

*rivm*

Rapport 610790002/2008

R.O. Blaauboer

## Opzet van het Ventilatie Radon- onderzoek

VERA-survey 2006



RIVM Rapport 610790002/2008

## **Opzet van het Ventilatie Radon-onderzoek** VERA-survey 2006

Dit rapport bevat een erratum d.d. 27-10-2010

R.O. Blaauboer

Contact:

R.O. Blaauboer

Laboratorium voor Stralingsonderzoek

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, 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

### **Opzet van het Ventilatie Radon-onderzoek VERA-survey 2006**

Het RIVM heeft in 2006 een onderzoek (survey) in nieuwbouwwoningen uitgevoerd. Hierbij zijn in het bijzonder de radonconcentratie, externe stralingsniveaus en de ventilatie gemeten. Dit rapport beschrijft de opzet van dit onderzoek. In een vervolgrapport zullen de resultaten worden toegelicht.

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.

In eerder onderzoek is geconcludeerd dat de radonconcentratie in nieuwbouwwoningen uit de periode 1970-1990 is toegenomen. Het ministerie van VROM heeft in een convenant met de bouwwereld afgesproken dat de stralingsbelasting ten gevolge van de blootstelling aan radon en externe straling vanuit de bouwmaterialen niet verder mag toenemen. Het RIVM is gevraagd ter vaststelling van de situatie in de huidige nieuwbouw (nulpunt) een survey uit te voeren.

Trefwoorden: radon, survey, externe straling, ventilatie, nieuwbouw, meetmethode

# Abstract

## **Set-up of the Ventilation Radon survey**

### **VERA survey 2006**

In 2006, RIVM has conducted a survey in newly built houses. The focus in this survey was on measuring the radon concentration, external radiation and the ventilation of these dwellings. The present report describes the set-up of this survey. Results of the survey will be published in a future report.

Exposure to indoor radiation is held accountable for nearly half of the total average radiation dose received annually by Dutch citizens. The indoor radiation dose can be largely attributed to inhalation of radioactive decay products of radon and thoron. Radon and thoron are generally present in soil and building materials. Because of their gaseous nature, some of it emanates into the dwelling. Another contribution to the radiation dose originates from gamma radiation from building materials and the soil.

Previous studies have led to the conclusion that radon concentrations in newly built dwellings from 1970-1990 have increased. The Ministry of Spatial Planning and the Environment (VROM) has made an agreement with the building industry to bring to a hold the further rise in radiation dose due to exposure to radon and external radiation from building materials. They commissioned RIVM to conduct this survey to assess the present situation.

Keywords: radon, survey, external radiation, ventilation, newly built dwellings, measuring

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1	Probleemstelling	7
1.2	Doelstelling	7
1.3	Vraagstelling	7
<b>2</b>	<b>Onderzoeksplan</b>	<b>9</b>
2.1	Onderzoek van stralingsbelasting in nieuwbouw	10
2.2	Onderzoek aan ventilatie van de nieuwbouwwoning	11
2.3	Analyse, interpretatie en integratie van meetgegevens	13
2.4	Rapportage van onderzoeksresultaten	13
<b>3</b>	<b>Aanpak en fasering</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Methoden</b>	<b>17</b>
4.1	Selectie leveranciers	17
4.2	Radon	18
4.3	Externe straling	19
4.4	Ventilatie	20
4.4.1	PFT-metingen	20
4.4.2	Meting mechanische ventilatiesysteem	21
4.5	Controlemetingen	22
4.6	De enquête	23
<b>5</b>	<b>Opbouw van de steekproef</b>	<b>25</b>
5.1	Omvang	25
5.1.1	Grootte van de steekproef	25
5.1.2	Verdeling over het land	25
5.2	Representativiteit	26
5.2.1	Type woning	26
5.2.2	Jaar van oplevering	29
<b>6</b>	<b>Werving van deelnemers</b>	<b>31</b>
6.1	Aanvulling van adressenbestand	31
6.2	Fase 1	31
6.2.1	Aanschrijving potentiële deelnemers	31
6.2.2	Het belteam	31
6.3	Fase 2	32
6.3.1	Aanschrijving potentiële deelnemers	32
6.3.2	Verzending radondetectors	32
6.4	Nadere communicatie met deelnemers	32
<b>7</b>	<b>Plaatsen van de apparatuur</b>	<b>33</b>
7.1	Fase 1	33
7.2	Fase 2	33
<b>8</b>	<b>Ophalen van apparatuur</b>	<b>35</b>
8.1	Fase 1	35
8.2	Fase 2	35

<b>9</b>	<b>Conclusies</b>	<b>37</b>
	<b>Bijlage 1 In survey toegepaste enquête</b>	<b>39</b>
	<b>Bijlage 2 Registratieformulier</b>	<b>49</b>
	<b>Referenties</b>	<b>53</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

In nieuwbouwwoningen is de radonconcentratie in de periode van begin jaren zeventig tot begin jaren negentig van de vorige eeuw toegenomen van  $20 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  tot  $30 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  [1, 2]. Onduidelijk is in welke mate deze toename veroorzaakt wordt door een verminderde afvoer van radon, door verminderde ventilatie en/of door veranderingen in gebruikte bouwmaterialen en bouwwijzen. Ook andere gezondheidsproblemen in relatie tot het binnenmilieu hangen veelal samen met de ventilatie van de woning, waarbij zowel aanwezigheid als gebruik van ventilatievoorzieningen van groot belang zijn.

## 1.2 Doelstelling

De overheid heeft het beleidsuitgangspunt geformuleerd om te komen tot een *stand still* van de stralingsbelasting in Nederlandse nieuwbouwwoningen. De stralingsbelasting in de woning wordt voor ongeveer twee derde veroorzaakt door de radonconcentratie en voor een derde door de externe straling vanuit bouwmaterialen. Voor een goede evaluatie van oorzaken van mogelijke veranderingen of verschillen in de stralingsbelasting in woningen is het nodig inzicht te verkrijgen in de gerealiseerde ventilatie van de woning. Kennis van de ventilatie van de woning is tevens van groot belang bij de analyse van de kwaliteit van het binnenmilieu in relatie tot andere agentia.

