

RIVM briefrapport 610790004/2008

Stralingsbelasting in nieuwbouwwoningen - voorlopige resultaten

VERA-survey 2006

RO Blaauboer
SAJ Dekkers
H Slaper
S Bader

Contact:
RO Blaauboer
RIVM/LSO/RMO
roelf.blaauboer@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de afdeling Straling, Nucleaire en Bioveiligheid van de DGM-directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling VROM/SAS/SNB, in het kader van het BEST-programma - Beleidsondersteuning Straling

© RIVM 2008

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Stralingsbelasting in nieuwbouwwoningen – voorlopige resultaten

VERA-survey 2006

Uit een landelijk onderzoek naar de stralingsbelasting in nieuwbouwwoningen, gebouwd tussen 1994 en 2003, blijkt dat de concentratie van het radioactieve edelgas radon en de hoeveelheid straling vanuit bodem en bouwmaterialen gedurende die periode niet zijn toegenomen. Dit is de belangrijkste conclusie uit een voorlopige rapportage van meetgegevens van de derde nationale radonsurvey. Met de uitkomst van dit onderzoek, dat uitgevoerd werd in opdracht van het ministerie van VROM, lijkt te worden voldaan aan de beleidslijn om het stralingsniveau in woningen niet verder toe te laten nemen. In eerdere surveys was namelijk gevonden dat de radonconcentratie in woningen gebouwd in de periode 1970 - 1990 met ongeveer de helft was toegenomen.

Blootstelling aan straling in de woning is verantwoordelijk voor bijna de helft van de stralingsbelasting die Nederlandse burgers gemiddeld door het jaar heen oplopen. Een groot deel van de dosis straling die we binnenshuis ontvangen is het gevolg van het inademen van radioactieve vervalproducten van radon en thoron. Radon en thoron worden van nature gevormd in bodem- en bouwmaterialen. En omdat ze gasvormig zijn, komt een deel ervan in de woning terecht. Een ander deel van de stralingsdosis is het gevolg van gammastraling vanuit bouwmaterialen en bodem.

De radonconcentraties blijken in de huidige survey lager dan de waarden die tien jaar geleden zijn gerapporteerd voor woningen uit de periode 1984 - 1993. Het vermoeden bestaat dat deze verschillen worden veroorzaakt door verschillen in meettechnieken. Mogelijk is in de vorige survey de aanwezigheid van thoron wel meegemeten en in de laatste survey niet. Als deze veronderstelling klopt, dan zou dat kunnen betekenen dat thoron een belangrijkere bijdrage levert aan de stralingsbelasting dan tot nu toe werd aangenomen. Nader onderzoek naar de meettechnieken en de bijdrage van thoron aan de metingen is inmiddels gestart. Door de onzekerheid over de mate waarin thoron bijdraagt aan de stralingsbelasting kunnen er op dit moment geen definitieve conclusies getrokken worden over trends in het gezondheidsrisico als gevolg van straling in de woning.

Trefwoorden: radon, survey, ventilatie, woning, nieuwbouw, Nederland

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Achtergrond bij straling in de woning	6
2.1	Inleiding	6
2.2	Bronnen	7
2.3	Verspreiding	7
2.4	Blootstelling	8
3	Opzet van het onderzoek	9
3.1	De steekproef	9
3.1.1	Type woning	10
3.1.2	Jaar van oplevering	10
3.2	Uitgebreide fase	11
3.3	Enkelvoudige fase	12
3.4	Meettechnieken (stralingsmetingen)	12
3.4.1	Radon	12
3.4.2	Externe straling	13
3.4.3	Ventilatie	14
3.5	Controlemetingen	16
4	Resultaten	18
4.1	Radonconcentraties	18
4.2	Externe stralingsmetingen	20
4.3	Controlemetingen	23
4.3.1	Vergelijking radon-detectors van Gammadata en FzK	23
4.3.2	Afstand tot bouw materiaal	24
4.3.3	Effect verpakkingsmateriaal	25
4.4	Ventilatie	26
4.4.1	De PFT-methode: Luchtuitwisseling tussen verschillende ruimten	26
4.4.2	De mechanische ventilatiesystemen	27
5	Voorlopige analyse van de stralingsbelasting in woningen en vergelijking met eerdere survey	29
6	Conclusies en aanbevelingen	32
	Referenties	33

1 Inleiding

Van de gemiddelde stralingsbelasting in Nederland is naar schatting bijna de helft afkomstig van natuurlijke radionucliden die zorgen voor een stralingsbelasting in het binnenmilieu. Volgens de huidige inzichten is de stralingsbelasting in nieuwbouwwoningen in de periode van begin jaren zeventig van de vorige eeuw tot begin jaren negentig toegenomen, met name als gevolg van een toename in de radon concentratie [1, 2]. De radonconcentratie in Nederlandse woningen is vergeleken met ons omringende landen over het algemeen relatief laag vanwege een uit dit oogpunt gunstige bodemgesteldheid. Niettemin wordt ingeschat dat jaarlijks 800 Nederlanders (95% onzekerheidsmarge van 100-1200) overlijden als gevolg van de stralingsblootstelling die het gevolg is van de radonconcentratie in de woning [3].

Naast blootstelling aan radon (en radon-vervalproducten) draagt externe straling vanuit de bouwmaterialen bij aan de stralingsbelasting in de woning. De overheid heeft het beleidsuitgangspunt geformuleerd dat de stralingsbelasting in Nederlandse nieuwbouwwoningen niet verder mag toenemen. Om na te gaan hoe de stralingsbelasting in nieuwbouwwoningen zich ontwikkelt, hebben overheid en bouwwereld een monitoringprogramma opgezet dat duidelijkheid moet geven over de huidige stralingsbelasting in de woning en de ontwikkelingen hierin in de komende tien jaar. Deze brieffrapportage geeft de voorlopige resultaten van een onderzoek van het RIVM naar de stralingsbelasting in nieuwbouwwoningen in Nederland die zijn gebouwd in de periode van 1994-2003. Vervolgsurveys moeten duidelijkheid geven over de ontwikkeling in de komende tien jaar, en over de mate waarin de beleidsdoelstelling gerealiseerd wordt.

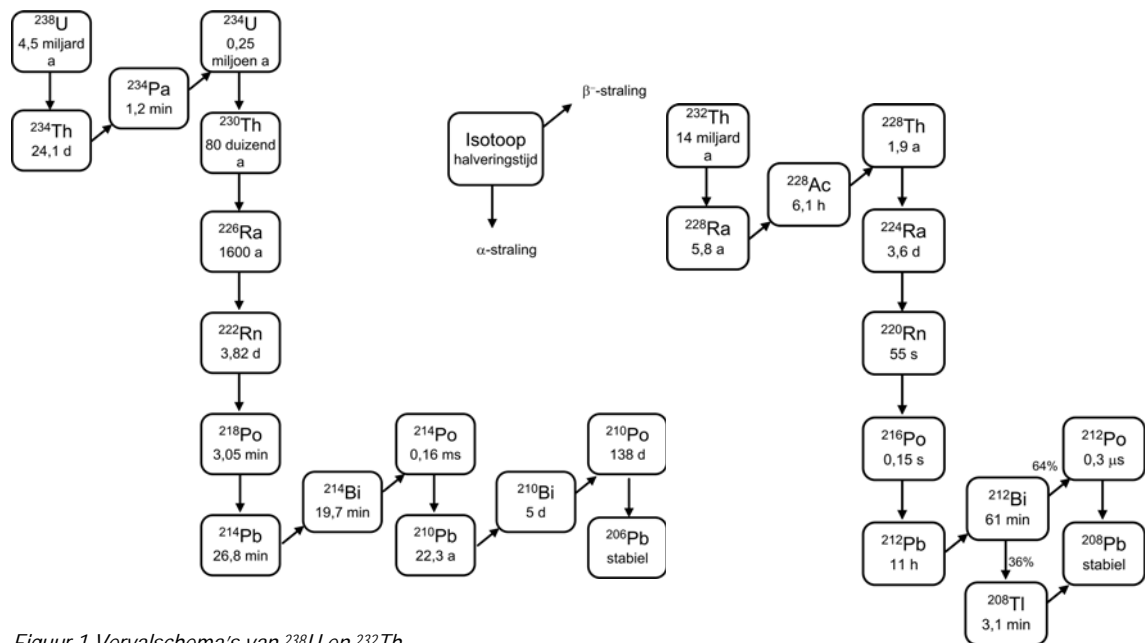
In dit (brief)rapport wordt kort ingegaan op de opzet van het uitgevoerde meetprogramma, de meetresultaten van de huidige survey en de stralingsbelasting in de woning. De ventilatiemetingen in het VERA-onderzoek worden nog niet uitgebreid in dit rapport behandeld.

De hier gepresenteerde resultaten moeten gezien worden als voorlopig, omdat gebleken is dat verschillende meettechnieken leiden tot verschillende resultaten. Voordat een meer definitief resultaat wordt gerapporteerd, moet eerst nog nader onderzoek naar die technieken plaatsvinden.

2 Achtergrond bij straling in de woning

2.1 Inleiding

Van nature bevinden zich verschillende radionucliden in de bodem. Voor de stralingsbelasting van de mens zijn de belangrijkste ^{40}K en radionucliden uit de zogenaamde ^{238}U - en ^{232}Th -reeksen. Deze zijn sinds het ontstaan van de aarde aanwezig. De twee reeksen heten zo omdat ze bestaan uit een serie radionucliden die in elkaar overgaan en daarbij α , β en/of γ -straling uitzenden. In zowel de uraniumreeks als de thoriumreeks bevindt zich een radionuclide dat een edelgas is. Dit edelgas, radon, kan deels ontsnappen uit het bodemmateriaal waarin het ontstaan is (emanatie) en vrij komen voor transport vanuit de bodem naar de atmosfeer (exhalatie). Bij het radioactief verval van dit edelgas (zie Figuur 1) ontstaan weer (radioactieve) vaste stoffen die zich aan stofdeeltjes in de lucht kunnen hechten en die bij inademing in de longen kunnen achterblijven. De van nature aanwezige radionucliden in de bodem kunnen een dosis bij de mens veroorzaken door vooral de externe γ -straling afkomstig van die radionucliden en de α -straling afkomstig van de vervalproducten van radon in de longen.



Figuur 1 Vervalschema's van ^{238}U en ^{232}Th

Het edelgas radon (Rn) komt als verschillende isotopen voor. De belangrijkste zijn ^{222}Rn in de ^{238}U -reeks en ^{220}Rn in de ^{232}Th -reeks. Deze twee isotopen worden ook wel respectievelijk radon en thoron genoemd. Radon is een direct vervalproduct van ^{226}Ra (radium) en vervalt zelf weer met een halveringstijd van ongeveer 3,8 dagen. Dat wil zeggen dat als er geen nieuw radon zou ontstaan na 3,8 dagen nog slechts de helft over zou zijn van de oorspronkelijke hoeveelheid. Thoron is een direct vervalproduct van ^{224}Ra (radium) en heeft een halveringstijd van slechts ongeveer 55 seconden. De huidige survey, overigens net als de vorige twee [1, 2], is gericht op het isotoop radon. Hierna zal de naam radon gebruikt worden voor het isotoop radon, ^{222}Rn .

2.2 Bronnen

De van nature in bodematerialen aanwezige radioactieve stoffen komen ook voor in materialen die gemaakt zijn van uit de bodem gedolven stoffen, zoals bouwmaterialen. In Nederland zijn het vooral de bouwmaterialen en (in mindere mate) de bodem die bijdragen aan de stralingsdosis in de woning [2]. De in de woning opgelopen dosis bedraagt naar schatting vrijwel de helft van de totale dosis die een Nederlander gemiddeld opdoet [4]. Zoals buitenshuis vanuit de bodem vindt blootstelling binnenshuis enerzijds plaats aan externe straling vanuit de bouwmaterialen, en anderzijds door inhalatie van in de lucht aanwezige radioactieve stoffen die uit bodem en bouwmaterialen zijn vrijgekomen. Uit bouwmaterialen en bodem vrijkomende radionucliden zijn met name radon en thoron.

