
Radon

Toetsing rapport 'BEIR VI'

Aan de Minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport

Onderwerp : Aanbieding advies over blootstelling aan radon
Uw kenmerk : -
Ons kenmerk : U-212/JT/RA/657-C
Bijlagen : 1
Datum : 9 februari 2000

Mevrouw de minister,

Op mijn verzoek heeft een werkgroep van de Beraadsgroep Stralingshygiëne van de Gezondheidsraad nagegaan of bijstelling van het advies Radon: toetsing van een basisdocument uit 1993 bijstelling behoeft. Rede was het verschijnen van een nieuw rapport van de academie van Wetenschappen in de VS over de risico's verbonden aan de blootstelling aan het van nature voorkomende, radioactieve edelgas radon.

Hierbij bied ik u - gehoord de Beraadsgroep Stralingshygiëne - de bevindingen van de werkgroep aan.

Ik onderschrijf de conclusies van de werkgroep en adviseer u die te betrekken in uw beleid. In gelijke zin heb ik mij vandaag schriftelijk gericht tot uw ambtsgeenoot van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Hoogachtend,

prof. dr JJ Sixma

Radon

Toetsing rapport 'BEIR VI'

aan:

de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

de Minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport

Nr 2000/05, 8 februari 2000

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:

Gezondheidsraad: Radon: toetsing rapport 'BEIR VI'. Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; publicatie nr 2000/05.

Preferred citation:

Health Council of the Netherlands: Radon: Evaluation 'BEIR VI'. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2000; publication no. 2000/05.

auteursrecht voorbehouden

all rights reserved

ISBN: 90-5549-306-6

Inhoud

Samenvatting 9

Executive summary 11

1 Inleiding 13

2 Risicogetal en oversterfte volgens BEIR IV 15

3 Van BEIR IV naar BEIR VI 17

4 Berekening van het aan radon toe te schrijven longkankerrisico 21

5 Conclusie 25

Literatuur 27

Bijlagen 29

A De werkgroep 31

B Grootheden en eenheden 33

Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Radon is een natuurlijk voorkomend, radioactief edelgas. Het element komt vrij bij het radioactief verval van radium, dat in sporen in de bodem en steenachtige bouwmaterialen aanwezig is. In woningen en andere verblijfs- en werkruimten kan radon zich in de lucht ophopen, waardoor de concentratie er hoger is dan buiten. Naar veronderstelling draagt het inademen van de eveneens radioactieve vervalproducten van radon bij aan het optreden van longkanker.

In 1993 besprak de Gezondheidsraad in een advies over het Basisdocument Radon de risico's verbonden aan radonblootstelling. Dat advies berustte in belangrijke mate op een rapport van een commissie van de Academie van Wetenschappen in de VS, het zogeheten BEIR-IV-rapport (BEIR: *Biological Effects of Ionizing Radiation*). Onlangs heeft de Amerikaanse Academie opnieuw over radon gepubliceerd: het BEIR-VI-rapport. Op verzoek van de Voorzitter van de Gezondheidsraad heeft een werkgroep van de Raad het nieuwe rapport bestudeerd en nagegaan of een bijstelling van het eerdere advies van de Gezondheidsraad op zijn plaats zou zijn.

In het BEIR-VI-rapport worden het risico verbonden aan radonblootstelling, net als eerder, afgeleid uit resultaten van epidemiologisch onderzoek onder mijnwerkers. De conclusie — die door de werkgroep wordt onderschreven — is dat de centrale schatting van het risico iets is toegenomen, namelijk van 4 tot 5 per 10 000 per WLM (WLM is een maat voor de blootstelling aan radon). Gezien de onzekerheidsmarges is dit geen wezenlijke verandering. Voor Nederland leiden de nieuwe inzichten, rekening houdend met de meest recente gegevens over de blootstelling, tot de schatting dat 100 tot 1200 gevallen van longkanker per jaar aan radonblootstelling zijn toe te schrijven.

De centrale schatting bedraagt 800. Vooral rokers lopen een risico omdat roken en blootstelling aan radon elkaar lijken te versterken bij het teweegbrengen van longkanker.

De analyses in het Amerikaanse rapport en die van de werkgroep zijn gebaseerd op een lineair verband tussen blootstelling aan de straling van ingeademde radonvervalproducten en de kans op longkanker. Daarbij wordt een drempel van de blootstelling waaronder geen gevolgen optreden afwezig geacht. De werkgroep meent dat deze veronderstelling het meest plausibel is en het hanteren ervan de minste kans op een onderschatting van het risico geeft.