## 1.3 Vraagstelling

Om na te gaan of het uitgangspunt van een *stand still* voor de stralingsbelasting wordt gerealiseerd, en om na te gaan in welke mate de ventilatievoorzieningen en het ventilatiegedrag hierbij van belang zijn, is een survey ingericht voor nieuwbouwwoningen, met als hoofdvragen:

- Wat is de ontwikkeling van de radonconcentratie en externe straling in nieuwbouwwoningen in Nederland?
- Wat is de bijdrage van buitenlucht, kruipruimte en bouwmaterialen aan de radonconcentratie in de woonkamer?
- Wat is de effectieve ventilatie in relatie tot de kwaliteit van het binnenmilieu in het algemeen en wat zijn de optredende radonconcentraties in het bijzonder, ofwel: hangt een eventuele verandering in de radonconcentratie samen met gewijzigde ventilatie, of met wijzigingen in de bronterm uit bouwmaterialen?
- Is er, wat betreft de radonconcentratie, onderscheid te maken naar het type woning?
- Hoe hangt de (effectieve) ventilatie van de woonkamer en hoofdslaapkamer samen met het type woning, het toegepaste ventilatiesysteem, het door bewoners aangegeven gedrag met betrekking tot ventilatie en het gebruik van het ventilatiesysteem, en eventuele andere factoren (zie de enquête in Bijlage 1)?





## 2 Onderzoeksplan

Het voorliggende onderzoeksvoorstel sluit zo goed mogelijk aan op eerder uitgevoerde surveys [1, 2] naar de radonconcentratie in het binnenmilieu, en bij een parallel uitgevoerd explorerend onderzoek naar de kwaliteit van het binnenmilieu in de Nederlandse woningvoorraad, als neergelegd in een onderzoeksplan in het kader van het zogeheten Actie-29 programma [3].

Twee voorgaande radonsurveys hebben inzicht gegeven in de radonconcentratie in Nederlandse woningen van voor 1994. Het VERA-onderzoeksprogramma<sup>1</sup> richt zich in de eerste plaats op een evaluatie van de stralingsbelasting en de ventilatie in woningen die gebouwd zijn vanaf 1994. Hierbij is een opdeling van het onderzoek voorzien: allereerst een survey onder circa 300 woningen die gebouwd zijn in de periode 1994-2003 in 2006, en dan drie driejaarlijkse kleinere surveys met elk circa 100 woningen in 2008, 2011 en 2014. Met betrekking tot de belangrijkste component in de stralingsbelasting, de radonconcentratie, wordt gezorgd voor een goede aansluiting bij de metingen uit de voorgaande radonsurvey uit 1995 met woningen uit de periode 1984-1993. Deze survey kan qua radonconcentratie als ijkpunt kan dienen voor de *stand still* op dit punt. Voor de externe straling- en ventilatiemetingen zal de eerste survey in 2006, met nieuwbouwwoningen uit de periode 1994-2003 als uitgangspunt moeten dienen, omdat de voorgaande survey geen volledig ijkpunt levert. Bezien zal worden of de beperkte informatie over luchtuitwisseling die verkregen is in de survey uit 1995, in combinatie met de gegevens uit de eerste VERA-survey gebruikt kan worden voor een analyse met betrekking tot de effectieve ventilatie van de woonkamer in de woningen uit de periode 1984-1993.

Op hoofdlijnen omvat het onderzoek voor de eerste VERA-survey in 2006 de volgende meetprogramma's:

- circa 300 woningen met een intensief meetprogramma waar in vier ruimten radon, externe straling en luchtuitwisseling is gemeten (fase 1-onderzoek), en
- aanvullend circa 800 woningen met een beperkt meetprogramma van de radonconcentratie in de woonkamer (deze optie uit het projectplan kon door de eenvoud van de benodigde werkzaamheden door de bewoners zelf worden uitgevoerd via een mailing), ook wel het fase 2-onderzoek genoemd.

Het intensieve meetprogramma moet daarbij inzicht geven in de effectieve ventilatie van de woonkamer en hoofdslaapkamer, alsmede in de van bouwmaterialen afkomstige bronterm voor radon in deze ruimten. Voor beide meetprogramma's is een meetperiode van één jaar noodzakelijk, hetgeen aansluit bij de eerdere radonsurveys.

De wens was om zo goed mogelijk aan te sluiten op het onderzoeksprogramma in het kader van Actie 29. Gezien de eisen die gesteld worden aan de aard en omvang van de steekproef voor radonmetingen en de meetduur (zie ook onder 2.1) is het niet mogelijk het gehele onderzoek in dit programma te integreren. Wel is er een duidelijke aansluiting van de VERA-survey bij het Actie 29-programma:

- In beide onderzoeken is de aandacht gericht op het kwantificeren van (een of meer) binnenmilieu parameters.
- In beide onderzoeken wordt het functioneren van de ventilatiesystemen in kaart gebracht.

---

<sup>1</sup> VERA=Ventilatie Radon

Voorgesteld was, om een nog verdere aansluiting tussen beide onderzoeken te realiseren door de woningen uit de deelpopulatie van Actie 29, die gebouwd zijn na 1993 (ca. 150 stuks), ook te betrekken in de hier beschreven VERA-survey. Dit zou de mogelijkheid bieden om meer relaties te leggen. Vanwege onder andere privacyredenen (van de potentiële deelnemers) is een koppeling van deze onderzoeken op deze termijn echter niet meer mogelijk gebleken.

Overigens zijn de woningen in de survey zoveel mogelijk representatief getrokken uit het bestand van de nieuw gebouwde woningen in de periode 1994-2003. Daarbij is een clustering van geselecteerde woningen uitgevoerd (per bouwgemeente) om het uitzetten en terughalen van onder andere meetapparatuur zo kosteneffectief mogelijk uit te voeren (zie hoofdstuk 5).

