Als Referenz dient dabei die niedrigste Expositionskategorie von weniger als 25 Bq/m³. Das Lungenkrebsrisiko steigt deutlich mit steigender mittlerer Radon-Konzentration in den während der letzten 5 bis 34 Jahre bewohnten Wohnungen. So wird beispielsweise für die Personengruppe mit einer Radon-Konzentration von 100 bis 199 Bq/m³ ein statistisch signifikant um 20% erhöhtes Risiko im Vergleich zur Referenzkategorie beobachtet. Im Bereich 200 bis 399 Bq/m³ liegt die Erhöhung des Risikos ebenfalls bei ungefähr 20%. Dieses Ergebnis ist allerdings nicht signifikant. Für höhere Radon-Konzentrationen wird ein statistisch signifikant erhöhtes Risiko beobachtet, und zwar um ca. 40% im Bereich von 400 bis 799 Bq/m³ und ca. 100% oberhalb von 800 Bq/m³.
- In einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ist der Risikokoeffizient statistisch signifikant von Eins verschieden. Der Risikokoeffizient ist auch statistisch signifikant von Eins verschieden, wenn die Daten auf Expositionswerte kleiner 200 Bq/m³ eingeschränkt werden.
- Um zu prüfen, ob ein Schwellenwert existiert, unterhalb dessen keine Risikoerhöhung auftritt, wurden verschiedene andere Modelle eingesetzt. Keines dieser Modelle lieferte eine statistisch signifikant bessere Modellanpassung als ein lineares Modell ohne Schwellenwert. Für lineare Modelle mit Schwellenwert konnten Schwellenwerte oberhalb von 150 Bq/m³ ausgeschlossen werden.
- Ein wesentliches Ergebnis der europäischen Studie ist, dass das relative Lungenkrebsrisiko durch Radon für lebenslange Nichtraucher, Ex-Raucher und derzeitige Raucher vergleichbar hoch ist. Der Anstieg für lebenslange Nichtraucher ist mit 11% je 100 Bq/m³ (unkorrigiert) statistisch signifikant erhöht und höher als für Raucher mit 7% je 100 Bq/m³. Der Unterschied ist aber nicht signifikant. Für die lebenslangen Nichtraucher ist das Lungenkrebsrisiko nicht nur im Intervall 100 bis 199 Bq/m³, sondern

auch in allen Intervallen mit höheren Radon-Konzentrationen statistisch signifikant erhöht. Für aktive Raucher allein und Ex-Raucher allein ist die Risikoerhöhung mit Ausnahme einer Kategorie von Radon-Konzentrationen statistisch nicht signifikant. Die Erhöhung des Risikos ist allerdings mit der Erhöhung des Risikos für die Nichtraucher vergleichbar. Da Raucher ein wesentlich höheres Ausgangsrisiko für Lungenkrebs haben, führt ein vergleichbares relatives Risiko durch Radon zu einem deutlich höheren absoluten Risiko für Raucher als für Nichtraucher. Die Mehrzahl der mit der Radon-Exposition assoziierten Sterbefälle tritt deshalb bei Rauchern auf.

- Durch eine Korrektur für die Unsicherheiten der in der Analyse verwendeten Radon-Konzentrationen verdoppelt sich der Risikokoeffizient.
- In einer Zusatzanalyse ist das Lungenkrebsrisiko in den Bereichen ab 80-139 Bq/m³ relativ zu einer Radon-Konzentration von 0 Bq/m³ statistisch signifikant erhöht.

Relevanz für die Berechnung von attributiven Risiken

Insgesamt zeigt die europäische Pooling-Studie einen klaren Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radon-Konzentration in Wohnungen. Besonders wichtig ist, dass diese Erhöhung nicht nur in der Gruppe aller Studienteilnehmer nachgewiesen wurde, sondern auch für die Untergruppe der lebenslangen Nichtraucher.

Aufgrund der Anwendung dieser neuen Ergebnisse zum Radon-Risiko und aufgrund der erstellten detaillierten Datenbasis zur Radon-Exposition in deutschen Wohnungen sind die Ergebnisse der Studie *„Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen“* erheblich genauer als frühere Berechnungen. Die abgeschätzten Verringerungen der jährlichen Anzahl der Lungenkrebstoten in Deutschland durch eine Reduktion der Radon-Konzentration sind ein hilfreiches Ergebnis für eine Entscheidungsfindung über die mögliche Regelung von Radon-Konzentrationen in Wohnräumen.

In der Studie *„Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen“* wird ein multiplikatives Modell für die relativen Risiken durch das Rauchen und die Radon-Exposition verwendet. Dies bedeutet, dass der überwiegende Teil der mit der Radon-Konzentration assoziierten Fälle und damit auch des attributiven Risikos einer gemeinsamen Wirkung von Rauchen und Radon-Exposition zuzuschreiben ist. Ein wesentliches Ergebnis der europäischen Studie ist, dass sich die relativen Lungenkrebsrisiken durch Radon für lebenslange Nichtraucher, Ex-Raucher und derzeitige Raucher nicht signifikant unterscheiden. Daher werden die relativen Risiken durch Rauchen und Radon in dieser Studie als multiplikativ angenommen.