Executive summary

Health Council of the Netherlands: Radon: Evaluation 'BEIR VI'. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2000; publication no. 2000/05.

Radon is a naturally occurring, radioactive noble gas. The element is released in the course of the radioactive decay of radium, traces of which are present in the soil and in stony building materials. In dwellings and other living and work spaces, radon can accumulate in the air, resulting in a higher concentration than outdoors. Inhalation of the likewise radioactive decay products of radon is believed to play a role in the incidence of lung cancer.

In 1993 the Health Council of the Netherlands discussed the risks associated with radon exposure in an advisory report about the Basisdocument Radon (Integrated Criteria Document on Radon). The Council's report drew extensively on a publication by a committee of the US National Academy of Sciences, the so-called BEIR-IV report (BEIR: *Biological Effects of Ionizing Radiation*). The US Academy recently produced another report on radon: BEIR-VI. At the request of the President of the Health Council, a working group of the Council studied the new report, looking into whether the Health Council's earlier advisory report would need to be adjusted.

In the BEIR-VI report (as in the past) the risk associated with radon exposure is derived from epidemiological research among mine workers. The conclusion, which is endorsed by the working group, is that the central risk estimate has increased somewhat — namely from 4 to 5 per 10,000 per WLM (the 'working level month' is a measure of exposure to radon). In view of the margins of uncertainty, this does not constitute a significant change. Based on the latest exposure data, the new findings suggest that for the Netherlands, between 100 and 1,200 cases of lung cancer per annum might be attributable to radon exposure. The central estimate is 800. In absolute

terms, it is principally smokers who are at risk. This is because there appears to be a mutually exacerbating effect between smoking and exposure to radon as far as the causation of lung cancer is concerned.

The analyses in the US report and those of the working group are based on a linear relationship between exposure to radiation from inhaled radon decay products and the risk of lung cancer, where a threshold of exposure below which no damage occurs is considered to be absent. The working group not only believes that this approach is the most plausible, but also that it minimises the chance of the risk being underestimated.

Inleiding

In 1988 publiceerde de Amerikaanse Academie van Wetenschappen (NAS) het vierde rapport in een serie getiteld 'Biological Effects of Ionizing Radiation' (verder aan te duiden als 'BEIR IV'). In dat rapport zijn de risico's verbonden met blootstelling aan radon en andere alfa-emitters beoordeeld (BEIR88). Enige jaren later ging de 'BEIR VI- phase I Committee' van de NAS op verzoek van de 'Environmental Protection Agency' (EPA) na of een vervolgstudie gerechtvaardigd zou zijn. In haar rapport *The Health Effects of Exposure to Radon: Time for Reassessment?* uit 1994 concludeerde deze commissie dat voor zo'n vervolgstudie voldoende nieuwe gegevens beschikbaar waren gekomen sinds het verschijnen van BEIR IV. Het resultaat van het werk van de daarop ingestelde BEIR VI-commissie is in 1998 gepubliceerd onder de titel *Health Effects of Exposure to Radon* (BEIR98) en wordt hier verder aangeduid als 'BEIR VI'.

Parallel aan de ontwikkelingen in de VS is indertijd in Nederland onder auspiciën van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne het *Basisdocument Radon* opgesteld (RIVM91). In dat document zijn de risicoschattingen van BEIR IV voor extra longkankergevallen veroorzaakt door radon gebruikt. De Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer verzocht in 1991 de Gezondheidsraad het basisdocument te beoordelen. De Raad heeft toen het advies *Radon, toetsing van een basisdocument* uitgebracht (GR93). Volgens dat advies waren er geen aanwijzingen om te veronderstellen dat de orde van grootte van het gehanteerde risicogetal — de kans op longkanker per eenheid van blootstelling — onjuist was. Ook betwijfelde de Raad of de onzekerheid in het getal binnen enige jaren

met behulp van epidemiologisch onderzoek zou kunnen worden gereduceerd. Bestudering van BEIR VI kan licht werpen op de juistheid van deze veronderstelling.

De Voorzitter van de Gezondheidsraad besloot daarom, op aanraden van de Beraadsgroep Stralingshygiëne van de Gezondheidsraad, een werkgroep in te stellen en die te belasten met de beantwoording van deze vraag. De in het voorliggende rapport beschreven bevindingen van de werkgroep berusten op een vergelijking van de uitgangspunten en risico-evaluatie van BEIR IV met die van BEIR VI. De samenstelling van de werkgroep is vermeld in bijlage A.