Het onderzoek is ruwweg in te delen in vier onderdelen: het onderzoek naar radon en externe straling in de woningen (2.1), de ventilatiemetingen in de woningen (2.2), de analyse van de meetresultaten en vergelijking daarvan met ander uitgevoerd onderzoek (2.3), zoals vorige surveys en ten slotte de rapportage (2.4). Deze vier onderdelen worden hierna nader toegelicht. Opgemerkt moet worden dat de onderdelen 2.1 en 2.2 volledig geïntegreerd worden uitgevoerd. Dit draagt bij aan een kosteneffectieve en optimaal afgestemde uitvoering, met betrekking tot halen en brengen van apparatuur en het uitvoeren van enquêtes en waarborgt dat bij de interpretatie en analyse van de resultaten een zo volledig mogelijk beeld van de gegevens mogelijk is.

## 2.1 Onderzoek van stralingsbelasting in nieuwbouw

In de eerste nationale (radon)survey uit 1985 [1] is een onderzoek verricht naar het gehele op dat moment bestaande woningbestand (tot 1984). In de tweede survey zijn de woningen uit de periode 1984-1993 onderzocht. Van deze bestaande bouw is dus inmiddels een overzicht verkregen. In de nieuwe survey komen dan ook alleen de nieuwere woningen, gebouwd in de periode 1994-2003, aan bod. In deze periode zijn ongeveer 800.000 woningen<sup>2)</sup> gebouwd. Voorgesteld is een significante steekproef (dat wil zeggen een steekproef die een afwijking ten opzichte van de vorige survey significant zichtbaar kan maken) van circa 300 woningen uit die periode te onderzoeken. Met dit aantal onderzochte woningen is een minimale verandering van de gemiddelde radonconcentratie van circa  $1,8 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  [4] vast te stellen ten opzichte van de gemiddelde concentratie in de vorige survey. Het gaat dan specifiek om de gemiddelde radonconcentratie in de woonkamer. Indien ook voor verschillende woningtypen onderscheid dient te worden gemaakt, is een aantal woningen van 1000 een minimum. Vervolgens kan in kleinere surveys van bijvoorbeeld honderd woningen per periode van drie jaar gekeken worden naar de ontwikkeling van de radonconcentratie in (nog te bouwen) nieuwbouw. Op termijn, bijvoorbeeld negen jaar, groeit dan ‘vanzelf’ een nieuwe steekproef van 300 woningen. De significantie waarmee dan veranderingen kunnen worden vastgesteld, is natuurlijk wel afhankelijk van de dan optredende concentraties.

Het huidige projectvoorstel betreft in eerste instantie de eerstgenoemde steekproef van 300 woningen. De significante afwijking van de gemiddelde radonconcentratie van de survey die met een dergelijke vervolgsurvey nog kan worden vastgesteld bedraagt echter meer dan  $2,25 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Omdat de radonconcentratie in de woning (maar ook buiten) kan wisselen onder invloed van bijvoorbeeld ventilatie, temperatuursverschillen en de seizoenen, is het voor een representatief beeld van belang om een meetduur van een jaar aan te houden.

De radonmetingen (met passieve radondetectors) en overige onderzoeken zullen als volgt verdeeld zijn:

---

<sup>2)</sup> Volgens CBS, StatLine (feb.2004)

- 300 woningen uit periode 1994-2003: metingen in woonkamer, kruipruimte, hal en één slaapkamer (in deze woningen worden ook ventilatiemetingen uitgevoerd) (fase 1 van het onderzoek);
- als extra 800 woningen uit periode 1994-2003: metingen alleen in woonkamer (fase 2-onderzoek).

Naast de radonmetingen zijn er nog andere metingen:

- meting van het dosistempo door externe straling vanuit de bouwmaterialen (fase 1-onderzoek). Hiertoe kunnen de radondetectors<sup>3)</sup> bijvoorbeeld worden uitgerust met TLD's, maar is het ook mogelijk deze separaat in de woning aan te brengen (zie ook 4.3);
- enquête naar woningspecificaties en bewonersgedrag, ook ten aanzien van gebruik van ventilatievoorzieningen en ventilatie (zie ook 2.2);
- ventilatiemetingen - meting van mechanische ventilatiesystemen en vaststelling van de luchtstromen binnen de woning tijdens het jaar;
- temperatuurmetingen – sommige van de te gebruiken methoden hebben een temperatuursafhankelijkheid;
- buitenmetingen van radonconcentratie ter bepaling van de achtergrond – de gemiddelde radonconcentratie in de buitenlucht kan per jaar verschillen, afhankelijk van bijvoorbeeld meteorologische omstandigheden; indien deze metingen worden gekoppeld aan locaties van het NMR (Nationaal Meetnet Radioactiviteit) is ook een correlatie met deze langjarige metingen mogelijk; concentraties in het binnenmilieu kunnen dan gecorrigeerd worden naar het langjarig gemiddelde (zoals dat ook bij de vorige survey heeft plaatsgevonden);
- nulmetingen, referentiemetingen in het laboratorium, ter controle van de batches toegepaste radondetectors.

Primaire uitkomsten: radonconcentratie in de woonkamer en overige doorgemeten ruimten in nieuwbouwwoningen en een directe vergelijkbaarheid hiervan met survey uit 1995 (tweede survey [2]). Tevens wordt een overzicht verkregen van de bijdrage aan het dosistempo door externe straling in nieuwbouw.

## 2.2 Onderzoek aan ventilatie van de nieuwbouwwoning

In de vorige survey is met behulp van tracergas (PFT-metingen) onderzoek verricht naar de uitwisseling van lucht tussen de verschillende ruimten (ventilatiemetingen), en daaruit is afgeleid hoe de relatieve bijdragen van radon in de woning vanuit bouwmaterialen, buitenlucht en kruipruimte (bodem) zich verhielden. Daarbij is toen een gemiddelde verhouding 70:15:15 vastgesteld voor de bijdragen van respectievelijk bouwmaterialen, bodem en buitenlucht. Om de absolute bijdrage van bijvoorbeeld bouwmaterialen uit verschillende ruimten beter te kunnen kwantificeren zijn ventilatiemetingen in meer ruimten nodig.