In een woning zijn de belangrijkste bronnen voor de mens daarom de bouwmaterialen en de bodem onder en om de woning en daarmee ook de buitenlucht. Andere bronnen van radioactiviteit in de woning zijn nog aardgas en drinkwater, vooral voor zover afkomstig van grondwater. Gezien de afkomst van zowel aardgas als drinkwater kan daarin radon aanwezig zijn. In Nederland zijn deze twee bronnen over het algemeen van ondergeschikt belang [5].

2.3 Verspreiding

In het buitenmilieu wordt de mens blootgesteld aan straling vanuit de bodem en vanuit de kosmos. In een woning wordt de mens door bouwmaterialen omringd. Deze leveren daar een belangrijke bijdrage in de externe bestraling met γ -straling. Gezien de doordringendheid van dit type straling zal een mens in een woning in meer of mindere mate zijn blootgesteld aan straling afkomstig van alle bouwmaterialen waaruit de woning is opgetrokken alsook de naastgelegen woningen of appartementen [6]. De belangrijkste bijdrage aan de dosis door externe bestraling in een woning wordt echter door de direct omgevende bouwmaterialen (muren, vloer en plafond van specifieke woonruimte) veroorzaakt. Deze schermen overigens de mens weer deels af van straling afkomstig uit de bodem en de in mindere mate de kosmos. Om een beter idee te krijgen van de dosisbijdrage door externe bestraling vanuit bouwmaterialen is in de huidige survey gebruik gemaakt van zogenaamde TLD's om in diverse woonruimten de dosis te meten.

Het edelgas radon verspreidt zich in alle woonvertrekken. Gezien de halveringstijd kan het isotoop radon daarbij afkomstig zijn vanuit de bodem, de buitenlucht en de bouwmaterialen. Voor thoron zullen dit vooral de bouwmaterialen zijn. Thoron is immers grotendeels vervallen voordat het uit bodem, eventueel via de buitenlucht, in de woning binnenkomt. De verspreiding binnen een woonruimte mag voor het isotoop radon als redelijk homogeen worden aangenomen. De halveringstijd is namelijk aanzienlijk langer dan de ventilatieperiode van een dergelijke ruimte (doorgaans ongeveer 1 à 2 uur). Voor thoron is dit niet het geval. Dit gas is vooral nabij de bouwmaterialen aanwezig. Alleen bij sterke menging (bv. in de winter nabij verwarmingsradiatoren of andere kachels of nabij openstaande ramen) kan thoron zich over grotere afstanden verspreiden. De vervalproducten van zowel radon als thoron kunnen weer wel redelijk homogeen aanwezig zijn.

Om de verspreiding van radon in de woning te kunnen volgen en daarmee te kunnen vaststellen van welke bron vooral de gemeten radon afkomstig is (bodem, buitenlucht, bouw materiaal in de woonkamer of bouw materiaal in een andere ruimte) is in deze survey ook een onderzoek gedaan naar de ventilatiestromen binnen de woning en het gebruik van de mechanische ventilatiesystemen, voor zover aanwezig.

2.4 Blootstelling

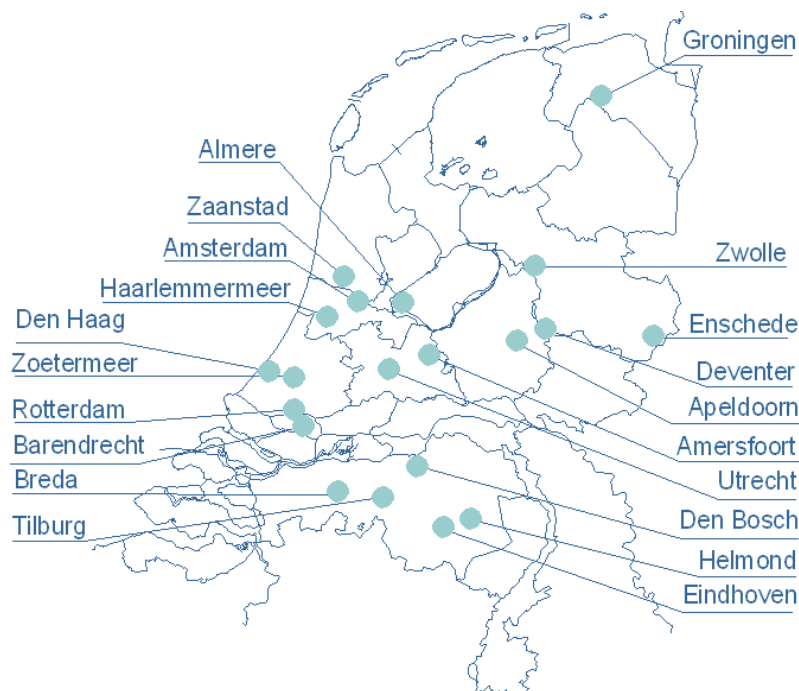
Blootstelling van de mens aan straling in het binnenmilieu vindt plaats op twee manieren.

De externe bestraling door vooral de γ -straling uitzendende radionucliden in de bouwmaterialen levert een bestraling van het gehele lichaam op. Het gevolg is een mogelijke inductie van verschillende mogelijke vormen van kanker. Op basis van de tot op heden (internationaal) gehanteerde LNT-hypothese (lineaire dosis-effect relatie), is de kans op kanker evenredig met de ontvangen dosis.

Bij de inademing van de vervalproducten van radon, kunnen deze achterblijven in de longen en via α -straling tot longkanker aanleiding geven. Ook hier wordt aangenomen dat de kans op longkanker evenredig toeneemt met de geïnhaleerde hoeveelheid vervalproducten. Bij gelijkblijvend ademhalings tempo, is dit ook evenredig met de radonconcentratie. De blootstelling treedt op in alle woonruimten. Omdat de woonkamer en slaapkamer de ruimten zijn waar iemand over het algemeen de meeste tijd verblijft in de woning, is tijdens deze survey in beide ruimten zowel de externe straling als de radonconcentratie gemeten.

3 Opzet van het onderzoek

Het onderzoek omvatte woningen uit een twintigtal gemeenten in Nederland (zie Figuur 2), die gebouwd zijn in de periode 1994 tot en met 2003. Het onderzoek is opgedeeld in twee fasen: een uitgebreide fase (fase 1) en een enkelvoudige fase (fase 2). De periode waarover apparatuur aanwezig was in de woningen bedroeg in beide gevallen ongeveer één jaar. Details over de opzet van de studie en de selectie van woningen en de plaatsing van meetapparatuur is opgenomen in het rapport ‘Opzet van het Ventilatie Radon onderzoek’ [7]. Hier volgt een korte samenvatting.



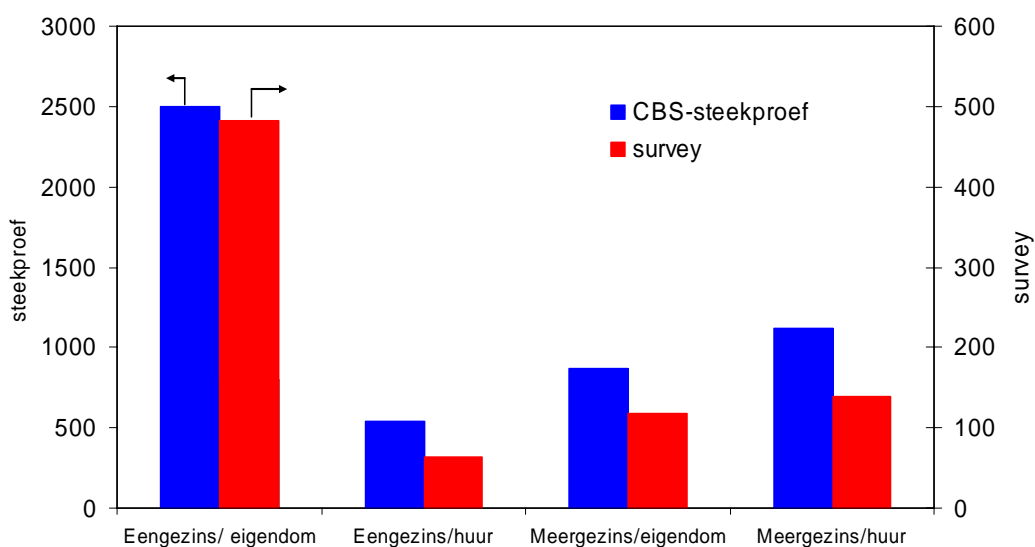
Figuur 2 Gemeenten vertegenwoordigd in de survey

3.1 De steekproef

Voor het uitvoeren van een steekproef is gebruik gemaakt van het bestand van woningen zoals dat door het CBS wordt bijgehouden. Zij hebben een selectie gemaakt van woningen uit de periode 1994-2003 met een representatieve verdeling over koop/huur en eengezins-/meergezinswoningen. In deze periode zijn circa 800.000 woningen gebouwd. Om logistieke redenen is er voor gekozen de steekproef te beperken tot de gemeenten die in deze periode de meeste woningen hebben gebouwd, veelal VINEX locaties.

3.1.1 Type woning

Bij het uitvoeren van de steekproef is door het CBS rekening gehouden met een representatieve verdeling over enerzijds huur- en koopwoningen en anderzijds een- en meergezins (appartement/flat) woningen. Het onderscheid naar huur- en koopwoning wordt gemaakt omdat uit eerdere onderzoeken is gebleken dat huurders en eigenaren soms verschillend omgaan met vragen over of kennis van hun woning. Het onderscheid naar de ééngzins/ meergezins woning is gemaakt omdat deze twee typen woningen de twee hoofdtypen zijn. Door het verschil in bouwwijze en de positionering ten opzichte van de bodem is er ook een verschil te verwachten in de radonconcentratie. Het zou weliswaar gewenst zijn om een nader onderscheid van typen woningen te hebben, maar de omvang van de steekproefgrootte zoals die in de survey is gehanteerd, laat deze verdere differentiatie niet toe. In Figuur 3 is de samenhang tussen een en ander weergegeven. Eigenaren van eengezinswoningen blijken iets oververtegen-



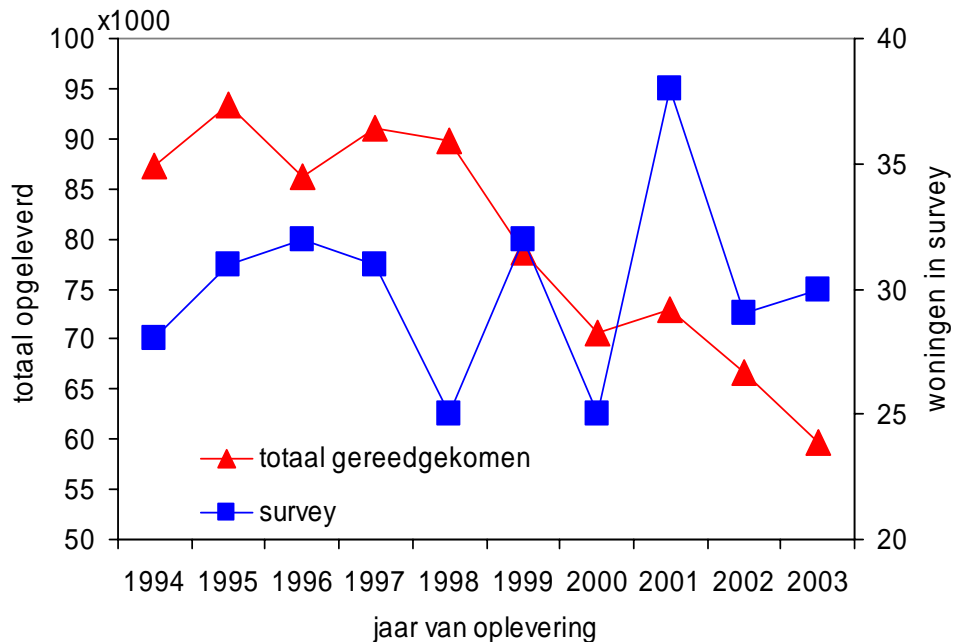
Figuur 3 Samenhang tussen type woning (een- en meergezins) en type bewoner (eigenaar of huurder) in de steekproef in de eerste fase van de survey

woordigd in de survey. Zie voor nadere details [7].