Risicogetal en oversterfte volgens BEIR IV

In BEIR IV (1988) wordt uitgegaan van:

- een lineair verband tussen blootstelling aan radon in de lucht en het optreden van longkanker, zonder drempelwaarde van de blootstelling waaronder een effect afwezig zou zijn
- gelijkheid van het relatieve risico bij aan radon blootgestelde mijnwerkers en dat bij mensen in de woonomgeving
- eenzelfde relatief risico voor mannen en voor vrouwen
- een multiplicatieve wisselwerking tussen blootstelling aan radon en roken.

De opstellers van BEIR IV bepaalden het risico van oversterfte aan longkanker uit de waargenomen oversterfte onder vier groepen mijnwerkers. Voor de bevolking van de VS leverde dit voor een blootstellingsniveau van 0,1 WLM* per jaar gedurende het hele leven en zonder differentiatie naar rookgedrag een extra kans op om aan longkanker te overlijden van 0,0035 (35 op de 10 000) voor mannen en van 0,0014 (14 op de 10 000) voor vrouwen. De gemiddelde levenslange blootstelling is het product van de gemiddelde levensverwachting en de jaarlijkse blootstelling. Blijkens het advies van de Gezondheidsraad uit 1993 is de gemiddelde levenslange blootstelling aan radon (in de VS) 6,97 WLM voor mannen en 7,64 WLM voor vrouwen. De extra kans per eenheid van blootstelling (WLM) om op enig moment aan longkanker te overlijden wordt dan, afgerond, 0,0005 (5 op de 10 000) per WLM voor mannen en 0,0002 (2 op

* Grootheden en eenheden die gebruikelijk zijn bij het in kaart brengen van de blootstelling aan radon, worden in bijlage B nader toegelicht.

de 10 000) per WLM voor vrouwen.* Voor een bevolking met evenveel mannen als vrouwen levert dit een risico op van, afgerond, 0,0004 (4 op de 10 000) per WLM.

Toepassing van deze risicogetallen op de Nederlandse bevolking resulteerde bij een gemiddelde jaarlijkse blootstelling van 0,13 WLM voor alle 15 miljoen inwoners in ongeveer 700 extra gevallen van longkanker per jaar. De opstellers van het Basisdocument Radon hebben de onzekerheid in deze risicoschatting voor oversterfte geschat op een factor 2. Volgens de Gezondheidsraad zou deze onzekerheid aanzienlijk hoger zijn; in het advies van de Raad wordt vermeldt dat ook BEIR IV een onzekerheid van een factor 4 bij een betrouwbaarheidsniveau van 95 procent mogelijk achtte. De conclusie luidde overigens dat er geen aanwijzingen waren om te veronderstellen dat de orde van grootte van het risicogetal van, afgerond, 0,0004 per WLM onjuist zou zijn.**

* Respectievelijk $0,0035/6,97=0,00051$ en $0,0014/7,64=0,00019$

** Het advies geeft het risicogetal als $3,5 \times 10^{-4}$

Van BEIR IV naar BEIR VI

BEIR IV leidde uit een statistische analyse van gegevens uit vier epidemiologische onderzoeken naar het longkankerrisico van ondergrondse mijnwerkers een relatie af tussen de blootstelling aan radon (uitgedrukt in WLM) en de kans op longkanker als een functie van de leeftijd en de tijd die verstreken is sinds de aanvang van de blootstelling. Een belangrijk gegeven om van de resultaten voor mijnwerkers te komen tot een risicoschatting voor blootstelling in woningen is de verhouding van de dosis per WLM bij mensen in woningen en die van mijnwerkers in mijnen (de zogeheten K-factor). Hoewel deze verhouding van een groot aantal factoren afhankelijk is, onder meer van ademhalingskarakteristieken, kwam BEIR IV tot de conclusie dat deze verhouding redelijk dicht bij 1 ligt. Men achtte dan ook de risicoschattingen voor mijnwerkers direct bruikbaar voor het beoordelen van de gevolgen van blootstelling van de bevolking aan radon.

In 1991 heeft een andere commissie van de NAS een reductie van deze K-factor tot 0,7 voorgesteld (NRC91); deze waarde is vervolgens toegepast door onder andere de US Environmental Protection Agency (EPA). BEIR VI komt, na onder meer een herziene schatting van de ademsnelheid van mijnwerkers, toch weer tot de conclusie dat 1 het best de verhouding weergeeft.