De ventilatie van een woning is een ingewikkeld proces, waarbij alle luchtstromen die in en door de woning plaatsvinden een rol kunnen spelen. Deze luchtstromen kunnen in tijd en plaats sterk variëren. Met name het onderscheid tussen interne luchtuitwisseling (tussen verschillende ruimten binnen de woning) en externe luchtuitwisseling (tussen de woning en buitenlucht of kruipruimte) is van belang bij het analyseren van de effectieve afvoer van bronnen die in het binnenmilieu aanwezig zijn. De externe

---

<sup>3</sup> Een radondetector wordt gebruikt voor het meten van radon; een dergelijke detector bestaat uit een doosje met daarin een folie waarin radon en vervalproducten een spoor achterlaten; het aantal sporen is een maat voor de radonconcentratie.

luchtuitwisseling is het belangrijkste bij de analyse van de kwaliteit van het binnenmilieu in relatie tot de in de woning aanwezige bronnen. De externe luchtuitwisseling kan plaatsvinden door bedoelde mechanische ventilatie, door bedoelde ventilatie middels het openen van ramen en ventilatieroosters, en door onbedoelde ventilatie via te openen deuren, en via naden en kieren in de gebouwschil. In dit onderzoek is gekozen voor het in kaart brengen van de effectieve uitwisseling tussen verschillende aangrenzende ruimten in de woning en met de buitenlucht gedurende een vol meetjaar middels het plaatsen van PFT-bronnen en bijbehorende concentratiemetingen in een viertal ruimten. Dit levert inzicht in de gerealiseerde ventilatie van de woonkamer en de hoofdslaapkamer. In aanvulling daarop wordt nagegaan welke bijdrage de mechanische ventilatiesystemen in de woning kunnen hebben aan de ventilatie van de woning. Daartoe wordt enerzijds een meetprogramma uitgevoerd dat de capaciteit van het mechanische ventilatiesysteem nagaat in de verschillende gebruiksstanden, en anderzijds wordt de bewoner in een enquête gevraagd naar het gebruik van het systeem en naar overige gedrag ten aanzien van ventilatie.

Dit type onderzoek vraagt om een uitgebreider onderzoeksopzet, waarvoor Lichtveld Buis & Partners (LBP) een bijdrage heeft geleverd [5] en waarvan de belangrijkste onderdelen hier zijn ingevoegd.

Uitvoeren van dit onderzoek levert tevens een basis of ijkpunt voor de gerealiseerde ventilatie en ventilatiecapaciteit van de woning en hoe de ventilatie zich in de praktijk ontwikkelt. Naast ventilatiemetingen (luchtstroom metingen) van de kruipruimte zijn dan ook radonconcentratiemetingen in de kruipruimte nodig.

Ventilatie is niet alleen in verband met radon van belang. Om die reden is een aansluiting bij het eerdergenoemde Actie 29-programma ook zeer gewenst.

Omdat ventilatie afhankelijk is van zowel gebouweigenschappen (luchtdichtheid bouwschil, mechanisch ventilatiesysteem) als bewonersgedrag (wijze en frequentie van ventilatie met deuren en ramen, en gebruik van ventilatiesystemen), is een nader inzicht in deze factoren van belang. Het uitvoeren van metingen aan het mechanische ventilatiesysteem en de luchtdichtheid van de begane-grondvloer (dit laatste punt wordt nader onderzocht binnen het Actie 29-programma) en het meeliften met de enquête onder bewoners levert hier dan ook een meerwaarde op.

Net als de radonconcentratie is het ventilatietempo aan wisselingen onderhevig, waarbij zeker ook de seizoenen een rol spelen. Om in combinatie met de radonmetingen iets te kunnen zeggen over de bronnen van radon (buitenlucht, kruipruimte en bouwmaterialen) dienen deze metingen ook gedurende een heel jaar plaats te vinden. Voor het onderzoeken van de mechanische ventilatiesystemen lijkt dit niet haalbaar en wordt slechts de te behalen ventilatiecapaciteit gemeten, om een indruk te krijgen van de basisventilatie van de woning.

De ventilatiemetingen (met PFT-tracergas) en overige onderzoeken zullen als volgt verdeeld zijn over de steekproef:

- analyse van luchtstromen vanuit en naar de woonkamer en één slaapkamer in 300 woningen (zie ook 2.1) op basis van PFT-bronnen in vier ruimten in de woning: woonkamer, kruipruimte, hal en één slaapkamer;
- instantane metingen aan mechanische ventilatiesysteem;
- enquête over gebruik van ventilatiesysteem.

Getracht is hier om een zo groot mogelijke overlap met woningen uit het Actie 29-programma te realiseren, zodat bijvoorbeeld gegevens uit dat programma over luchtdoorlatendheid van de begane grondvloer meegenomen konden worden. Vanwege vooral privacykwesties is dit niet gelukt.

Belangrijkste uitkomsten: inzicht in de effectieve overdracht vanuit en naar woonkamer en slaapkamer en in de rol van mechanische ventilatie met betrekking tot aan- en afvoer van lucht uit de woonkamer. Tevens wordt bij een deelbestand van de woningen een beter zicht gekregen op de luchtdichtheid van de begane grondvloer en/of gebouwschil. Het geheel moet de voor woonkamer en hoofdslaapkamer

relevante effectieve ventilatie opleveren, alsmede inzicht in de mogelijke bijdrage van mechanische ventilatiesystemen in de effectieve ventilatie, mede in relatie tot door de bewoners gerapporteerd gebruik van de systemen en overige relevante bouwkundige kenmerken van de woning (met name luchtdoorlatendheid van de beganegrondvloer en de gebouwschil).

## 2.3 Analyse, interpretatie en integratie van meetgegevens

De analyse van de meetgegevens vraagt naast uitlezing van de diverse apparatuur om een inhoudelijke vergelijking met andere gegevens en interpretatie van de resultaten. De verdeling van de uit te voeren analyses is als volgt:

- de uitlezing van radondetectorfolies (radonconcentratie), TLD-chips (externe straling) en tracergasreceptorbuisjes (PFT-ventilatiemetingen);
- de bepaling van de gemiddelde radonconcentratie in woonkamer, slaapkamer, hal en kruipruimte (op basis van 300 woningen);
- als extra, de bepaling van de gemiddelde radonconcentratie in woonkamer (op basis van 800 woningen via mailings);
- de bepaling van de relatieve bijdragen van bouwmaterialen, kruipruimte en buitenlucht aan radonconcentratie in woonkamer en slaapkamer (uit ventilatie- en radonmetingen);
- bepaling van effectieve exhalatiebronterm in woonkamer en slaapkamer (statistische analyse van gegevens);
- analyse van gegevens met betrekking tot ventilatie en uitwisseling tussen ruimten in relatie tot gegevens uit voorgaande survey (NB. gelet op lager aantal doorgemeten ruimten is het niet zeker dat dit tot een echte analyse van veranderingen in de effectieve woningventilatie kan leiden);
- vergelijking van radonconcentraties en bijdragen van verschillende bronnen met gegevens uit eerder uitgevoerde radonsurveys