Van de 227 eengezinswoningen in de 1^e fase van de survey is in 150 gevallen apparatuur aangebracht in de kruipruimte. In 32 gevallen was de kruipruimte niet toegankelijk vanwege grondwater of andere obstakels. In de overige gevallen (45) is een kruipruimte niet aanwezig of in ieder geval niet bereikbaar. Dit relatief grote aantal is te verklaren uit het zogenaamde kruipruimteloos bouwen dat opgang vindt. Overigens wil dit niet zeggen dat er in die gevallen geen ruimte is onder de woning. Zeker als die ruimte niet geventileerd wordt met buitenlucht kan een probleem met radoninfiltratie optreden.

3.1.2 Jaar van oplevering

In de periode 1994-2003 is, na een aanvankelijk constante productie, de bouw van nieuwe woningen ingezakt (zie Figuur 4).



Figuur 4 Jaar van oplevering van de nieuwbouw van het totale woningbestand en van de fase 1 woningen in de survey

De woningen die in de survey zijn beland, hebben een iets andere verdeling over de jaren. Vooral de woningen uit de laatste jaren van de onderzoeksperiode zijn iets oververtegenwoordigd, zowel bij de 1^e als 2^e fase. Dit is niet zo erg omdat de gemiddelde concentratie voor woningen uit die jaren daardoor beter is te bepalen en de onzekerheid daarmee kleiner zal zijn. Tevens is de trend over de jaren zo mogelijk beter vast te stellen.

3.2 Uitgebreide fase

In de eerste fase van het onderzoek is in ruim 300 woningen een onderzoek gedaan naar radon, externe straling en ventilatiestromen in en tussen 4 verschillende ruimten per woning. Deze ruimten zijn: de woonkamer, een (hoofd)slaapkamer, de verbindende hal en de kruipruimte (bij eengezinswoningen) danwel de centrale toegangshal (bij meergezinswoningen ofwel appartementen). De installatie van alle benodigde apparatuur is uitgevoerd door een groep specifiek daarvoor getrainde personen. Plaatsing nam ongeveer twee uur en vond plaats in de maand december 2005 met enige uitloop naar januari 2006. Ook het ophalen van de apparatuur is door getraind personeel uitgevoerd. Tegelijk met het ophalen van de apparatuur is nader gekeken naar de mechanische ventilatie van de woning en is een gedetailleerd beeld geschetst van alle mogelijk belangrijke parameters via een enquête. Hierbij moet gedacht worden aan type bouwmaterialen, ventilatiesystemen, verwarming, afwerking vloeren en wanden e.d. Van de meeste apparatuur is vooraf en bij plaatsing locatie en nummer vastgelegd en zijn foto's genomen. Ook bij het ophalen van de apparatuur heeft registratie plaatsgevonden. Deze veelal driedubbel uitgevoerde onafhankelijke registraties vormden een controle op de juistheid van de plaatsing en boden een mogelijkheid eventuele fouten te corrigeren.

3.3 Enkelvoudige fase

Uit kostenoverweging bleek een onderzoek in 300 woningen het maximaal haalbare. Voor een representatief beeld zijn echter meer metingen van de radonconcentratie gewenst. Daarom is in de tweede fase via de post aan een groot aantal potentiële deelnemers (circa 4000) gevraagd of zij in het kader van het onderzoek gedurende een jaar een radon-detector in hun woonkamer zouden willen plaatsen. Aan 800 positief reagerende bewoners is vervolgens per post een radon-detector toegezonden in juni 2006. Deze methode van onderzoek is relatief goedkoop (geen menskracht nodig om apparatuur uit te rijden), maar ook minder informatief. Het is immers niet goed mogelijk om de deelnemers allen afzonderlijk een groot aantal verschillende meetapparaten in hun woning te laten plaatsen. Uit de resultaten blijkt echter dat de plaatsing van alleen een radon-detector in de woonkamer goed heeft uitgepakt. Ruim 700 van de initieel toegezonden detectors zijn daarbij retour ontvangen in juni 2007.

3.4 Meettechnieken (stralingsmetingen)

In de VERA survey zijn de drie belangrijkste grootheden die worden gemeten:

1. de radonconcentratie in verschillende ruimten van een woning
2. de externe straling in verschillende ruimten van een woning en
3. de ventilatie-/luchtstromen tussen de verschillende ruimten in een woning

Naast de methoden die zijn gebruikt voor het meten van deze grootheden zijn nog enkele ondersteunende metingen verricht. Omdat de betreffende metingen tamelijk specialistisch zijn, is de levering van apparatuur uitbesteed.

3.4.1 Radon

De jaargemiddelde concentratie van het edelgas radon wordt bepaald met de zogenaamde ‘alpha track’ methode. Zie voor een nadere beschrijving van deze meetmethode [8]. De hiervoor toegepaste detectors



Figuur 5 Onder- en zijaanzicht van de in de survey toegepaste radondetector (Gammadata)

zijn van de firma Gammadata¹ uit Zweden. Bij deze methode diffundeert radon de ‘radon-detector’, gemaakt van anti-statisch plastic, in (Figuur 5). De α -straling van radon en haar vervalproducten levert sporen op filmmateriaal (CR39/PADC) dat zich in de detector bevindt. Het aantal sporen is een maat voor de concentratie.

De radondetectors worden apart verpakt aangeleverd in radondichte aluminium zakjes. De meting start pas als een zakje geopend wordt. Na toepassing zijn de detectors wederom in radondichte aluminium zakjes geseald aangeleverd aan Gammadata voor analyse.

Detectiebereik

Volgens Gammadata is het detectiebereik van dit type detector voor blootstellingen gedurende een jaar 5-5700 Bq·m⁻³. De meetonzekerheid bedraagt ongeveer 7% bij 20 Bq·m⁻³ (67% betrouwbaarheidsinterval).

Meetlocaties

De radonconcentratie is bij woningen uit de eerste fase gemeten in vier vertrekken, namelijk de woonkamer, de hal, de (hoofd)slaapkamer en de kruipruimte (bij eengezinswoningen) danwel de toegangshal (bij meergezinswoningen of appartementen). In de tweede fase is weliswaar een groter aantal woningen geselecteerd, maar is slechts de radonconcentratie in de woonkamer gemeten.

In elk van de twintig deelnemende gemeenten, is ook een tuinmeting uitgevoerd. In een fles zonder bodem zijn zestien radondetectors opgehangen om de gemiddelde radonconcentratie in de buitenlucht te meten. Vanwege de te verwachten lage concentraties is een groter aantal detectors gebruikt. Zo kan toch nog met enige betrouwbaarheid iets over de buitenconcentratie gezegd worden, immers een van de bronnen van radon in het binnenmilieu.

Om een koppeling met de langjarig beschikbare meetgegevens van het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR) te kunnen maken, is bij een tiental NMR meetposten ook een fles met radondetectors opgehangen. Dit meetnet meet ook de radonconcentratie, maar dan met 10-min gemiddelden.

3.4.2 Externe straling

De externe straling afkomstig van bouwmaterialen en bodem wordt gemeten met thermoluminescentie-dosimeters (TLD's), zie Figuur 6: Onder invloed van straling worden elektronen in het TLD-materiaal naar een zogenaamde ‘electron trap’ geëxciteerd. Door verwarming in een TLD-oven kunnen deze elektronen weer terugvallen en zenden daarbij licht uit. De hoeveelheid licht is een maat voor de door



Figuur 6 TLD-thermoluminescentie dosimeter van NRG Arnhem

¹ Gammadata Mätteknik AB, PO Box 15120, SE-750 15 Uppsala, Sweden

de TLD ontvangen dosis. De TLD's zijn betrokken van NRG², de organisatie die een belangrijk deel van de persoonsdosimeters in Nederland levert en ook de nationale registratie van persoonsdosimeters bijhoudt.

Detectiebereik

Het te verwachten dosisbereik 0,1 – 2 mSv in een jaar levert geen probleem op bij dit type detector. Bij doses onder de 0,2 mSv bedraagt de onzekerheid circa 0,01 mSv. Bij doses groter dan ca. 0,2 mSv wordt een gecombineerde standaard onzekerheid berekend van 3% (95% betrouwbaarheidsinterval 0,94-1,06). Dit betreft onzekerheden door variaties in detector- en readergevoeligheid, detector- en reader³-nulsignaal, de correcties voor energie- en hoekafhankelijkheid van de respons en correctie voor fading⁴ alsmede ruis in het meetstelsel. De temperatuursafhankelijkheid van fading is hier niet in meegenomen en kan de onzekerheid met, naar schatting van NRG, maximaal nog 5% laten toenemen.

Meetlocaties

De externe straling is alleen gemeten in de eerste fase van de survey. Het gaat dan evenals bij de radonmetingen om vier vertrekken, namelijk de woonkamer, de hal, de (hoofd)slaapkamer en de kruipruimte (bij eengezinswoningen) danwel de toegangshal (bij meergezinswoningen of appartementen).

In elk van de twintig gemeenten waar metingen plaatsvonden, is ook een tuinmeting uitgevoerd. In een fles zonder bodem zijn zestien TLD's opgehangen om de gemiddelde dosis door externe straling in de buitenlucht te meten. Ook hier is voor een groter aantal detectors gekozen om de meetonzekerheid zo klein mogelijk te houden.

Om een koppeling met de jaarlijks beschikbare meetgegevens van het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR) te kunnen maken, is bij een tiental NMR meetposten ook een fles met TLD's opgehangen. Dit meetnet meet ook gammastraling (omgevingsdosistempo om precies te zijn), maar dan met 10-min gemiddelden.

3.4.3 Ventilatie

Er zijn twee methoden gehanteerd om naar twee specifieke aspecten van ventilatie in de woning te kijken. Het was hierbij enerzijds de bedoeling om de luchtstromen in de woning in kaart te brengen en anderzijds om de aangebrachte mechanische ventilatiesystemen op hun werking te onderzoeken.

Ventilatiestromen

Voor het vaststellen van de luchtstromen tussen de verschillende vertrekken van een woning is gebruik gemaakt van de zogenaamde PFT-methode. In de eerdergenoemde ruimten van de woning (woonkamer, slaapkamer, hal en kruipruimte danwel toegangshal) wordt daartoe een (perfluorocarbon) tracer losgelaten vanuit een klein aluminium buisje. Het gaat om vier verschillende ruimten en ook om vier verschillende tracers. Met behulp van adsorbers, zogenaamde CATS (capillary adsorbent tracer samplers) in diezelfde ruimten kunnen de tracers geadsorbeerd worden (zie Figuur 7). Uit de hoeveelheden geadsorbeerde tracer in de verschillende ruimten kunnen de (netto) luchtstromen tussen die verschillende ruimten worden vastgesteld. Deze specialistische methode met vier verschillende

² NRG, Utrechtseweg 310, Arnhem, Nederland

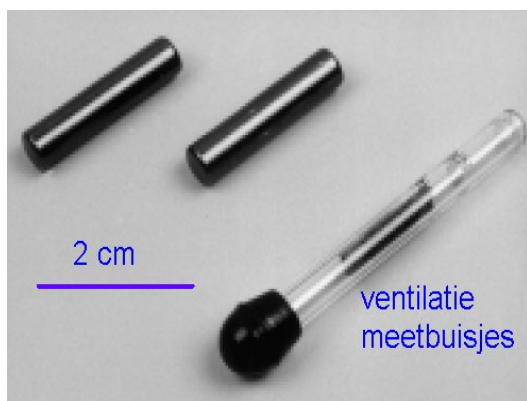
³ De reader is het apparaat waarmee de TLD wordt uitgelezen

⁴ Onder fading wordt verstaan het langzaam verminderen van de dosis op de TLD tijdens de meting; dit kan deels veroorzaakt worden door een hogere temperatuur waardoor de TLD als het ware al een beetje wordt uitgelezen

tracers wordt alleen door Brookhaven National Laboratory (BNL)⁵ aangeboden. Voor een nadere beschrijving van de methode zie bijvoorbeeld [9, 10].