Na 1988 kwam een aanzienlijke hoeveelheid nieuw epidemiologisch materiaal beschikbaar. BEIR VI kon de analyse baseren op de uitkomsten van 11 onderzoeken onder in totaal 68 000 mijnwerkers, bij wie 2700 sterfgevallen ten gevolge van longkanker werden geconstateerd. BEIR VI bekeek ook de resultaten van acht patiënt-controle-onderzoeken naar het risico van blootstelling aan radon in woningen,

maar concludeerde dat de risicoschatting op basis van die onderzoeken zeer onnauwkeurig is. Vooral het relatief geringe aantal gevallen van longkanker onder de blootgestelde bevolking dat met radon zou kunnen samenhangen, en de mogelijke fouten in het bepalen van belangrijke factoren, zoals rookgewoonten en radonblootstelling, zijn daar debet aan. Wel ligt het uit dit type onderzoek afgeleide *excess risk* dicht bij dat wat te verwachten is op grond van mijnwerkersgegevens.

BEIR VI verwerpt Cohen's resultaten van de bestudering van geografische variaties in de gemiddelde radonblootstelling in samenhang met het voorkomen van longkanker, op grond van de inherente beperkingen van de gebruikte methode (Coh95). Cohen leidde een negatieve correlatie af tussen de gemiddelde radonconcentratie en het voor roken en leeftijd gecorrigeerde regionaal voorkomen van longkanker. Het standpunt van BEIR VI wordt ondersteund door een recent gepubliceerd Zweeds onderzoek, uitgevoerd door Lagarde en Pershagen (Lag99). Deze onderzoekers lieten aan de hand van resultaten van een epidemiologisch onderzoek in Zweden zien dat een positief lineair verband tussen blootstelling aan radon en de kans op longkanker, zoals gevonden in 'case control'-onderzoek, kan overgaan in een negatief verband indien met behulp van dezelfde gegevens een relatie wordt gelegd tussen gemiddelde radonconcentratie in een regio en het voorkomen van longkanker.

Risicomodellen van BEIR VI

De gemiddelde blootstelling van de mijnwerkers in de door BEIR VI beschouwde epidemiologische onderzoeken is een orde van grootte hoger dan de gemiddelde radonblootstelling in woningen. De laagste blootstellingswaarden van mijnwerkers komen overigens overeen met de hoogste blootstellingscondities in woningen in de VS. Teneinde de resultaten van het mijnwerkersonderzoek te kunnen extrapoleren naar lagere blootstellingswaarden nam, zoals in het vorige hoofdstuk aangegeven, BEIR IV een lineair verband zonder drempel aan tussen blootstelling aan radon en de kans op longkanker (het zogenoemde *Linear Non Threshold-model*; LNT). In BEIR VI is dit ook gedaan, met de kanttekening dat het bestaan van een drempel (een niveau van blootstelling waaronder er geen extra risico op longkanker is) niet uit te sluiten is, maar dat de grootte ervan niet valt af te leiden uit het beschikbare epidemiologische materiaal.

Waar BEIR IV zich baseerde op één risicomodel, ging BEIR VI uit van twee benaderingen met een meer gedetailleerde beschrijving van het risico voor personen ouder dan 65 jaar en van blootstelling langer dan 15 jaar geleden. In tegenstelling tot BEIR IV kon BEIR VI aantonen dat het extra relatieve risico (*excess relative risk*, ERR) per WLM toeneemt bij dalend tempo van blootstelling en bij toenemende blootstellingsduur (bij constante cumulatieve blootstelling). Om deze bevindingen in

rekening te brengen introduceerden de opstellers van BEIR VI een parameter die afhankelijk is van het blootstellingstempo (in WL) dan wel van de duur van blootstelling. Dit leidde tot twee modellen: het 'concentratie'- en het 'blootstellingsduur'-model.