## 2.4 Rapportage van onderzoeksresultaten

Het totaal aan methodenbeschrijvingen, gegevens, resultaten en analyses van de survey voor ventilatie- en radonmetingen zal worden gerapporteerd. Vooralnog lijkt hierbij een splitsing in ten minste drie documenten gewenst:

- Een rapport met de opzet van de survey; dit is het onderhavige rapport. Hierin staat een verantwoording voor de opzet van het totale onderzoek en een beschrijving van de toegepaste methoden.
- Een tweede rapport, het hoofdrapport waar het gaat om de uit het oogpunt van de hoofdvragen van het onderzoek relevante implicaties. Dit is een rapport op hoofdlijnen, met de belangrijkste resultaten en conclusies van het onderzoek. Dit wordt geen omvangrijk rapport en kan eventueel dienst doen als basis voor voorlichtingsmateriaal.
- Een derde en laatste rapport kan dan alle relevante analyses en achterliggende resultaten bevatten, een technisch document.

Naast de genoemde rapporten die een meer geïntegreerd beeld zullen geven van het onderzoek zullen ook de bewoners worden geïnformeerd over de resultaten voor hun specifieke woning.

De genoemde rapporten zullen ook beschikbaar komen via de website van het RIVM.

### 3 Aanpak en fasering

De survey voor nieuwbouw lijkt in het aantal te onderzoeken woningen op de vorige survey. Daarom volgt de voorgestelde aanpak ook grotendeels dat onderzoek. In Tabel 1 is een schematische weergave van de benodigde activiteiten met een korte toelichting opgenomen.

Ruwweg zijn er drie fasen te onderscheiden:

- Voorbereiding (2004/2005)
- Uitvoering (2006)
- Analyse en rapportage (2007)

Tabel 1 Schematische weergave van de belangrijkste activiteiten binnen de survey

Hoofdactiviteit	Korte beschrijving	Periode
Projectplan	Opzet projectplan voor survey	2004
Aanbesteding	Europese aanbesteding ventilatiemetingen 3-offertestelling Rn- en TLD-metingen	Jan-Sep 2005
Overige voorbereiding	Bestelling apparatuur Nemen van steekproef en aanvulling adresbestand Contact met potentiële deelnemers	Jun-Sep 2005
Plaatsingsronde	Opleiding plaatsers Uitrijden apparatuur en registratie (1 <sup>e</sup> fase)	Dec 2005 – Jan 2006
	Verzenden apparatuur (2 <sup>e</sup> fase)	mei 2006
Additionele informatie	Ontwikkeling database Voorbereiding analyses Additionele metingen	2006 (tijdens survey)
Ophaalronde	Opleiding ophalers Ophalen apparatuur en registratie Enquête Apparatuur retour zenden naar producent voor uitlezing	Dec 2006 – Jan 2007 (1 <sup>e</sup> fase) en Mei 2007 (2 <sup>e</sup> fase)
Analyse	Analyse resultaten	Feb/Mrt – Aug 2007
Rapportage	Verslaglegging van de opzet van het onderzoek (huidige rapport)	Eind 2006 – begin 2007
	Verslaglegging onderzoek in een hoofdlijnenrapport en een achtergrond (detail) document	Sep-Okt 2007

Allereerst zijn na vaststelling van een definitief onderzoeksplan met de opdrachtgever (VROM/SAS) (onderzoeks)woningen geselecteerd, contracten afgesloten, bestellingen van producten geplaatst en de meetapparatuur in gereedheid gebracht. In het tweede deel van het onderzoek, dat ongeveer een jaar heeft geduurd (meetapparatuur dient een jaar aanwezig te zijn op locatie), zijn de radondetectors, PFT-buisjes voor tracergasverspreidingsexperimenten en TLD-chips geplaatst in de woningen en zijn de karakteristieken van de onderzochte gebouwen (zoals type woning, bouw materiaalgebruik, type



ventilatiesysteem etc.) via een (vragenlijst)onderzoek verzameld. Tevens is bij het ophalen van de apparatuur het mechanische ventilatiesysteem (voor zover aanwezig) doorgemeten.

Na een periode van aanwezigheid in de woningen worden de detectors en andere apparatuur weer opgehaald (fase 1-woningen) of teruggezonden door de bewoners (fase 2-woningen). In het derde deel van het onderzoek worden de diverse detectors en andere detectiematerialen uitgelezen en de resultaten geanalyseerd (zie ook 2.3). Dit vindt aansluitend aan het onderzoek plaats vanaf begin 2007. De resultaten worden gerapporteerd aan opdrachtgever en deelnemers.

## 4 Methoden

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;
3. de ventilatie- en 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. Deze komen aan de orde bij de beschrijving van de verschillende methoden.

Omdat de betreffende metingen tamelijk specialistisch zijn, is de levering van apparatuur uitbesteed. Voor de toegepaste apparatuur is hierbij, zoals bij de overheid gebruikelijk, een traject van offertestellingen gevolgd.

### 4.1 Selectie leveranciers

Voor het selecteren van de leveranciers van de diverse meetapparatuur is een offertestellingstraject gevolgd. Afhankelijk van het totaal aan (geschatte) kosten van de uitbesteding kan dat bestaan uit het aanvragen van tenminste drie offertes of bij hogere bedragen een Europese aanbesteding.

#### *Radon en externe straling*

Gezien de mogelijkheden bij verschillende leveranciers om een radondetector en TLD (thermoluminescentiedosimeter voor externe straling) te integreren zijn deze bij de offerteaanvraag in eerste instantie samengenomen. Gezien het grote aantal metingen per woning zou dit een welkome reductie van het aantal losse meetinstrumenten opleveren. De leverancier van de radondetectoren van de vorige survey (FzK, Karlsruhe) kon niet leveren wegens onduidelijkheden rond het voortbestaan van de methodiek aldaar en mogelijke privatisering. Wel is van deze leverancier nog een klein aantal radondetectoren verkregen voor vergelijkingsmetingen met de voor de survey geselecteerde detectors.