Er is gekozen voor de PFT-methode om een aantal redenen:

- Er is vrijwel geen achtergrondconcentratie van PF aanwezig,
- PFT's zijn niet giftig, niet reactief en onbrandbaar en volledig onschadelijk voor het milieu,
- De PFT's kunnen extreem gevoelig worden gedetecteerd, tot minder dan een femtoliter (10^{-15}) per liter lucht, zodat met zeer geringe hoeveelheden kan worden volstaan.



Figuur 7 Twee PFT bronnen en een adsorber (CATS) voor het ventilatieonderzoek

Ook tijdens de vorige (tweede) radonsurvey [2] werden PFT's van BNL gebruikt voor ventilatiemetingen.

Ter ondersteuning van deze ventilatiemetingen is in de huidige (derde) survey in een 75-tal woningen in alle bemeten ruimten ook de temperatuur gemeten op uurbasis. De PFT bronnen zijn enigszins temperatuursafhankelijk en bij de emissie kan hier dan rekening mee worden gehouden. Voor deze temperatuurmeting is gebruik gemaakt van een ATAL-atv-11 (zie Figuur 8).



Figuur 8 ATAL ATV data recorder voor het loggen van temperatuur en luchtvochtigheid op een harde schijf

⁵ Department of Energy and Environment, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, contact: RN Dietz

Mechanische ventilatiesystemen

In de meeste nieuwbouwwoningen wordt een mechanisch ventilatiesysteem aangelegd. Het gaat dan veelal om systemen die mechanisch lucht aanzuigen, afblazen of een combinatie van de twee. Omdat dergelijke ventilatiesystemen een belangrijke invloed hebben op het binnenklimaat van de woning en dus ook de radonconcentratie, is naast een inventarisatie van het type systeem ook een meting verricht aan het ventilatiesysteem in de verschillende beschikbare standen. Deze meting is verricht door het ingenieursbureau Lichtveld Buis & Partners⁶⁾ tijdens het ophalen van de apparatuur. Zo kan worden vastgesteld wat de werkelijke ventilatiecapaciteit van dergelijke systemen is, naast het gedrag van de bewoner. De metingen van de ventilatiecapaciteit zijn verricht met een vleugelradanemometer (zie Figuur 9) met bijbehorende meetconus van het merk Observer [11].



Figuur 9 Observer schoepenradanemometer voor het meten van de ventilatiecapaciteit van een mechanisch ventilatie systeem

Naast de genoemde ventilatiemetingen zijn geluidsniveau metingen uitgevoerd in de verschillende woonruimten voor de verschillende standen van het ventilatiesysteem. Dit is uitgevoerd om te bezien of mogelijk het geluidsniveau van invloed is op het ventilatiegedrag van de bewoner.

3.5 Controlemetingen

Ter borging van vooral de radonmetingen is een aantal controlemetingen uitgevoerd. Deze metingen zijn erop gericht de absolute waarden van de metingen zo goed mogelijk te borgen. De controlemetingen zijn onder te verdelen in:

- *metingen van lage concentraties*: er zijn parallel aan de metingen in woningen ook metingen in tuinen (buitenlucht) en nabij stations van het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR) verricht. Deze NMR stations meten langjarig de radonconcentratie op 10-minuten basis.
- *metingen van hoge concentraties*: een aantal metingen vond plaats in een veelal afgesloten kelder waar hogere concentraties verwacht mogen worden
- *meting van de dichtheid van het verpakkingsfolie van de detectoren*: een aantal detectoren werd zowel buiten als binnen bewaard in het aluminiumfolie waarin de detectors werden aangeleverd; tevens is een aantal detectors opnieuw verpakt, maar dan in de aluminiumfolie zakken waarin de

⁶⁾ Lichtveld Buis & Partners BV, ingenieurs- en adviesbureau, Nieuwegein, contact: L. Schaap

radon-detectors terug gezonden worden naar de leverancier, dit ter controle van de eigen verpakkingsmaterialen en de achtergrond

- om een betere *vergelijking te kunnen maken met de vorige survey* zijn bij een aantal controlemetingen tevens de radon-detectors (althans het type) van die survey gebruikt. Deze detectors komen van Forschungszentrum Karlsruhe (FzK), Zie Figuur 10.



Figuur 10 Radon-detectors van Gammadata (links) en FzK

- tenslotte zijn er aanwijzingen dat mogelijk *de afstand van de radon-detectors tot een bouw materiaal* (muur, plafond) van invloed kan zijn op de metingen, dit in verband met het kortlevende thoron, ^{220}Rn . Om dit effect te kunnen kwantificeren is een aantal radon-detectors op verschillende afstanden (0, 10, 35 en 50 cm) van een betonnen muur gehangen.



Figuur 11 Meting effect thoron (^{220}Rn) met radon-detectors op verschillende afstanden van muur.

Alle controlemetingen zijn (zoals ook te zien is in Figuur 11) met grotere aantallen (15-20) detectors uitgevoerd om een grotere nauwkeurigheid te bereiken.

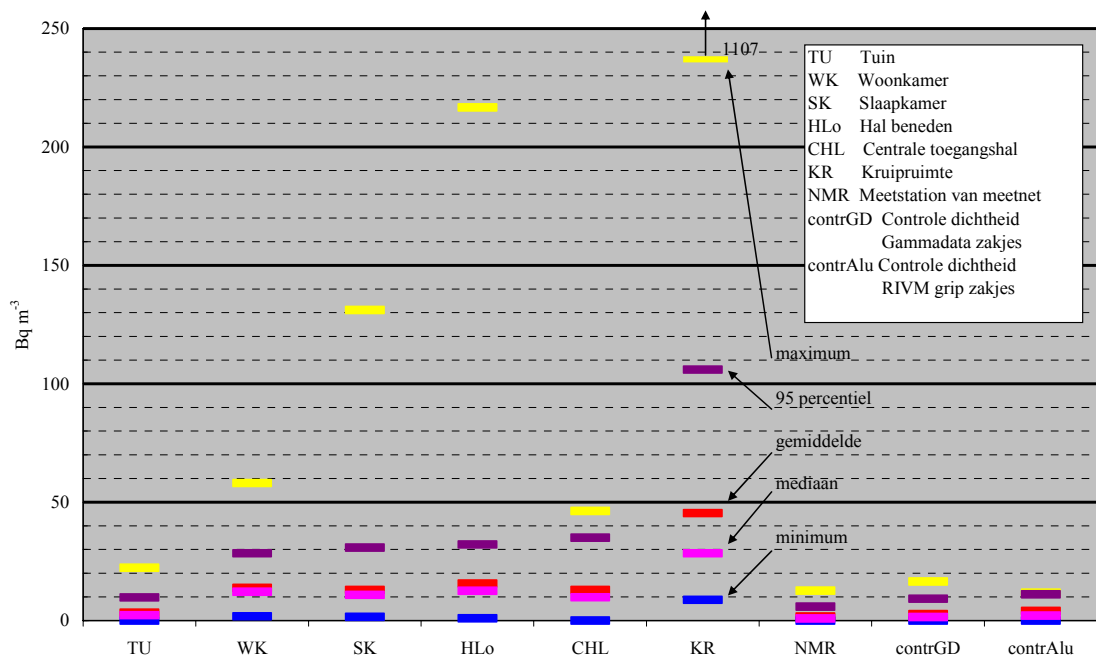
4 Resultaten

4.1 Radonconcentraties

De metingen hebben plaatsgevonden over een periode van ongeveer een jaar. De metingen leveren dan ook eigenlijk tijdsgeïntegreerde concentraties op. Voor een betere vergelijkbaarheid zijn deze waarden gecorrigeerd voor duur van de meting en omgerekend naar $Bq\ m^{-3}$. In Tabel 1 en Figuur 12 zijn enkele kengetallen van de radonconcentraties, gemeten tijdens fase 1, weergegeven.

Tabel 1 Overzicht van resultaten van radonmetingen ($Bq\ m^{-3}$) van de 1e fase van de radonsurvey

	Tuin	Woonkamer	Slaapkamer	Hal	Centrale hal	Kruipruimte	NMR-station	Controle GD-zakjes	Controle RIVM-zakjes
Aantal metingen	303	301	296	292	47	149	168	70	16
Gemiddelde	3,3	13,8	13,0	15,6	12,9	45,4	1,7	2,7	4,0
Minimum	0,0	1,8	1,5	0,9	0,0	8,7	0,0	0,0	0,0
Maximum	22,3	58,1	131,1	216,6	46,3	1107,3	12,6	16,5	11,8
Mediaan	2,3	12,2	10,8	12,5	9,9	28,4	0,8	1,7	2,1
95percentiel	9,8	28,4	30,8	32,1	35,0	106,0	5,9	8,3	11,0



Figuur 12 Schematische weergave van de gegevens uit tabel 1.

Tijdens de 2e fase van het onderzoek zijn alleen woonkamers gemeten. Zoals eerder gemeld zijn van de 800 uitgezette radon-detectors er ruim 700 teruggekomen (zie Tabel 2). De tijdens deze fase gemeten concentraties wijken niet af van die tijdens de 1e fase in woonkamers zijn vastgesteld (gemiddeld in de 1^e en 2^e fase respectievelijk $13,8 \pm 0,5 \text{ Bq m}^{-3}$ en $13,4 \pm 0,4 \text{ Bq m}^{-3}$). Een positieve conclusie is dus dat een grote survey van alleen radon-detectors in woonkamers relatief eenvoudig (en goedkoop) kan worden uitgevoerd door deelnemers die detectors per post toe te sturen.

Tabel 2 Overzicht van resultaten van radonmetingen (Bq m^{-3}) van de 2e fase van de radonsurvey

	Tuin	Woonkamer	Slaapkamer	Hal	Centrale hal	Kruipruimte	NMR-station	Controle GD-zakjes	Controle RIVM-zakjes
Aantal metingen		710							7
Gemiddelde		13,4							1,8
Minimum		0,0							0,0
Maximum		84,1							8,0
Mediaan		11,6							0,4
95percentiel		29,9							6,5

Voor het totale bestand van ruim 1000 woningen uit de gehele survey is meer specifiek gekeken naar de radonconcentratie in woonkamer en slaapkamer van eengezins- en meergezinswoningen (zie Tabel 3). In overeenstemming met eerdere surveys blijkt de radonconcentratie in meergezinswoningen iets hoger dan in eengezinswoningen.