Das Verfahren, das in der europäischen Pooling-Studie angewendet wurde, um die Unsicherheiten der in der Analyse verwendeten Radon-Konzentrationen zu korrigieren, ist mit einer großen Unsicherheit behaftet [SSK 2005]. Das Ergebnis des Korrekturverfahrens wurde direkt in der deutschen Studie zur Abschätzung des attributiven Risikos übernommen.

4 Zusammenfassende Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

In der Studie *„Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen“* wurde zum ersten Mal eine flächendeckende Abschätzung der Radon-Konzentration in deutschen Wohnungen vorgenommen. Basierend auf dem Ergebnis der

europäischen Pooling-Studie zum Lungenkrebsrisiko durch Radon-Expositionen in Wohnräumen wurde eine Verringerung der Anzahl der jährlichen Lungenkrebstoten in Deutschland um ca. 300, 150 bzw. 70 Fälle durch eine Reduktion der Radon-Konzentration auf höchstens 100, 200 oder 400 Bq/m³ abgeschätzt. Die jährliche Anzahl von 37 700 Lungenkrebstodesfällen in Deutschland würde also um 0,8%, 0,4% bzw. 0,2% reduziert. Demgegenüber sind ca. 90% der Lungenkrebstodesfälle dem Rauchen zuzuschreiben. Die SSK hält das in der Studie gewählte Rechenverfahren unter Vorsorgegesichtspunkten für anwendbar. Diese Studie hat ihren Wert darin, eine Vorstellung von vermutlichen Auswirkungen einer Expositionsminderung zu geben. Dies ist hilfreich für die Entscheidungsfindung des Gesetzgebers, ob und in welchem Ausmaß Vorsorgemaßnahmen zu treffen sind.

Die SSK sieht ihre Aussage aus dem Jahr 2000 bestätigt, dass die Ergebnisse der epidemiologischen Studien einen klaren Zusammenhang zwischen der Radon-Exposition und dem Lungenkrebsrisiko zeigen [SSK 2000].

Die SSK weist darauf hin, dass

- die Abschätzungen zum attributiven Lungenkrebsrisiko durch Radon-Expositionen in Wohnungen auf der Annahme einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellenwert beruhen. Grundsätzlich hält es die SSK nicht für sinnvoll, unter Annahme einer Dosis-Wirkungsbeziehung isolierte Angaben zu Mortalitätsrisiken für Expositionen zu machen, die wesentlich unterhalb der Signifikanzgrenze von vorliegenden Studienergebnissen liegen. Die mittlere Radon-Konzentration liegt in Deutschland bei 50 Bq/m³. In der europäischen Pooling-Studie wurde für die Personengruppe mit einer Radon-Konzentration von 100 bis 199 Bq/m³ ein statistisch signifikant erhöhtes Risiko beobachtet. Im Bereich 200 bis 399 Bq/m³ war das Ergebnis der Studie allerdings nicht signifikant. Für höhere Radon-Konzentrationen wurde wieder ein statistisch signifikant erhöhtes Risiko beobachtet. Dies zeigt einerseits die erhebliche statistische Variabilität. Andererseits hält die SSK das gewählte Modell mit den vorgelegten Daten für kompatibel. Die Frage nach dem Verlauf der Dosis-Wirkungsbeziehung unterhalb von 100-199 Bq/m³ bleibt dabei naturgemäß offen.
- das Ergebnis der Studie auch unter Voraussetzung einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellenwert große Unsicherheiten hat. Die Größe dieser Unsicherheiten wird einerseits durch den statistischen Unsicherheitsbereich von 652 bis 4 759 Lungenkrebstodesfällen pro Jahr durch Radon in Wohnräumen angedeutet. Zusätzliche Unsicherheiten ergeben sich aus den Annahmen, die bei der Ableitung des korrigierten Risikofaktors in der europäischen Pooling-Studie gemacht wurden. Dennoch basiert die neue Studie auf wesentlich besseren Daten als frühere Studien.
- sie bereits 1986 festgestellt hat, dass bei Gültigkeit einer proportionalen Dosis-Risiko-Beziehung bei dem Mittelwert der Radon-Konzentration von 50 Bq/m³ etwa 4-12% der derzeitigen Lungenkrebshäufigkeit auf die Inhalation von Radon-Zerfallsprodukten in Häusern zurückgeführt werden könnten [SSK 1986, S. 6]. Die jetzige Abschätzung des attributiven Risikos von 5% liegt im unteren Bereich früherer Abschätzungen, die auf den Lungenkrebsdaten von Minenarbeitern beruhten [Jacobi 1984, 1993]. Eine Hauptursache für den Unterschied ist, dass die Beobachtungszeit in den Studien der Minenarbeiter geringer war als in den Studien zur Radon-Exposition in Wohnräumen. Die Abnahme des relativen Risikos mit der Zeit nach Exposition wirkte sich deshalb in den Minenarbeiterstudien weniger auf das Ergebnis für das relative Risiko aus.