BEIR VI presenteert risicoschattingen gebaseerd op beide modellen. Volgens de EPA (EPA99) zou het concentratiemodel het beste zijn wegens grotere biologische geloofwaardigheid en eenvoud. Het 'Office of Radiation and Indoor Air' van EPA heeft deze keuze voorgelegd aan de 'Radiation Advisory Committee' (RAC) van de Science Advisory Board (SAB) van de EPA. Die adviescommissie concludeerde dat de verschillen tussen de BEIR VI-modellen verdwijnen indien een continue voorstelling van blootstellingstempo en blootstellingsduur wordt gebruikt, in plaats van de stapsgewijze benadering van BEIR VI (SAB99). Daarom stelde de RAC-SAB voor om risicoschattingen te baseren op getallen die tussen die van het concentratie- en het blootstellingsduur-model in liggen, zonder echter aan te geven hoe deze getallen dienden te worden bepaald. De keuze van de EPA voor het concentratiemodel lijkt de meest conservatieve en daardoor hoogste risicoschattingen op te leveren. Dit model zal ook in het voorliggende rapport worden gebruikt, hoewel het vrijwel zeker resulteert in een overschatting van het risico.

Ten slotte hanteert BEIR VI nog een zogenoemd *constant relative risk model* (CRR) voor de analyse van de gegevens over mijnwerkers met een blootstelling van minder dan 50 WLM. Hoewel in BEIR VI wordt erkend dat dit model minder betrouwbaar is voor een centrale risicoschatting dan de twee eerder genoemde, acht men in dat rapport het CRR wel geschikt voor een schatting van de onzekerheid in het longkankerrisico in geval van blootstelling in woningen omdat de in het CRR gebruikte blootstellingswaarden representatief worden geacht te zijn voor de blootstellingscondities in woningen.

Roken

In BEIR VI zijn de volgende definities van rokers en niet-rokers gebruikt:

Niet-rokers (NR) zijn mensen die nooit hebben gerookt, terwijl rokers ('ooit-rokers', OR) mensen zijn die gedurende een bepaalde periode in hun leven gerookt hebben ongeacht of ze daarmee later gestopt zijn.

De BEIR VI-commissie beschikte over informatie over rookgewoonten voor 6 van de 11 mijnwerkersonderzoeken. Uit die gegevens leidde zij af dat de wisselwerking tussen radonblootstelling en roken bij het veroorzaken van longkanker een submultiplicatief karakter heeft. Dit houdt in dat het ERR per WLM hoger is voor niet-rokers (NR) dan voor rokers (OR); overigens is het absolute risico per WLM veel hoger voor de laatste

categorie. Het risico in de NR-groep is slechts met een grote onzekerheid bekend. In BEIR VI is het aan radon toe te schrijven longkankerrisico voor NR een factor 2,2 hoger geschat dan voor OR.

Berekening van het aan radon toe te schrijven longkankerrisico

Met behulp van de twee genoemde modellen berekende de BEIR VI-commissie voor de bevolking van de VS de aan radon toe te schrijven kans om aan longkanker te sterven. Zij ging daarbij uit van een lognormale verdeling van de radonconcentratie in woningen met een mediaan van 24,3 Bq/m³ en een gemiddelde van 46,3 Bq/m³. De aan radon toe te schrijven kans op longkanker (attributief risico, AR) als fractie van de totale kans op longkanker werd met het submultiplicatieve model berekend voor rokers en niet-rokers, rekening houdend met verschillen in risico tussen mannen en vrouwen. De resultaten zijn weergegeven in tabel 1.

De voor de gehele bevolking berekende AR-waarden variëren, afhankelijk van het gebruikte model, van 0,10 tot 0,14 (10 tot 14 procent). Deze waarden zijn hoger dan die in BEIR IV. Het gebruik van het submultiplicatieve model leidt er toe dat het attributieve risico voor rokers kleiner is dan voor niet-rokers. Wel is het aantal gevallen van longkanker onder de rokers uiteraard vele malen hoger dan onder niet-rokers.

Uit de tabel blijkt dat de schatting van het risico van blootstelling aan radon in BEIR VI hoger uitkomt dan die in BEIR IV. Afhankelijk van het gebruikte model is er sprake van een verhoging van ongeveer 20 tot 75 procent. De grootste toename levert het concentratiemodel waaraan de EPA de voorkeur gaf.

Volgens BEIR VI heeft op grond van de verdeling van de radonconcentratie in woningen ongeveer 30 procent van alle aan radon toe te schrijven gevallen van longkanker betrekking op blootstelling in woningen met een concentratie van meer dan 150 Bq/m³. In de VS behoort ongeveer 6 procent van de woningen tot deze categorie.