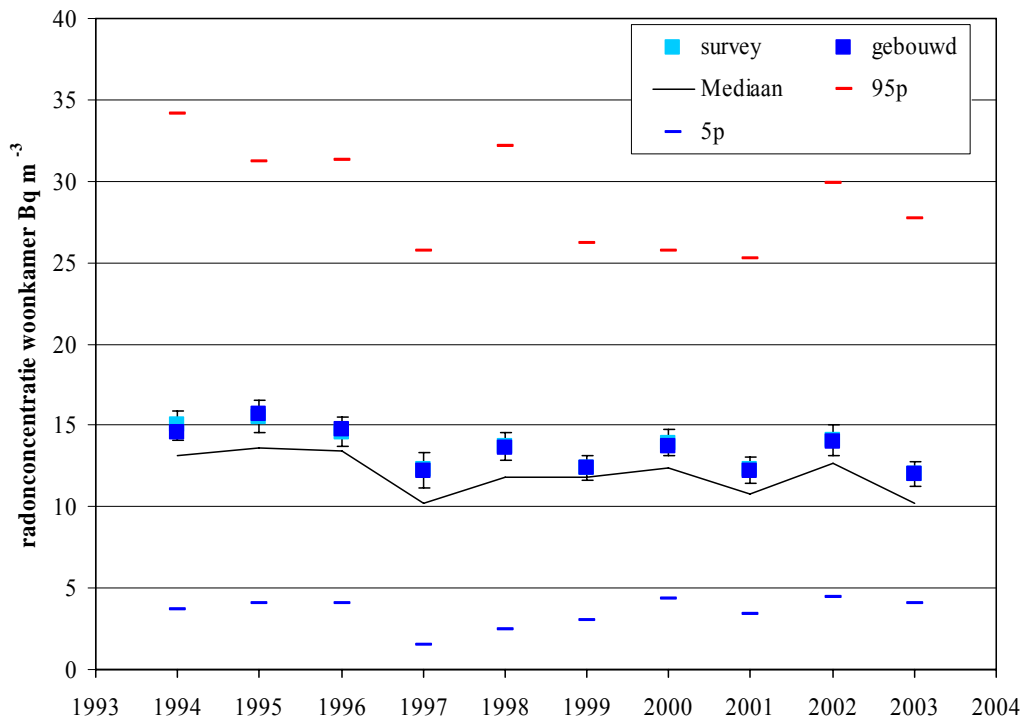
Tabel 3 Overzicht van resultaten van de radonmetingen (Bq m^{-3}) in een- en meergezinswoningen

	Eengezinswoningen:		Meergezinswoningen:	
	WK	SK	WK	SK
Aantal	708	219	297	73
Gemiddelde	12,9	11,5	15,1	15,6
Minimum	0,0	1,5	0,0	1,5
Maximum	84,1	43,5	78,9	63,8
Mediaan	11,4	9,5	13,2	13,7
95percentiel	28,2	27,6	32,3	33,1

In Figuur 13 zijn de in de survey gevonden concentraties als functie van het bouwjaar weergegeven. Er lijkt een licht dalende tendens, maar die is niet significant.

Op basis van de radon meetresultaten van de 1^e en 2^e fase kunnen enkele conclusies getrokken worden:

- ❖ concentraties in de woonkamer zijn van vergelijkbare grootte als die in de hal, eventuele centrale toegangshal (bij meergezinswoningen of appartementen) en de slaapkamer (slaapkamer is iets lager net als in vorige survey)
- ❖ concentraties in de kruipruimte zijn significant hoger dan in de andere genoemde ruimten met één enkele uitschieter naar boven de 1000 Bq m^{-3}



Figuur 13 Radonconcentratie als functie van het bouwjaar van de woningen in de survey: gemiddeld in de survey, gewogen voor werkelijk gebouwde een- en meergezinswoningen, de 5 en 95 percentielwaarden evenals de mediane waarden binnen de survey

- ❖ concentraties in de diverse tuinen zijn gemiddeld iets hoger dan bij NMR stations
- ❖ concentraties gemeten met detectors die verpakt waren in ‘radondichte’ zakjes van Gammadata danwel de ‘radondichte’ aluminium gripzakjes toegepast door RIVM, zijn gemiddeld hoger dan ‘open’ radon-detectors nabij NMR stations en vergelijkbaar met metingen in de tuinen
- ❖ meergezinswoningen hebben licht hogere radonconcentraties dan eengezinswoningen
- ❖ vanaf 1997 is de radonconcentratie in woonkamers stabiel; de iets hogere concentraties in de jaren 1994-1996 lijken een afname te indiceren, maar de onzekerheden in de afzonderlijke jaren is van dien aard dat dit geen reëel beeld is
- ❖ de dichtheid van de ‘radon dichte’ aluminium zakjes lijkt beperkt, zeker gezien de lagere concentraties in het buitenmilieu nabij de NMR-stations; de gemeten concentraties zitten hier wel tegen de detectiegrens aan.
- ❖ belangrijkste conclusie is dat de radonconcentraties gemiddeld ongeveer de helft zijn van die tijdens de vorige survey zijn vastgesteld; toen werd echter met andere radon-detectors gemeten (zie ook hoofdstuk 5)

4.2 Externe stralingsmetingen

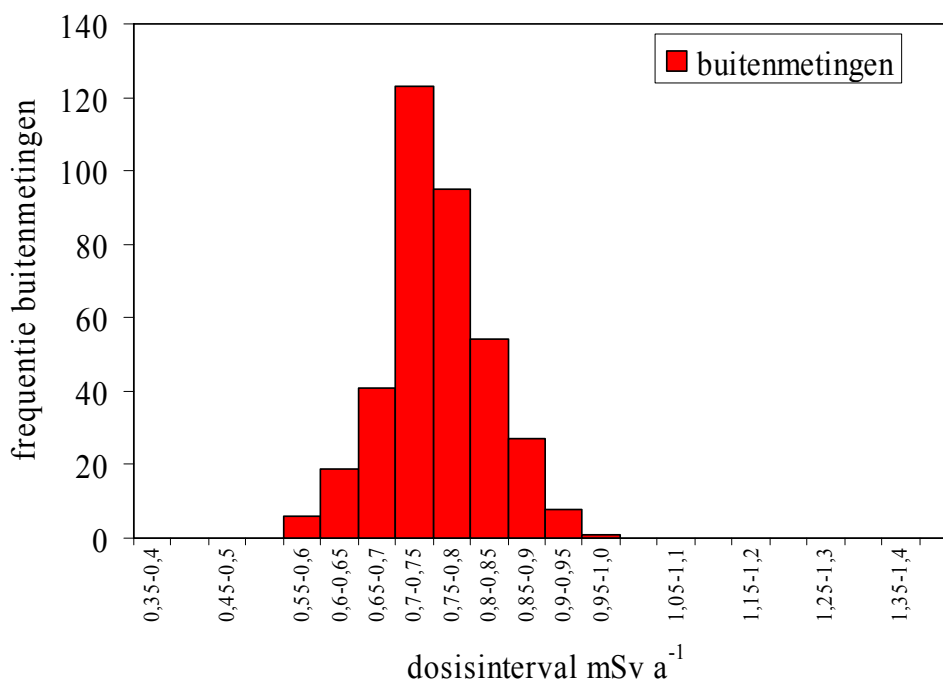
De dosis door externe straling vanuit de bouwmaterialen inclusief de bijdrage van de kosmische straling, voorzover die wordt doorgelaten door de bouwmaterialen, is voor alle woningen in de survey gegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Overzicht van (omgevings)dosis tempo door externe straling in de verschillende ruimten in de woningen in fase 1 van de survey ($mSv a^{-1}$); WK=woonkamer, SK=slaapkamer, HL=hal, KR=kruipruimte en TH=toegangshal (in meergezinswoningen)

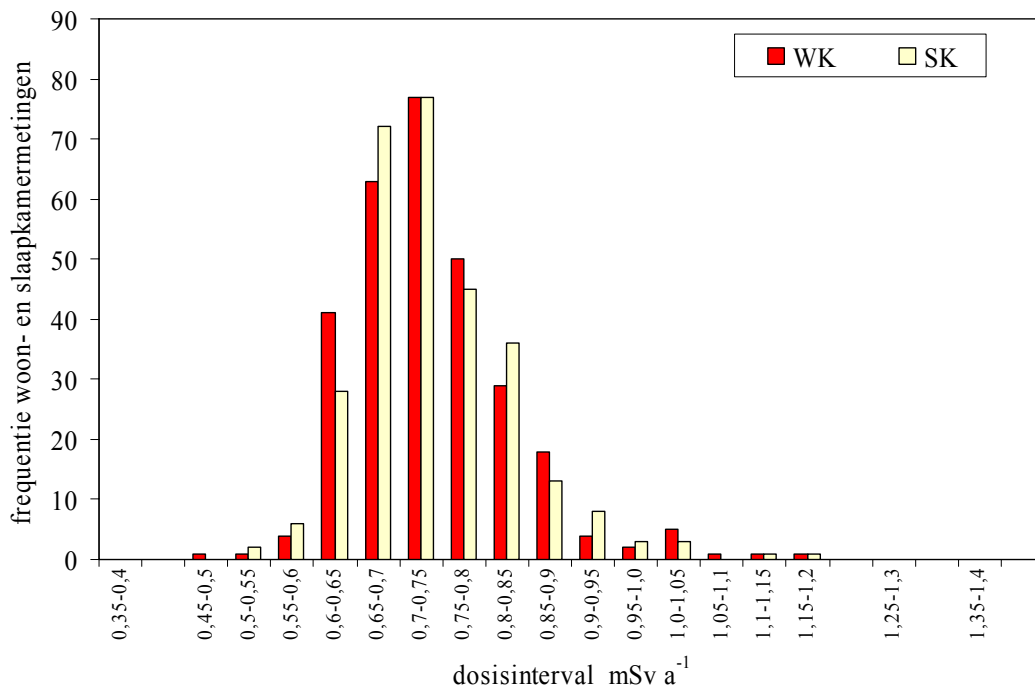
	alleTLDs	WK	SK	HL	KR	TH
minimum:	0,48	0,50	0,50	0,51	0,64	0,48
maximum:	1,40	1,17	1,19	1,40	1,03	1,14
5 perc.:	0,61	0,62	0,62	0,58	0,69	0,58
95 perc.:	0,93	0,90	0,90	0,92	0,97	0,85
mediaan:	0,73	0,73	0,72	0,71	0,81	0,71
gemiddeld:	0,74	0,74	0,74	0,72	0,82	0,72
stdev:	0,10	0,09	0,09	0,10	0,08	0,11

Belangrijkste conclusie is, dat er weinig verschil is gevonden tussen de verschillende verblijfsruimten. Alleen in de kruipruimte zijn hogere dosistemporen vastgesteld. Dit is goed te verklaren uit de grotere nabijheid van beton en bodem.

De in het buitenmilieu gemeten dosis door externe straling (vooral terrestrische en kosmische straling) bedroeg gemiddeld $0,75 mSv a^{-1}$ (zie Figuur 14). In feite betekent dit dat de dosis door externe straling in het binnenmilieu vergelijkbaar is met die in het buitenmilieu, maar dat die wel door andere bronnen wordt bepaald.

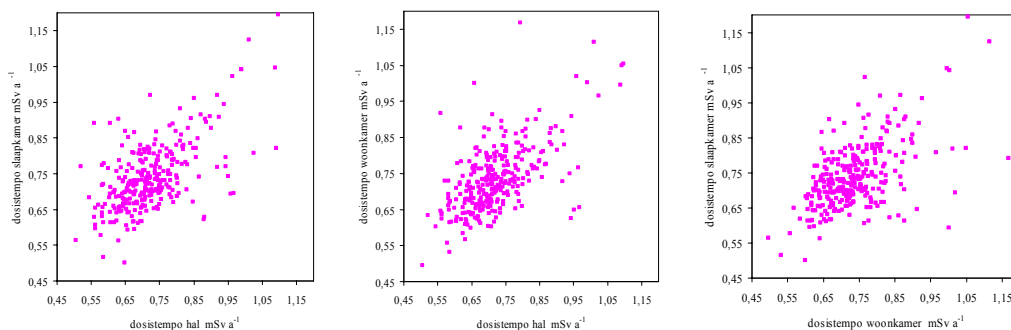


Figuur 14 Verdeling van de aangetroffen doses door externe straling in het buitenmilieu tijdens deze survey