- die Analysen der Studie sich auf eine chronische, mit vergleichsweise niedrigen Strahlendosen verbundene Exposition beziehen. Die Untersuchung der Wirkung einer kurzzeitigen, mit höheren Strahlendosen verbundenen Exposition war nicht Gegenstand der Studie.

Die SSK weist darauf hin, dass es kaum ein anderes umweltrelevantes Kanzerogen gibt, bei dem die epidemiologische Datenlage so umfassend und eindeutig ist wie beim Radon [SSK 2005], und die vorgelegten Berechnungen des attributiven Risikos erheblich genauer sind als frühere Abschätzungen. Dennoch enthalten die vorgelegten Abschätzungen die oben genannten Unsicherheiten. Insgesamt sollten alle Abschätzungen zum attributiven Risiko eher als Hinweis auf die Größenordnung der mit Radon in Wohnräumen assoziierten Sterbefälle denn als exakte numerische Quantifizierung dieses Zusammenhangs verstanden werden.

5 Literatur

- [BEIR VI 1999] Committee on Health Risks of Exposure to Radon, Board on Radiation Effects Research, Commission on Life Sciences, National Research Council: Health Effects of Exposure to Radon – BEIR VI. National Academy Press, 1999
- [Darby et al. 2005] Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Deo H, Falk R, Forastiere F, Hakama M, Heid I, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Mäkeläinen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruano-Ravina A, Ruosteenoja E, Schaffrath Rosario A, Tirmarche M, Tomášek L, Whitley E, Wichmann HE, Doll R: Radon in homes and risk of lung cancer: Collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 330: 223-227; 2005
- [Darby et al. 2006] Darby S, Hill D, Deo H, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Falk R, Farchi S, Figueiras A, Hakama M, Heid I, Hunter N, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Mäkeläinen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruosteenoja E, Schaffrath Rosario A, Tirmarche M, Tomášek L, Whitley E, Wichmann HE, Doll R: Residential radon and lung cancer: Detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 subjects with lung cancer and 14208 subjects without lung cancer from 13 epidemiological studies. *Europe. Scand. J. Work Env. Health* 32 Suppl.: 1-83; 2006
- [Jacobi 1984] Jacobi W: Expected lung cancer risk from radon daughter exposure in dwellings. *Proceeding of the international conference on indoor air quality*. Stockholm; 1984

- [Jacobi 1993] Jacobi W: Radon und Lungenkrebs – Historie und aktuelle Probleme. Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 7, S. 125-137. Verlag Dr. Friedrich Pfeil München; 1993
- [Menzler et al. 2006] Menzler S, Schaffrath-Rosario A, Wichmann HE, Kreienbrock L: Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen. Reihe „Fortschritte in der Umweltmedizin“, S. 1-101. Ecomed Verlag Landsberg; 2006 (ISBN 3-609-16196-5)
- [Schaffrath Rosario et al. 2006] Schaffrath Rosario A, Heid IM, Kreienbrock L, Heinrich J, Wellmann J, Gerken M, Kreuzer M, Steinwachs A, Langer B, Brüske-Hohlfeld I, Wichmann HE: Bewertung des Lungenkrebsrisikos durch Radon in Wohnungen in Deutschland mit Hilfe statistisch-epidemiologischer Modelle. Reihe „Fortschritte in der Umweltmedizin“. Ecomed Verlag Landsberg; 2006
- [SSK 1986] Strahlenschutzkommission: Strahlenexposition und mögliches Lungenkrebsrisiko durch Inhalation von Radon-Zerfallsprodukten in Häusern. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 62. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 6./8. November 1985. Bundesanzeiger Nr. 4 vom 8. Januar 1986
- [SSK 2000] Strahlenschutzkommission: Epidemiologische Untersuchungen zum Lungenkrebsrisiko nach Exposition gegenüber Radon. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 169. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 31. Oktober 2000. Bundesanzeiger Nr. 35 vom 20. Februar 2001
- [SSK 2005] Strahlenschutzkommission: Lungenkrebs durch Radonexpositionen in Wohnungen. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 199. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21./22. April 2005. Bundesanzeiger Nr. 118 vom 28. Juni 2005
- [Wichmann et al. 2005] Wichmann HE, Rosario AS, Heid IM, Kreuzer M, Heinrich J, Kreienbrock L: Increased lung cancer risk due to residential radon in a pooled and extended analysis of studies in Germany. Health Phys. 88: 71-79; 2005