Tabel 1 Het aan radon toe te schrijven overlijdensrisico ten gevolge van longkanker (attributief risico, AR*), op basis van Amerikaanse sterftcijfers over de periode 1985-1989 berekend met diverse risicomodellen.

model	bevolking	rokers (OR)	niet-rokers (NR)
<i>mannen</i>			
BEIR VI-modellen:			
concentratie-model	0,14	0,13	0,26
blootstellingsduur-model	0,10	0,09	0,19
andere modellen			
CRR (<50 WLM)**	0,11	0,10	0,21
BEIR IV	0,08	0,07	0,16
<i>vrouwen</i>			
BEIR VI-modellen:			
concentratie-model	0,15	0,14	0,27
blootstellingsduur-model	0,11	0,10	0,20
andere modellen			
CRR (<50 WLM)	0,11	0,10	0,21
BEIR IV	0,09	0,08	0,16

* AR - de kans het risico op longkankersterfte ten gevolge van radonblootstelling gedeeld door de totale kans op sterfte ten gevolge van longkanker in een bevolkingsgroep

** CRR -constant-relatief-risicomodel

Nederland telt nauwelijks woningen met een concentratie groter dan 150 Bq/m³ (RIVM98). Ook de gemiddelde radonconcentratie in Nederlandse woningen (23 Bq/m³) is aanmerkelijk lager dan die in de VS.

Risico per WLM

Teneinde een directe vergelijking te kunnen maken met de risicogetallen uit het Gezondheidsraadadvies van 1993 — die uitgedrukt zijn per WLM — volgt hier een overzicht van de nieuwe risicogetallen, zoals die zijn geschat door de EPA met behulp van het nieuwe BEIR-rapport (EPA99). De EPA ging net als BEIR VI uit van een

constant blootstellingstempo gedurende het leven van ieder individu, waarbij de schattingen voor niet-rokers en rokers samengevoegd zijn onder de aanname dat van de mannen 53% en van de vrouwen 41% tot de categorie rokers behoort. Voor de schattingen gebruikte de EPA de resultaten verkregen met het concentratiemodel.

De extra kans per eenheid van blootstelling (WLM) om, op enig moment in het leven, aan longkanker te overlijden becijfert de EPA voor mannen op 0,0006 (6 op de 10 000) en voor vrouwen op 0,0004 (4 op de 10 000). De overeenkomstige waarden vermeld in het eerdere Gezondheidsraadadvies zijn 5 op 10 000 en 2 op de 10 000. Voor een bevolking met evenveel mannen als vrouwen volgt uit de EPA-cijfers een extra kans van 0,0005 (5 op de 10 000) per WLM (was 4 op de 10 000).

Voor de eerder genoemde schatting van 700 aan radon toe te schrijven gevallen van longkanker in de Nederlandse bevolking heeft het voorgaande weinig consequenties, aangezien de eerder gemeten waarden van de blootstelling aan radon incorrect bleken te zijn en naar beneden zijn bijgesteld (RIVM98). Deze blootstelling bedraagt 0,10 WLM per jaar (was 0,13). Voor de huidige Nederlandse bevolking van 15,9 miljoen mensen betekent dit naar schatting ongeveer 800 gevallen van longkanker per jaar.

Onzekerheidsanalyse

BEIR VI bevat een tabel met een groot aantal bronnen van onzekerheid in de bepaling van het longkankerrisico. De risicomodellen zijn, zoals reeds vermeld, gebaseerd op uitkomsten van epidemiologisch onderzoek onder mijnwerkers. De opstellers van BEIR VI erkennen dat de schatting van de blootstelling is behept met fouten en dat de informatie over andere factoren, zoals roken en blootstelling aan arsenicum, beperkt is. Hoewel in 6 van de 11 onderzoeken enige informatie over rookgewoontes voorhanden was, bleek dit toch niet voldoende voor een nauwkeurige analyse van de gecombineerde effecten van roken en radonblootstelling en sloot dit een nauwkeurige schatting van het radonrisico voor niet-rokers uit. De modellen van BEIR VI zijn gebaseerd op een lineair-multiplicatief verband 'zonder drempel' tussen radonblootstelling en longkankerrisico. Dit lineaire verband lijkt correct voor het traject van blootstellingsniveaus in mijnen, maar het bestaan van een drempeldosis bij zeer lage doses kan niet worden uitgesloten.