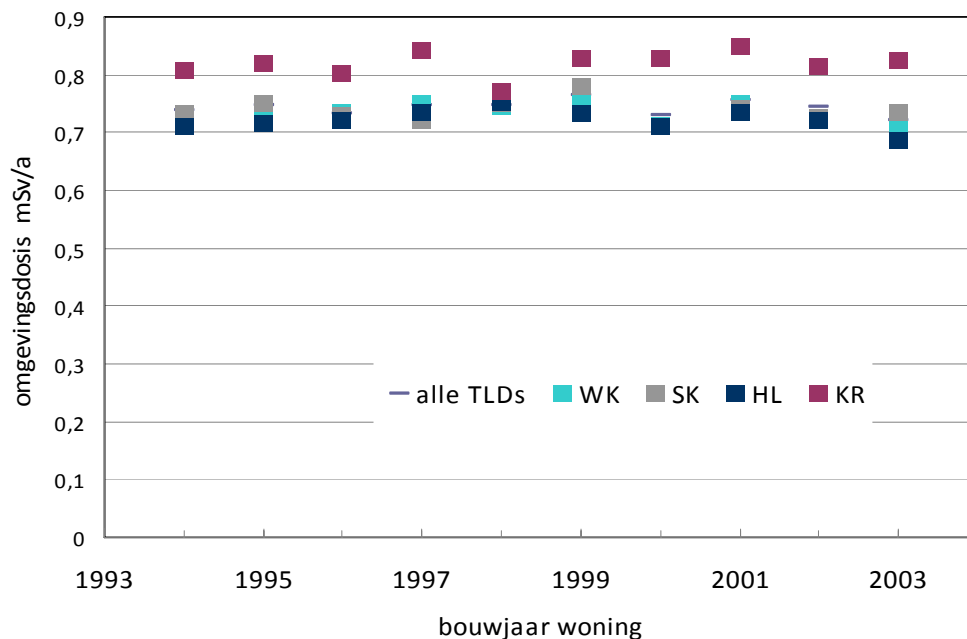


Figuur 15 Verdeling van de aangetroffen doses door externe straling in woon- en slaapkamers in fase 1 van de survey

De spreiding van meetresultaten loopt van ongeveer 0,6 – 1 mSv a⁻¹, vergelijkbaar met die in het buitenmilieu. Wat de exacte oorzaak van de spreiding in het binnenmilieu is (type bouwmaterialen, grootte van de bemeeten ruimte e.d.), wordt nog nader onderzocht en zal in een nadere rapportage aan de orde komen. Wel is er een lichte correlatie gevonden tussen de dosistempci zoals die in de verschillende woonruimten (woonkamer, hal en slaapkamer) zijn gemeten (zie Figuur 16).



Figuur 16 Correlatiegrafieken voor dosistempo slaapkamer vs hal, woonkamer vs hal en slaapkamer vs woonkamer (r^2 respectievelijk 0,32, 0,38 en 0,31)



Figuur 17 Gemiddelde omgevingsdosis door externe straling als functie van het bouwjaar van de woning

Ook voor de externe straling is gekeken naar een samenhang met het bouwjaar van de woningen (zie Figuur 17). Ook hier is evenals bij de radonconcentratie geen duidelijke trend waar te nemen ($r^2 < 0,06$).

4.3 Controlemetingen

4.3.1 Vergelijking radon-detectors van Gammadata en FzK

Voor een vergelijking van de beide typen detectors (tijdens vorige survey zijn FzK ofwel Karlsruhe detectors toegepast) zijn tijdens de 2^e fase van de survey een 15-tal detectors in de buitenlucht en een 15-tal in een kelder opgehangen. Het doel hiervan was onderzoek van de vergelijkbaarheid van de meetresultaten voor twee uiteenlopende concentraties ('laag' en 'hoog') bij de twee verschillende typen detectors. In validatiestudies die met enige regelmaat plaatsvinden is een goede vergelijkbaarheid vastgesteld (binnen 10%) voor de meting van radon in speciaal daarvoor ingerichte radonkamers [12, 13]. In de praktijk, zeker in Nederland, zijn de concentraties waaraan de detectors worden blootgesteld veel lager. Tevens is er sprake van blootstelling aan thoron.

Tijdens de 2^e fase blijken de radonconcentraties in woonkamers niet wezenlijk anders dan tijdens de 1^e fase en datzelfde geldt voor de vergelijking van meetresultaten van de twee typen detectors (zie **Tabel 5**).

Tabel 5 Radonconcentraties tijdens vergelijking van Gammadata en FzK detectors

Radonconcentratie (Bq m ⁻³)	Gammadata	FzK
Gemiddelde concentratie kelder	19,4	22,8
Standaarddeviatie	4,0	4,1
Gemiddelde concentratie buiten	4,2	8,2
Standaarddeviatie	3,6	1,7

Conclusie is dus dat de radonconcentratie voor binnenmetingen volgens Gammadata niet significant afwijkt van die volgens FzK, dus lagere concentraties in woningen lijken juist.

De radonconcentratie in het buitenmilieu lijkt wel een verschil op te leveren tussen Gammadata en FzK detectors. Bij een bezoek aan Gammadata in juli 2007 is duidelijk geworden dat vooral bij de lage concentraties problemen kunnen optreden. Belangrijkste oorzaken zijn onzuiverheden in het detectiemateriaal en mogelijke besmettingen van de kunststof omhullingen van de detector. Deze kunnen nog sporen van ²¹⁰Po en ²¹⁰Pb bevatten van vorige blootstellingsperioden bij wellicht ook hogere concentraties. De opgegeven detectielimiet van de radon-detectors van Gammadata is dan ook niet gehaald.

4.3.2 Afstand tot bouw materiaal

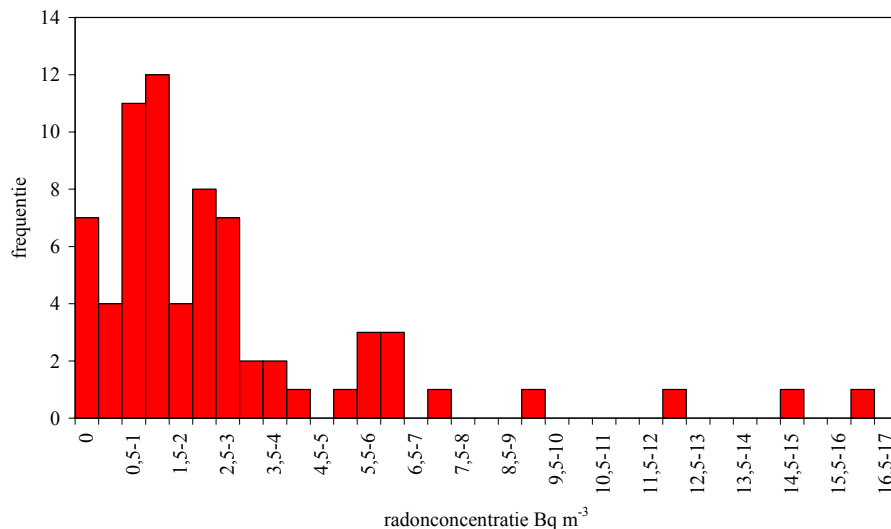
Als controle op een eventueel effect van straling direct vanuit de muur op danwel een bijdrage van ²²⁰Rn aan de meting met de radon-detector, is een opstelling gecreëerd waarmee op verschillende afstanden van de muur de radonconcentratie is gemeten (zie hoofdstuk 3.5). Voor de radon-detectors van Gammadata is hier geen significante afstandsafhankelijkheid gevonden (zie Tabel 6). Wèl zijn vrij grote variaties gevonden. De afstand van de radon-detector van Gammadata tot de muur is dus geen belangrijke parameter bij de vaststelling van de radonconcentratie. De afstandsafhankelijk voor de radon-detectors gebruikt in de vorige survey is (helaas) niet bepaald. Of de meetresultaten tijdens de vorige survey beïnvloed zijn door de aanwezigheid van thoron is niet bepaald. Er zijn echter aanwijzingen dat dit nabij een muur of ander bouw materiaal niet uitgesloten is.

Tabel 6 Radonconcentraties tijdens vergelijking van Gammadata en FzK detectors en afstand tot muur; de gemiddelden zijn steeds berekend over een 15-tal detectors, de standaard deviatie is die van de verdeling per afstand

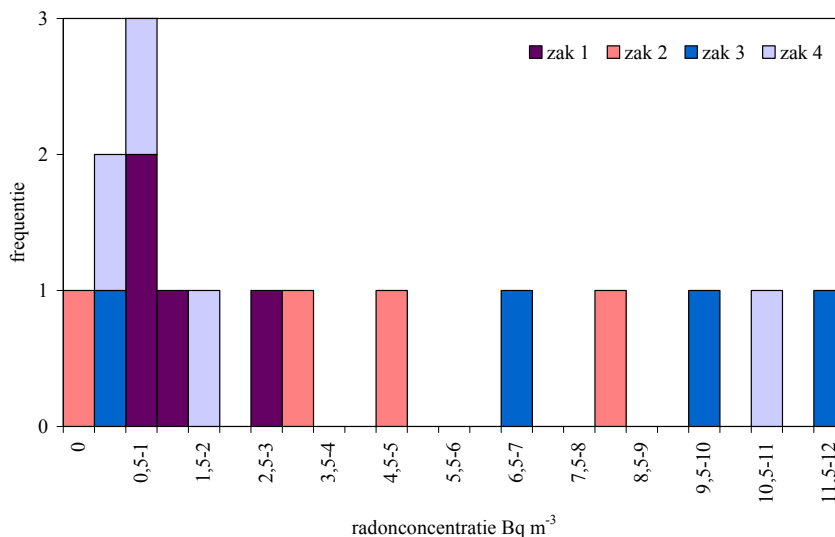
Afst.muur	Gammadata		FzK	
	Avg	Std	Avg	Std
0 cm	22,8	8,4		
10 cm	22,8	8,6		
35 cm	23,0	8,6		
50 cm	19,4	4,0	22,8	4,1

4.3.3 Effect verpakkingsmateriaal

Omdat het onderzoek gericht is op de radonconcentratie zoals die aanwezig is op de bemeten locatie, is het van belang de radon-detectors af te schermen van radon buiten die meetperiode. De detectors worden dan ook aangeleverd in een 'radondichte' aluminium verpakking. Na afloop van de meetperiode zijn de detectors weer in aluminium zakjes verpakt die vervolgens zijn geseald. Ter controle van de ondoorlatendheid van die verpakkingen voor radon zijn metingen gedaan aan detectors in beide verpakkingen (zie ook Tabel 1 en Tabel 2).



Figuur 18 Frequentieverdeling van radon-detectors verpakt in 'radon dicht' aluminium zakjes van Gammadata



Figuur 19 Gemeten radonconcentraties in een viertal aluminium (RIVM)retourzakjes; de verschillende kleuren geven de detectors per zakje

De verdeling van de meetresultaten (zie Figuur 18) doet vermoeden dat niet alle zakjes radondicht zijn. De gemeten concentraties zijn echter veelal onder het gegarandeerde detectieminimum van 5 Bq m^{-3} . Wel zijn er enkele hogere waarden die mogelijk duiden op een lek zakje.

Ter controle van de retourzakjes die gebruikt zijn voor het verpakken en terugzenden van de radon-detectors naar Zweden is een 16-tal detectors verdeeld over 4 aluminium zakjes. Zoals in Figuur 19 is te zien, zijn de concentraties in zakje 1 laag, in zakjes 2 en 3 verdeeld van $0-12 \text{ Bq m}^{-3}$ en in zakje 4 laag behalve één radon-detector die juist hoog zit.

Het lijkt onwaarschijnlijk dat in geval van zakje 4 de hoge waarde wordt veroorzaakt door een lek in het zakje. Dan zouden immers de drie andere -detectors ook hogere waarden moeten geven. Ook de zakjes 2 en 3 leveren wat dat betreft verdachte hoge en lage waarden door elkaar. Hier is nog nader onderzoek naar gaande.