Uiteindelijk is Gamdata<sup>4)</sup> uit Zweden geselecteerd voor de radonmetingen gezien hun kwaliteitssysteem (Swedac-accreditatie) en prijs. De combinatie van deze detectors met TLD's van Gamdata was minder geschikt en daarom is, ook gezien de kennis van zaken en de prijs gekozen voor TLD's van NRG<sup>5)</sup>, Arnhem.

#### *Ventilatiemetingen*

De ventilatiemetingen op basis van perfluorocarbontracer, ook wel PFT genoemd, zijn uitermate geschikt voor het bepalen van de grootte van luchtstromen tussen verschillende ruimten in gebouwen. Gezien de kosten van dergelijk onderzoek is hiervoor eind 2004 een Europese aanbesteding gestart. Hierop heeft geen enkele potentiële leverancier gereageerd. Daarop zijn onderhandelingen gestart met Brookhaven National Laboratory (BNL)<sup>6)</sup> in de Verenigde Staten. Dit bedrijf was (evenals in de vorige survey) in staat om de gewenste apparatuur te leveren. BNL werkt onder toezicht van het US Department of Energy (US-DOE). BNL maakt gebruik van een uitgebreid kwaliteitssysteem gebaseerd op het '10 CFR Part 50, appendix B, quality assurance program' van de U.S. NRC<sup>7)</sup>.

<sup>4)</sup> Gamdata Mätteknik AB, PO Box 15120, SE-750 15 Uppsala, Sweden

<sup>5)</sup> NRG, Utrechtseweg 310, Arnhem, Nederland

<sup>6)</sup> Department of Energy and Environment, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, contact: RN Dietz

<sup>7)</sup> U.S.NRC, United States Nuclear Regulatory Commission

## 4.2 Radon

De jaargemiddelde concentratie van het edelgas radon wordt bepaald met de zogenaamde ‘alpha trackmethode’. Zie voor een nadere beschrijving van deze meetmethode [6]. De hiervoor toegepaste detectors zijn van de firma Gammadata uit Zweden. Bij deze methode diffundeert radon in de radondetector, gemaakt van anti-statisch plastic, zie Figuur 1.

De alfastraling van radon en haar vervalproducten leveren sporen op filmmateriaal (CR39/PADC) dat zich in de detector bevindt (Figuur 2).

Het aantal sporen is een maat voor de concentratie. De analyse van de films vindt plaats bij Gammadata. De films worden daartoe eerst chemisch geëet om de sporen groter (en beter zichtbaar) te maken. Deze sporen worden later geteld met beeldscanners.

De radondetectors worden apart verpakt aangeleverd in aluminium zakjes. De meting start pas als een zakje geopend wordt. Na ophalen van de detectors worden ze dan ook weer zo spoedig mogelijk in aluminium zakjes geseald.



*Figuur 1 Onder- en zijaanzicht van de in de survey toegepaste radondetector (Gammadata)*

### *Detectiebereik*

Volgens Gammadata is het detectiebereik van dit type detector voor blootstellingen gedurende een jaar  $5\text{-}5700 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . De meetonzekerheid bedraagt ongeveer 7% bij  $20 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  (67% betrouwbaarheidsinterval).

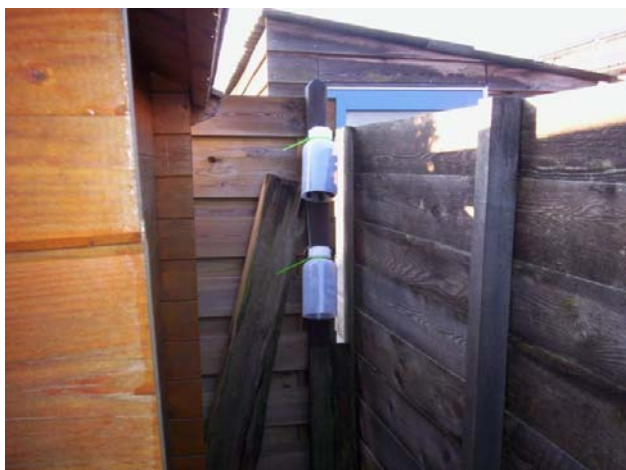
### *Meetlocaties*

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) dan wel 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 (zie paragraaf 5.1.2), is ook een tuinmeting uitgevoerd (zie Figuur 3). 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. Die is immers een van de bronnen van radon in het binnenmilieu.



*Figuur 2 De in de radondetector toegepaste (transparante) film met referentienummer*



Figuur 3 Radondetectors en TLD's in een tuin; de apparatuur is tegen neerslag beschermd in plastic flessen zonder bodem

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 radon, maar dan met 10-minutengemiddelden.

Naast de eerdergenoemde metingen worden nog enkele controlemetingen uitgevoerd (zie 4.5), vooral gericht op de werking van de meetapparatuur zelf.

### 4.3 Externe straling

De externe straling afkomstig van bouwmaterialen en bodem wordt gemeten met thermoluminescentiedosimeters (TLD's), zie Figuur 4: 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 de TLD ontvangen dosis.

#### Detectiebereik

Het te verwachten dosisbereik 0,1 tot 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 standaardonzekerheid berekend van 3% (95% betrouwbaarheidsinterval 0,94-1,06). Dit betreft onzekerheden door variaties in detector- en readergevoeligheid, detector- en reader<sup>8)</sup>-nulsignaal, de correcties voor energie- en hoekafhankelijkheid van de respons en correctie voor fading<sup>9)</sup> alsmede ruis in het meetsysteem. De temperatuursafhankelijkheid van fading is hier niet in meegenomen en kan de onzekerheid, naar schatting van NRG, met maximaal nog 5% laten toenemen.



Figuur 4 TLD (thermoluminescentiedosimeter) van NRG Arnhem

<sup>8</sup> De reader is het apparaat waarmee de TLD wordt uitgelezen.