BEIR VI geeft een kwantitatieve afleiding van de 95%-betrouwbaarheidsgrenzen voor het attributieve risico (AR). Volgens het concentratiemodel loopt het betrouwbaarheidsinterval rond de centrale schatting (14%) van 10 tot 26%. Volgens het blootstellingsduurmodel is het interval 8 tot 19% met een centrale waarde van 10%. Via het eenvoudige CRR-model, gebruikt voor mijnwerkers blootgesteld aan minder dan 50 WLM, komt BEIR VI op een onzekerheidsinterval van 2 tot 21% rond

een centrale waarde van 12%. Deze laatste analyse heeft als voordeel dat de extrapolatie naar blootstellingsniveaus in woningen beperkt blijft. De BEIR VI-commissie meende dat de centrale risicoschattingen die gebaseerd zijn op de concentratie- en blootstellingsduurmodellen geloofwaardiger zijn dan die verkregen met het CRR-model. Anderzijds gaf zij de voorkeur aan de onzekerheidsschatting verkregen met het CRR-model aangezien die berekening uitgaat van blootstellingsniveaus die beter overeenkomen met die in woningen. Een ander voordeel van de CRR-modelschatting is dat de betrokken mijnwerkers recenter met werk in de mijnen waren begonnen en dat voor hen de schatting van de blootstelling nauwkeuriger is.

Deze onzekerheden kunnen worden vertaald in termen van een betrouwbaarheidsinterval voor de kans per WLM, met de veronderstelling dat het door EPA voorgestelde cijfer van 0,0005 (5 op de 10 000) per WLM afgeleid is van een AR van 14% op basis van het concentratiemodel. Het resultaat is een interval van 0,0001 tot 0,0008*. Dit interval zou voor Nederland inhouden dat jaarlijks ongeveer tussen 100 en 1200 personen aan de gevolgen van de blootstelling aan radon komen te overlijden. Dit traject is nog steeds groter dan dat vermeld in het Basisdocument Radon (RIVM91) maar geringer dan dat in het Gezondheidsraadadvies van 1993 (GR93).

Effecten van radonblootstelling anders dan longkanker.

De BEIR VI-commissie vond in haar analyse van de uitkomsten van de 11 mijnwerkersonderzoeken geen aanwijzing voor een extra risico op andere vormen van kanker dan longkanker. Ook beoordeelde zij nieuw onderzoek op niet-kwaadaardige ademhalingsaandoeningen bij uraniummijnwerkers. Voor één aandoening, pulmonaire fibrose, werd een aanwijzing gevonden voor een verband met blootstelling aan vervalproducten van radon, maar de gegevens zijn statistisch niet significant.

* niet afgerond: $7,2 \times 10^{-5}$ tot $7,6 \times 10^{-4}$

Conclusie

De werkgroep deelt de conclusie van het BEIR VI-rapport dat een positief lineair verband tussen de blootstelling aan radon en de kans op longkanker aangenomen moet worden bij het beoordelen van de risico's van radonblootstelling. Zo'n relatie is ook bruikbaar voor een beoordeling van de risico's van blootstelling aan radon binnenshuis. De werkgroep concludeert dat het risicogetal voor oversterfte aan longkanker ten gevolge van blootstelling aan radon en zijn vervalproducten nu binnen een marge van een orde van grootte (factor 10) is geschat. Deze onzekerheid is iets geringer dan die in het voorgaande BEIR IV-rapport dankzij de nieuwe epidemiologische gegevens die sinds het verschijnen van dat rapport ter beschikking zijn gekomen. De nu becijferde kans van 0,0005 (5 op de 10 000) is hoger dan de indertijd verkregen schatting van 0,0004 (4 op de 10 000) per WLM.

Naar het inzicht van de werkgroep heeft deze bevinding geen wezenlijke consequenties voor een oordeel over de situatie in Nederland. Zij heeft het nieuwe getal betrokken op de jongste gegevens over radonconcentraties in Nederland en komt tot de conclusie dat naar schatting tussen 100 en 1200 (met een gemiddeld aantal van ongeveer 800) sterfgevallen van longkanker per jaar aan radon toe te schrijven kunnen zijn. Het genoemde gemiddelde verschilt slechts weinig van de gemiddeld 700 gevallen uit een eerder advies van de Gezondheidsraad (GR93) en valt ruimschoots binnen de door de Gezondheidsraad in 1993 aangegeven marges, waarop het vigerende Nederlandse beleid ter zake mede is gebaseerd. Hierbij dient te worden aangetekend, dat de centrale schatting (800 gevallen) gebaseerd is op het meest conservatieve BEIR VI-model.