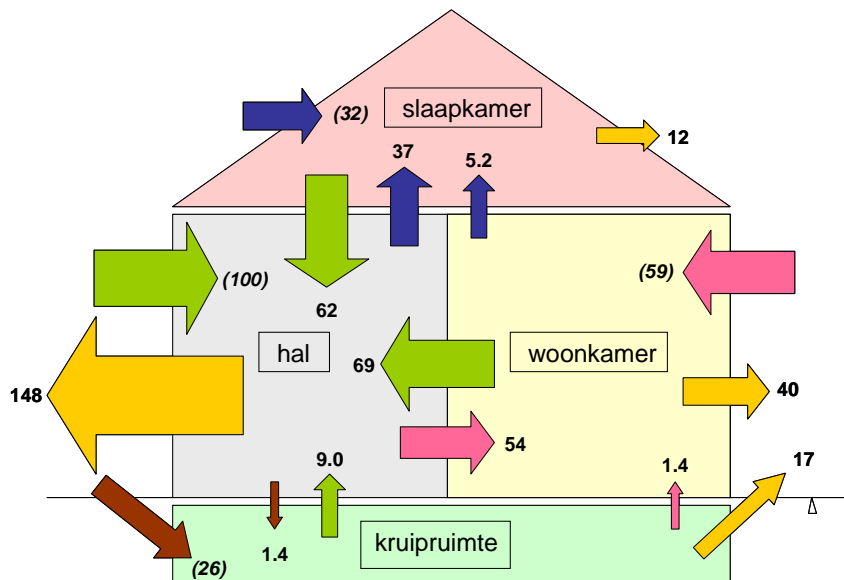
4.4 Ventilatie

Om een beter beeld te verkrijgen van de bronnen die de radonconcentratie in de woning bepalen, zijn ventilatiemetingen uitgevoerd. Een betere benaming zou zijn stromingsanalyse. De bedoeling van de metingen is namelijk om vast te stellen hoe groot de luchtstromen in de woning zijn, zodat kan worden ingeschat welk deel van de radon in bijvoorbeeld de woonkamer afkomstig is vanuit de kruipruimte (lees: bodem), de hal of een slaapkamer.

Er zijn twee typen ventilatiemetingen gedaan: (1) onderzoek met tracers in vier ruimten, de zogenaamde PFT-methode en (2) het doormeten van de aanwezige (mechanische) ventilatiesystemen.

4.4.1 De PFT-methode: Luchtuitwisseling tussen verschillende ruimten

Deze meetmethode heeft een groot aantal gegevens opgeleverd. Er zijn enkele analyseproblemen opgetreden waardoor de interpretatie van individuele woningen zeker op dit moment nog niet mogelijk



Figuur 20 Mediane luchtstromen in een eengezinswoning in m^3 per uur voor zover die met de PFT-methode zijn bepaald; de luchtstromen van buiten naar binnen zijn cursief en tussen haakjes weergegeven

is. Nader onderzoek is hiernaar nog gaande. Wel is het al mogelijk om meer globaal een inzicht te geven in de luchtstromen van bijvoorbeeld de eengezinswoning (zie Figuur 20).

De grootste luchtstromen binnen de woning zijn gevonden tussen woonkamer en hal en tussen slaapkamer en hal. De luchtstroom vanuit de kruipruimte naar de woning is beperkt. Deze luchtstroom komt, gezien de bijdrage die vooral naar de hal ($9 \text{ m}^3/\text{uur}$) plaatsvindt, waarschijnlijk via het kruipruimteluik of de meterkast de woning binnen. Conclusie is in ieder geval wel dat, in deze woningen uit 1994-2003, de bijdrage aan de radonconcentratie in de woonkamer van de bodem, via de kruipruimte, gering is en waarschijnlijk nog kleiner dan de 15% die in de vorige survey werd vastgesteld.

4.4.2 De mechanische ventilatiesystemen

De mechanische ventilatie komt in vrijwel alle woningen in de survey (fase 1) voor. Het type dat in het overgrote deel van de woningen is toegepast is het mechanische afvoer systeem, gecombineerd met natuurlijke toevoer. Het gaat dan veelal om een drie-standen systeem, waarbij de laagste stand geen uitstand is. In totaal is informatie over het ventilatiegebruik voor 288 woningen van de ruim 300 uit fase 1 beschikbaar:

- In 262 woningen draait de ventilatie minstens 12 uur/dag op de laagste stand, waarvan in 53 woningen uitsluitend in de laagste stand en in 127 woningen alleen voor koken en/of douchen in hogere stand.

Debietmetingen in woonkamers konden worden uitgevoerd in 202 woningen.

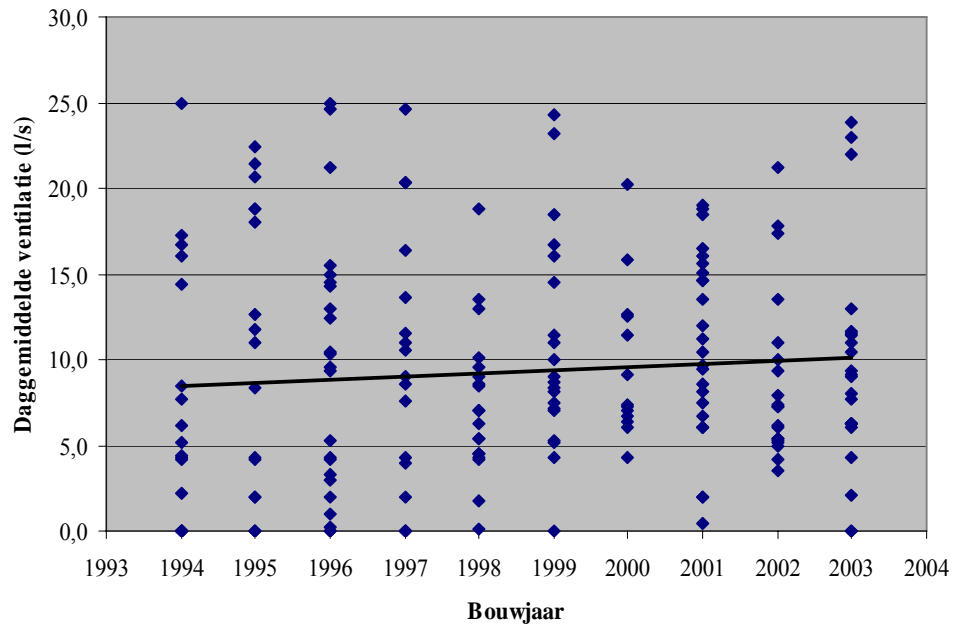
- In 22 woningen bleek het debiet in de laagste stand in de woonkamer 0 L/s of in ieder geval kleiner dan circa 1,5 L/s (detectielimiet), hetgeen waarschijnlijk duidt op een defecte of vervuilde afvoer

Tabel 7 Afvoeren via mechanische ventilatiesystemen in woningen (woonkamers) uit de survey

	Daggemiddelde	In laagste stand
Gemiddeld	9,3 L/s ($33,5 \text{ m}^3/\text{h}$)	8,3 L/s
Mediaan	8,4 L/s ($30,2 \text{ m}^3/\text{h}$)	7,0 L/s
5 percentiel	< 1,5 L/s	< 1,5 L/s
95 percentiel	21,6 L/s ($77,8 \text{ m}^3/\text{h}$)	19,0 L/s
Standaarddeviatie	6,5 L/s	5,8 L/s

De mediane waarde van ongeveer 30 m^3 per uur is in goede overeenstemming met de 40 m^3 per uur die uit de PFT-methode volgt, vooral als men zich realiseert dat er gedurende een deel van het jaar ook nog wel eens een raam open zal staan.

Uit nadere beschouwing blijkt dat er geen significante trend is waar te nemen van de toegepaste ventilatiedebieten over de nieuwbouwperiode 1994-2003 voor wat betreft de toegepaste mechanische systemen (zie Figuur 21).



Figuur 21 Daggemiddelde ventilatiedebiet (mechanische ventilatie) per bouwjaar; de aangegeven trend is niet significant

De niet-significante trend zou, voor zover aanwezig, eenvoudig verklaard kunnen worden door de achteruitgang van de luchtafvoer in de loop der tijd door het afgesloten raken van filters.

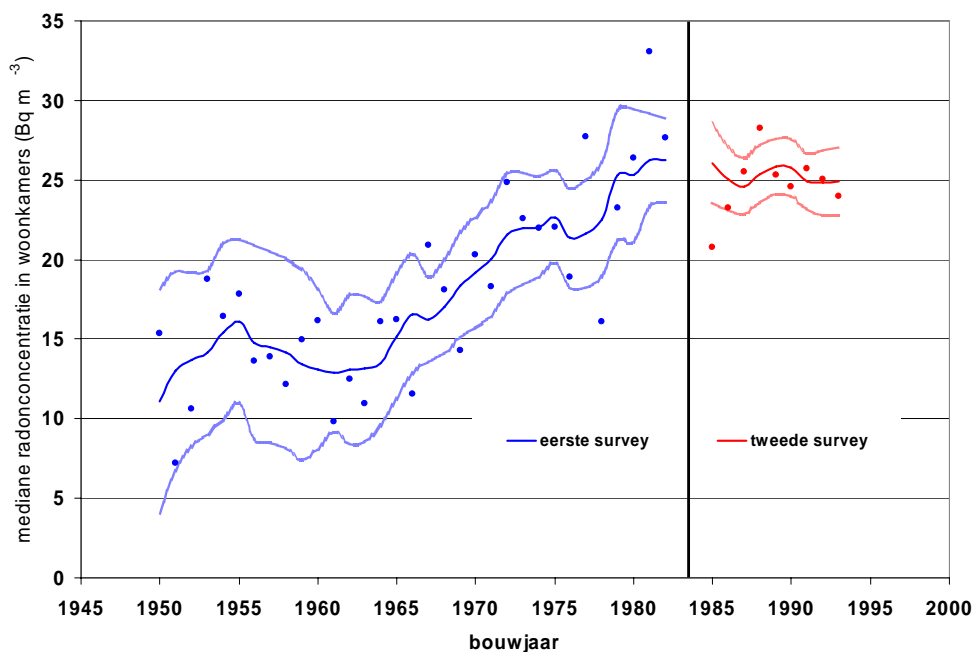
5 Voorlopige analyse van de stralingsbelasting in woningen en vergelijking met eerdere survey

De dosis waaraan een bewoner van een woning uit de surveyperiode wordt blootgesteld wordt bepaald door :

- Blootstelling aan radon
- Blootstelling aan thoron
- Blootstelling aan externe straling

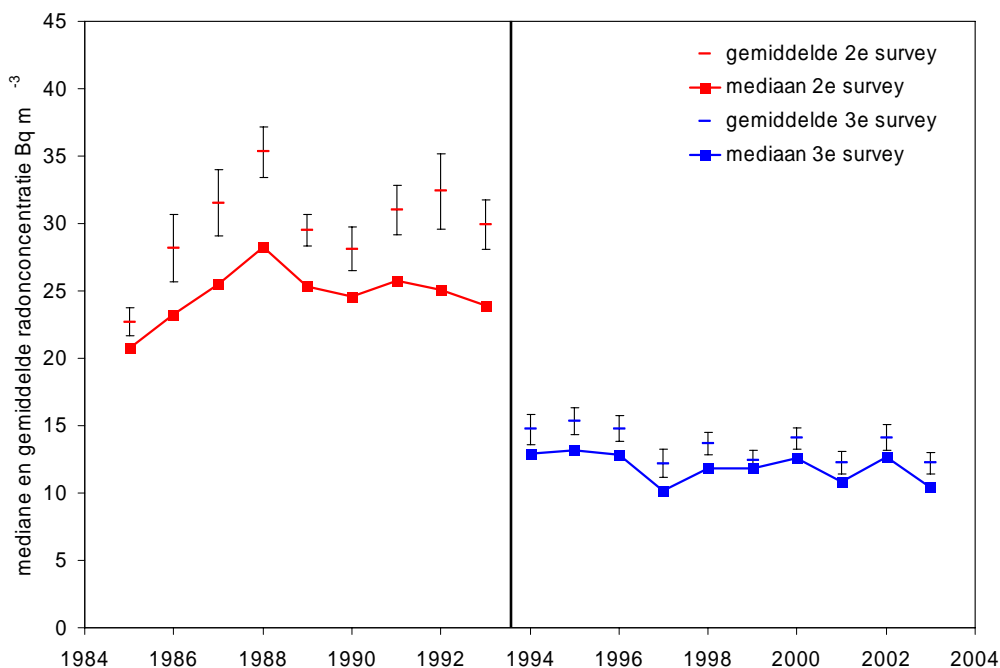
Radon

Tot nog niet zo lang geleden, werd er vanuit gegaan dat de bijdrage van thoron, aan de totale blootstelling aan radonisotopen, beperkt was. In de meeste ons omringende landen speelt thoron waarschijnlijk ook een relatief minder belangrijke rol. In die landen heeft de bodem een veel grotere invloed dan de bouwmaterialen en de thoronconcentratie wordt vooral door die bouwmaterialen bepaald. Tijdens de eerste survey is een duidelijke toename van de gemeten radonconcentratie vastgesteld. Tijdens de tweede survey was deze trend al grotendeels voorbij (zie Figuur 22). De radonconcentratie in de nieuwbouw uit de huidige (derde) survey is circa de helft van de concentratie volgens de vorige survey [2]. Gezien de afwezigheid van enige trend tijdens de huidige survey lijkt het onwaarschijnlijk dat er precies tussen beide surveys een ‘breekpunt’ (zie Figuur 23) is geweest waardoor deze radonconcentratie gehalveerd is.