<sup>9</sup> 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.

### *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) dan wel de toegangshal (bij meergezinswoningen of appartementen).

Net als bij de radonmetingen, is in elk van de twintig gemeenten waar metingen plaatsvonden, ook een tuinmeting van externe straling 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 langjarig beschikbare meetgegevens van het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR) te kunnen maken, is bij een tiental NMR-metposten ook een fles met TLD's opgehangen. Dit meetnet meet ook gammastraling (omgevingsdosistempo om precies te zijn), maar dan met 10-minutengemiddelden.

## 4.4 Ventilatie

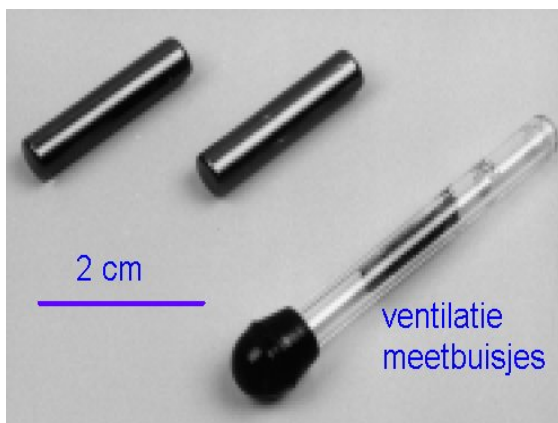
Naast het gewijzigd gebruik van bouwmaterialen zijn ook de afname van ventilatie en de toename van isolatie van nieuwbouwwoningen oorzaken voor de toename van de radonconcentratie in diezelfde nieuwbouw vergeleken bij de oudere bestaande bouw. Daarom is naast onderzoek aan radon en bouwmaterialen ook een belangrijk deel van de survey gericht op de ventilatie van de geselecteerde woningen uit de steekproef. Er zijn twee methoden gehanteerd om naar twee specifieke aspecten van ventilatie in de woning te kijken. Het gaat er dan enerzijds om de luchtstromen in de woning in kaart te brengen en anderzijds om de aangebrachte mechanische ventilatiesystemen op hun werking te onderzoeken.

### 4.4.1 PFT-metingen

Voor het vaststellen van de luchtstromen tussen de verschillende vertrekken van een woning is gebruikgemaakt van de zogenaamde PFT-methode. In de eerdergenoemde ruimten van de woning (woonkamer, slaapkamer, hal en kruipruimte dan wel 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 5). 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 tracers wordt alleen door Brookhaven National Laboratory (BNL) aangeboden. Voor een nadere beschrijving van de methode zie bijvoorbeeld [7, 8].

De PFT-methode heeft de volgende kenmerken:

- er is vrijwel geen achtergrondconcentratie van PFT 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 ( $10^{-15}$  liter) per liter lucht, zodat met zeer geringe hoeveelheden kan worden volstaan.



*Figuur 5 Twee PFT-bronnen en een adsorber (CATS) voor het ventilatieonderzoek*

Ook tijdens de tweede radonsurvey in de jaren negentig van de vorige eeuw werden PFT's van BNL gebruikt voor ventilatiemetingen.

Ter ondersteuning van deze ventilatiemetingen is in ongeveer 75 woningen in alle doorgemeten 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 zogeheten ATAL-atv-11-datarecorder (zie Figuur 6).



*Figuur 6 ATAL-ATV-datarecorder voor het loggen van temperatuur en luchtvochtigheid op een harde schijf*

#### 4.4.2 Meting mechanische ventilatiesysteem

In de meeste nieuwbouwwoningen wordt een mechanisch ventilatiesysteem aangelegd. Het gaat dan veelal om systemen die mechanisch lucht aanzuigen of 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 & Partners<sup>10)</sup> tijdens het ophalen van de apparatuur. Zo kan worden vastgesteld wat de werkelijke ventilatie van dergelijke systemen is, naast het gedrag van de bewoner. De

<sup>10)</sup> Lichtveld Buis & Partners BV, ingenieurs- en adviesbureau, Nieuwegein, contact: L. Schaap

metingen van de ventilatiecapaciteit zijn verricht met een vleugelradanemometer met bijbehorende meetconus van het merk Observator.

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

## 4.5 Controlemetingen

Ter controle 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-minutenbasis.
- *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 aluminiumfoliezakken waarin de radondetectoren terug gezonden worden naar de leverancier, dit ter controle van de eigen verpakkingsmaterialen en de achtergrond.
- *meting met radondetectoren van FzK*: om een betere vergelijking te kunnen maken met de vorige survey zijn bij een aantal controlemetingen tevens de radondetectoren - althans het type - van die survey gebruikt. Deze detectoren komen van Forschungszentrum Karlsruhe (FzK). Zie Figuur 7.



*Figuur 7 Radondetectoren van Gammadata (links) en FzK (rechts) naast elkaar.*

- *meting met radondetectoren op verschillende afstanden van een betonnen muur*: er zijn aanwijzingen dat de afstand van de radondetectoren tot een bouw materiaal (muur, plafond) van invloed kan zijn op de metingen; dit in verband met de kortlevende  $^{220}\text{Rn}$ -isotoop van radon, ook wel thoron genoemd. Om dit effect te kunnen kwantificeren is een aantal radondetectoren op verschillende afstanden (0, 10, 35 en 50 cm) van een betonnen muur gehangen, zie Figuur 8.



*Figuur 8 Meting van het effect van thoron ( $^{220}\text{Rn}$ ) met radondetectoren op verschillende afstanden van muur.*

Alle controlemetingen zijn (zoals ook te zien is in Figuur 8) met grotere aantallen (15-20) detectors uitgevoerd om een grotere (meet)nauwkeurigheid te bereiken.

In het eindrapport zal nader worden ingegaan op de eventuele consequenties van de diverse controlemetingen.

#### 4.6 De enquête

Evenals bij de vorige survey is een lijst met vragen opgesteld om een zo goed mogelijk beeld van de woningen te verkrijgen. Deze vragen zijn in belangrijke mate beantwoord door de ophalers van de meetapparatuur (LBP), die daarvoor de juiste kennisachtergrond hadden. In Bijlage 1 is deze enquête opgenomen.