Tevens meent de werkgroep dat de resultaten van epidemiologisch onderzoek naar blootstelling in woningen in BEIR VI onderbelicht zijn gebleven, gezien het feit dat ook de nieuwe risicogetallen geheel gebaseerd zijn op uitkomsten van epidemiologisch onderzoek onder mijnwerkers. Ook zijn de effecten van blootstelling op jeugdige leeftijd onvoldoende bekend. Anderzijds kan de werkgroep instemmen met de gekozen modellen en — zoals gezegd — de veronderstelling van een lineair verband tussen blootstelling en risico. De veronderstelling van een drempel waaronder geen risico zou bestaan is weinig zinvol gegeven het ontbreken van informatie over de hoogte ervan. Wel wijst de werkgroep er op dat er behalve de onzekerheden in de risicoschatting, zoals aangegeven in BEIR VI, ook onzekerheden toegevoegd worden door de extrapolatie van de gegevens die betrekking hebben op de Amerikaanse bevolking naar de situatie in Nederland. De werkgroep is tenslotte van oordeel dat in BEIR VI de stand van de wetenschap ten aanzien van het risico van blootstelling aan radon goed is samengevat.

Literatuur

-
- BEIR88 National Research Council: Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations. Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters. BEIR IV. Washington, DC: National Academy Press, 1988.
- BEIR98 National Research Council: Committee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR VI). Health Effects of Exposure to Radon. Washington, DC: National Academy Press, 1998.
- Coh95 Cohen BL. Test of the linear-no threshold theory of radiation carcinogenesis for inhaled radon decay products. *Health Physics* 1995; 68:157-74.
- EPA99 US Environmental Protection Agency, Office of Radiation and Indoor Air. Proposed EPA Methodology for Assessing Risks from Indoor Radon Based on BEIR VI. Washington, DC: EPA, 1999.
- GR93 Gezondheidsraad. Radon, Toetsing van een basisdocument. Den Haag: Gezondheidsraad, 1993; rapport 1993/3.
- Lag99 Lagarde F, Pershagen G. Parallel analyses of individual and ecologic data on residential radon, cofactors, and lung cancer in Sweden. *Am J Epidemiol* 1999; 149(3): 268-274.
- NRC91 National Research Council: Panel on Dosimetric Assumptions Affecting the Application of Radon Risk Estimates. Comparative dosimetry of radon in mines and homes. Washington, DC: National Academy Press, 1991.
- RIVM91 Vaas LH, Kal HB, Jong P de, Slooff W, red. Basisdocument Radon. Bilthoven: RIVM, 1991; rapport nr 710401014.
- RIVM98 Stoop P, Glastra P, Hiemstra Y, Vries L de, Lembrechts J. Results of the second Dutch national survey on radon in dwellings. Bilthoven: RIVM, 1998; rapport nr 610058006.
-

SAB99 Science Advisory Board EPA: Radiation Advisory Committee. Advisory on Proposed EPA Methodology for Assessing Risks from Indoor Radon Based on BEIR VI: White paper. Washington, DC: US EPA Science Advisory Board, 1999; EPA-SAB-RAC-ADV-99-010.

-
- A De werkgroep
-
- B Grootheden en eenheden

Bijlagen

De werkgroep

-
- dr ir HB Kal
radiobioloog, Universitair Medisch Centrum, Utrecht
 - dr HP Leenhouts
radiobioloog, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
 - dr H Vanmarcke
stralingsfysicus, Studiecentrum voor Kernenergie SCK. CEN , Mol (België)
 - ir JWN Tuyn, *secretaris*
stralingsfysicus, Zwinderen
-

Grootheden en eenheden

Becquerel (Bq).

SI-eenheid van activiteit. 1 Bq is 1 desintegratie per seconde.

WL.

Afkorting van 'working level'. Een willekeurige combinatie van kortlevende radon vervalproducten in 1 liter lucht welke resulteert in de emissie van alfadeeltjes met een gezamenlijke energie van $1,3 \times 10^{-5}$ MeV. Dit komt bij benadering overeen met de totale hoeveelheid energie die over een lang tijdsinterval vrijkomt door het verval van kortlevende dochterproducten van radon in evenwicht met 100 pCi (3,7 Bq) radon. 1 WL = $2,08 \times 10^{-5}$ J/m³.

WLM

Afkorting van 'working level month'. Een maat voor de over de tijd gesommeerde concentratie van kortlevende vervalproducten van radon gedurende een werkmaand (170 uur). 1 WLM = $2,08 \times 10^{-5}$ J/m³ x 170 h = $3,5 \times 10^{-3}$ Jh/m³