Figuur 22 Naast de mediane radonconcentraties per jaar is ook het 5-jaar lopend gemiddelde +/- een standaarddeviatie (middelste en buitenste curven respectievelijk) weergegeven voor de eerste en tweede survey

Het lijkt meer voor de hand te liggen dat tijdens de vorige survey(s) behalve ^{222}Rn ook ^{220}Rn is gemeten. Dit wordt ondersteund door recente publicaties [14, 15, 16]. Ook worden elders vergelijkbare verschillen gevonden tussen de radonmetingen met FzK -detectors en Gammadata detectors. Omdat de concentratie van radon (^{222}Rn) half zo groot is als bij de vorige survey is gemeten, zal de dosis door radon ook ongeveer half zo groot zijn als die tijdens de vorige survey werd berekend. Voordat een nadere beschouwing kan plaatsvinden van de blootstelling van de gehele bevolking aan radon moet nader onderzoek plaatsvinden aan de meetmethode van de vorige survey.



Figuur 23 Gemiddelde en mediane radonconcentratie voor woningen uit de tweede en de huidige (derde) survey

Thoron

Thoron heeft door zijn korte halveringstijd van circa 55 seconden een veel minder homogene verdeling in de ruimte dan radon. In een woonkamer bijvoorbeeld zal de meeste thoron vooral nabij de muur (en eventueel plafond en vloer) aanwezig zijn. Bij een situatie waarin de lucht in de kamer vrijwel niet in beweging is, zal die concentratie binnen enkele centimeters van die muur tot honderden Bq m⁻³ kunnen oplopen. Ventilatie of beweging door bijvoorbeeld lopende personen kan een menging opleveren die een grillig concentratiepatroon in de woonkamer kan veroorzaken.

Evenals bij radon gaat het bij de dosis voor de mens door thoron vooral om de blootstelling aan de vervalproducten. Deze vervalproducten, waaronder het belangrijke ^{212}Pb , zijn verantwoordelijk voor de ontwikkeling van longkanker. Omdat ^{212}Pb een veel langere halveringstijd (meer dan 10 uur) heeft, zal de verdeling van dit radionuclide in de woonkamer sterk afwijken van die van ^{220}Rn . Naast een homogener verspreiding van ^{212}Pb is er sprake van hechting aan deeltjes in de lucht en zogenaamde plate-out, het deponeren op diverse oppervlakken (muren, meubilair). In tegenstelling tot bij radon is de concentratie in lucht van thoronvervalproducten (vooral ^{212}Pb) klein t.o.v. die van thoron zelf. Deze verhouding wordt ook wel de evenwichtsfactor genoemd. Bij radon ligt die rond de 0,4 in het binnenmilieu. Bij thoron ligt de evenwichtsfactor in het bereik 0,02-0,1 volgens de ICRP [17].

Gezien het gemeten verschil tussen FzK en Gammadata detectors zijn concentraties van thoron mogelijk in de orde van grootte $5\text{-}25 \text{ Bq m}^{-3}$. Dergelijke concentraties zijn nabij een muur zeer wel mogelijk en zelfs aan de lage kant. Met de relatief onzekere evenwichtsfactor betekent dit een evenwichtsconcentratie tussen $0,1\text{-}2,5 \text{ Bq m}^{-3}$ (= concentratie thoron \times evenwichtsfactor). Dit is tot 5x zo hoog als eerder aangenomen, maar zeer onzeker. Het thoronconcentratieprofiel nabij een muur is namelijk sterk afhankelijk van de menging van de lucht in de betreffende ruimte en natuurlijk van het type bouw materiaal of muurafwerking die de bron van de thoron vormen.

Als de in de vorige survey gemeten hogere waarde inderdaad door thoron werd veroorzaakt, is de dosis door thoron hierdoor vergelijkbaar met of zelfs hoger dan die door radon. De totale dosis door radon en thoron kan dan nog steeds gelijk zijn aan de dosis die eerder is berekend (zie bijvoorbeeld [4]). Het is daarom op dit moment niet goed mogelijk deze dosis nader te kwantificeren.

Externe straling door bouwmaterialen

De kosmische stralingscomponent in een woning bedraagt circa $0,20 \text{ mSv}$ per jaar. Dan blijft circa $0,54 \text{ mSv}$ per jaar over door vooral bouw materiaal bij een continue blootstelling. Dit komt overeen met eerdere berekeningen [6], en is iets hoger dan tijdens SAWORA [18] gemeten in woningen (ca. $0,38 \text{ mSv}$ per jaar op basis 80% verblijf binnenshuis ofwel $0,48 \text{ mSv}$ bij continue blootstelling)

De totale stralingsbelasting binnenshuis kan dus zowel zijn toegenomen als zijn afgenomen. Dat is het gevolg van de tamelijk onzekere bijdrage van thoron (^{220}Rn).

6 Conclusies en aanbevelingen

Uit waarnemingen en analyses is niet gebleken dat er in de, in het VERA-onderzoek onderzochte, nieuwbouwwoningen in de periode 1994-2003 sprake is van een trend in de stralingsbelasting. Er is echter een duidelijke trendbreuk met de gegevens van de vorige survey. Op dit punt is echter nog verder onderzoek nodig alvorens definitieve conclusies te trekken. Het lijkt waarschijnlijk dat in voorgaande surveys gebruikte radon-detectors gevoelig waren voor de gelijktijdige aanwezigheid van thoron, terwijl de in de huidige survey toegepaste detectors daarvoor niet gevoelig zijn.

Recente, deels gepubliceerde, deels nog ongepubliceerde analyses maken duidelijk dat enerzijds verschillende detectors met betrekking tot het meten van radon weliswaar in radonkalibratiekamers goed vergelijkbare resultaten geven, maar dat het mogelijk is dat in een omgeving waar behalve radon ook thoron aanwezig is de meetgevoeligheid aanmerkelijk kan verschillen. Deze verschillen treden vooral op indien er naast radon ook thoron in de ruimten aanwezig is. In landen waar de bodem een dominante rol speelt bij de radonconcentraties, zal het thoron doorgaans een ondergeschikte rol spelen omdat de tijd voor vrijkomen vanuit de bodem en diffusie naar de woonruimten veel groter is dan de halveringstijd van thoron van 55 seconden. Daardoor zal het thoron grotendeels zijn vervallen voor het in de woonruimten komt. Echter, in Nederlandse woningen zijn vooral de bouwmaterialen van belang voor radon en thoron concentraties, en daar komt het thoron direct in de woonruimten vrij, waardoor het mogelijk is dat de thoron concentraties vooral dicht bij de muren relatief groter zijn dan in woningen waar de bodem een dominante rol speelt. Voor de stralingsbelasting zijn niet radon en thoron zelf maar de radioactieve vervalproducten van radon en thoron van belang. Die producten zijn vaste stoffen, die zich in tegenstelling tot de radioactieve edelgassen radon en thoron, wel hechten aan stofdeeltjes en aldus in de longen worden ingevangen.

Bovenstaande maakt het op dit moment niet goed mogelijk om conclusies te trekken in de vergelijking met voorgaande surveys. Verder vergelijkend onderzoek op dit punt is nodig om een dergelijke analyse wel mogelijk te maken. Geadviseerd wordt het verdergaande onderzoek enerzijds te richten op een systematische analyse van de verschillen tussen verschillende detectors en/of detectoren, en anderzijds op de meting van radon en thoron in woningen uit verschillende bouwperiodes. Zo kunnen verschillen in woningen (o.a. uit verschillende bouwmaterialen opgetrokken en verschillend afgewerkt) in de tijd niet worden toegeschreven aan verschillen in radon-detectors.

Referenties

- [1] Put LW, Veldhuizen A, De Meijer RJ – Radonconcentraties in Nederland. Verslag van SAWORA-project A2, KVI report No. 111I, Groningen, 1985 (Eerste survey, huizen met bouwperiode tot 1985)
- [2] Stoop P, Glastra P, Hiemstra Y, de Vries L, Lembrechts J – Results of the second Dutch national survey on radon in dwellings, RIVM report 610058006, Bilthoven, 1998 (Tweede survey, huizen met bouwperiode 1985-1993)
- [3] Gezondheidsraad: Radon: toetsing rapport 'BEIR VI', Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; publicatie nr 2000/05.
- [4] Eleveld H – Ionising radiation in the Netherlands, RIVM Report 861020002, Bilthoven, 2003
- [5] Vaas LH, Kal HB, De Jong P, Slooff W – Basisdocument Radon, RIVM rapport 710401014, Bilthoven, 1991
- [6] Blaauboer RO, Pruppers MJM – Externe straling van bouwmaterialen: Resultaten van MARMER-berekeningen aan een referentiewoning, RIVM rapport 610050006, Bilthoven, 2000
- [7] Blaauboer RO – Opzet van het Ventilatie Radon onderzoek – VERA survey 2006, RIVM rapport 610790002/2007, Bilthoven, 2007
- [8] Durrani SA, Ilić R (eds.) – Radon measurements by etched track detectors. ISBN 9810226667, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 1997
- [9] Dietz RN, Cote EA – Air infiltration measurements in a home using a convenient perfluorocarbon tracer technique, Environment International, Vol.8, pp. 419-433 (1982)
- [10] Leaderer BP, Schaap L, Dietz RN – Evaluation of the perfluorocarbon tracer technique for determining infiltration rates in residences, Environmental Science and Technology, Vol. 19, No. 12, pp. 1225-1232 (1985)
- [11] Informatie verschaft op 1 juni 2007 door ing. HJ de Jong, Lichtveld Buis & Partners BV, Nieuwegein
- [12] Howarth CB, Miles JCH - Results of the 2003 NRPB Intercomparison of Passive Radon Detectors, Report HPA-RPD-027, Health Protection Agency, Chilton, Didcot, UK (2007)
- [13] Howarth CB - Results of the 2004 NRPB Intercomparison of Passive Radon Detectors, Report HPA-RPD-028, Health Protection Agency, Chilton, Didcot, UK (2007)
- [14] Vargas A, Ortega X – Influence of environmental changes on integrating radon detectors: results of an intercomparison exercise, Radiat.Prot.Dosim. 123(4), pp. 529-536 (2007)
- [15] Tokonami S – International Congress Series 1276, pp. 151-154 (2005)
- [16] Urban M – Passive one-element track etch dosimeter for simultaneous measurement of radon, thoron and decay products in air, Nuclear Tracks, Vol. 12 (1-6): 685-688 (1986)
- [17] ICRP – Lung cancer risk from indoor exposures to radon daughters, Publication nr. 50, Pergamon Press, Oxford (1987)
- [18] Julius HW, Van Dongen R - Stralingsbelasting van de bevolking en stralingsniveaus in het binnenmilieu in Nederland t.g.v. natuurlijke gammabronnen, Rapportage SAWORA-projecten A1.1 en A1.2. Rapport nr. 10 in de reeks Stralenbescherming van het Ministerie van VROM, Leidschendam (1985)