## 5 Opbouw van de steekproef

### 5.1 Omvang

Voor het uitvoeren van een steekproef is gebruikgemaakt van het bestand van woningen zoals dat door het CBS wordt bijgehouden. Aan het CBS is dan ook gevraagd een steekproef uit te voeren in dit bestand. Het CBS heeft een selectie gemaakt van woningen uit de periode 1994-2003 met een representatieve verdeling over koop- en huur- en eengezins- en meergezinswoningen.

Om logistieke redenen is er voor gekozen deze steekproef te beperken tot de gemeenten die in deze periode de meeste woningen hebben gebouwd, veelal VINEX-locaties. Als uit het totale nieuwbouwwoningbestand zou worden geselecteerd, dan is de kans namelijk groot dat uiteindelijk vele tientallen gemeenten in een steekproef terecht komen en daarmee reistijden en plaatsingskosten erg hoog worden.

#### 5.1.1 Grootte van de steekproef

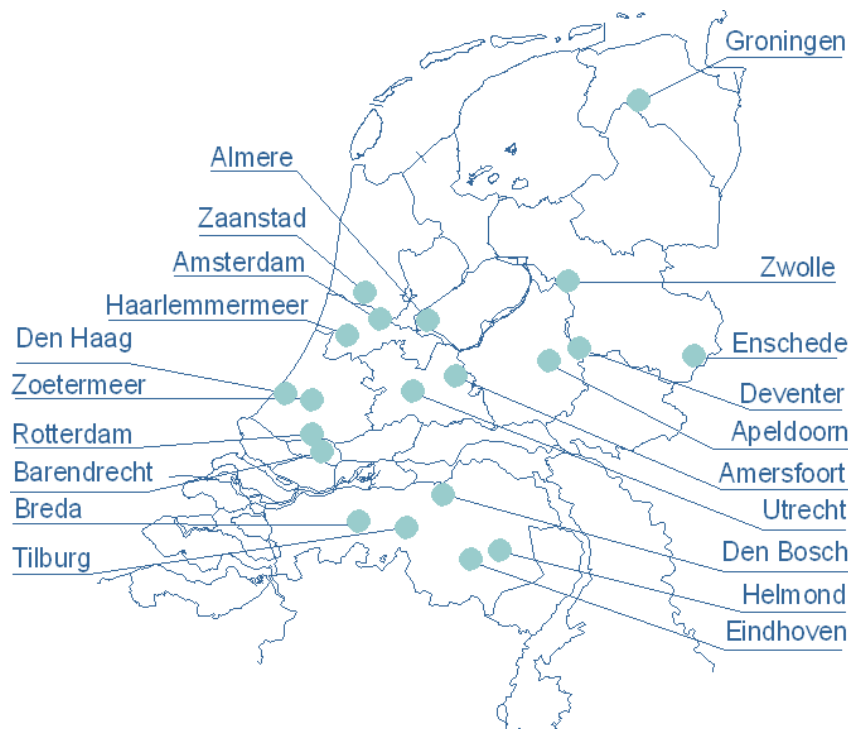
De totale steekproefgrootte was 5000. Dit volgde uit de verwachting dat een groot aantal van de potentiële deelnemers zou afvallen om diverse redenen: geen telefoonnummer (steeds vaker alleen een mobiel of geheim nummer), de onderzoeksmoeheid enzovoort. Tevens is, gezien de prijs van de radondetectors, besloten nog eens een groot aantal adressen te selecteren (fase 2) waar alleen een radondetector naartoe zou worden opgestuurd per post. Ook in de vorige survey is er een flinke overdaad aan adressen geselecteerd om toch voldoende over te houden. Voor het uitvoeren van een survey met de eerder beschreven apparatuur en het beschikbare budget was een aantal woningen van circa 300 een minimum vereiste. Uit de rapportage van de tweede survey kwam een aantal positieve reacties (om mee te doen aan de survey) van ongeveer 50% van de aangeschrevenen. Gezien de mogelijke vermoeidheid die optreedt bij mensen om mee te doen aan dergelijke onderzoeken (post bij oud papier en/of telefonische benadering afwimpelen) is een lager positieve reactiepercentage ingecalculeerd. Om tot een aantal van ruim 300 deelnemers te komen, leek een mailing van ongeveer 900 (driemaal het aantal) in eerste instantie dan ook voldoende. Met een random generator in Excel is aan alle adressen een getal toegekend. De eerste 900 zijn zo geselecteerd voor een eerste aanschrijfronde (zie paragraaf 6.2.1) van het fase 1-onderzoek. Dit is later aangevuld met nog eens 100, tot totaal 1000. Van de 360 potentiële adressen zijn er ten slotte nog 53 afgevallen, zodat bij 307 deelnemers apparatuur is geplaatst.

In fase 2 zijn de overige 4000 adressen aangeschreven. Het aantal positieve reacties bedroeg circa 1000. De eerste 800 hebben een detector toegestuurd gekregen.

#### 5.1.2 Verdeling over het land

Voor de steekproef is een beperkt aantal gemeenten geselecteerd, namelijk twintig (zie Figuur 9). Van de bijna 800.000 woningen uit de periode 1994 t/m 2003, is 31% in deze gemeenten gebouwd.

De keuze voor 20 gemeenten volgde uit een nader onderzoek van de resultaten van de vorige survey. Tijdens die survey is, voor een overigens groter aantal woningen (circa driemaal zoveel), uitgegaan van bijna 60 gemeenten. Door trekkingen uit te voeren in de resultaten van die survey bleek voor de 20 grootste gemeenten nog steeds een gemiddelde radonconcentratie te resulteren die binnen de onzekerheid gelijk was aan het oorspronkelijke gemiddelde met, vanwege het geringe aantal woningen, natuurlijk wel een grotere onzekerheid (fout in het gemiddelde gaat omhoog van minder dan 1 naar circa 2 Bq·m<sup>-3</sup>). Gezien de spreiding over het land en het in de vorige survey gevonden resultaat dat bodemtype, althans binnen Nederland, geen grote invloed heeft, is de steekproef wat betreft ruimtelijke verdeling in orde.



Figuur 9 Gemeenten vertegenwoordigd in de survey

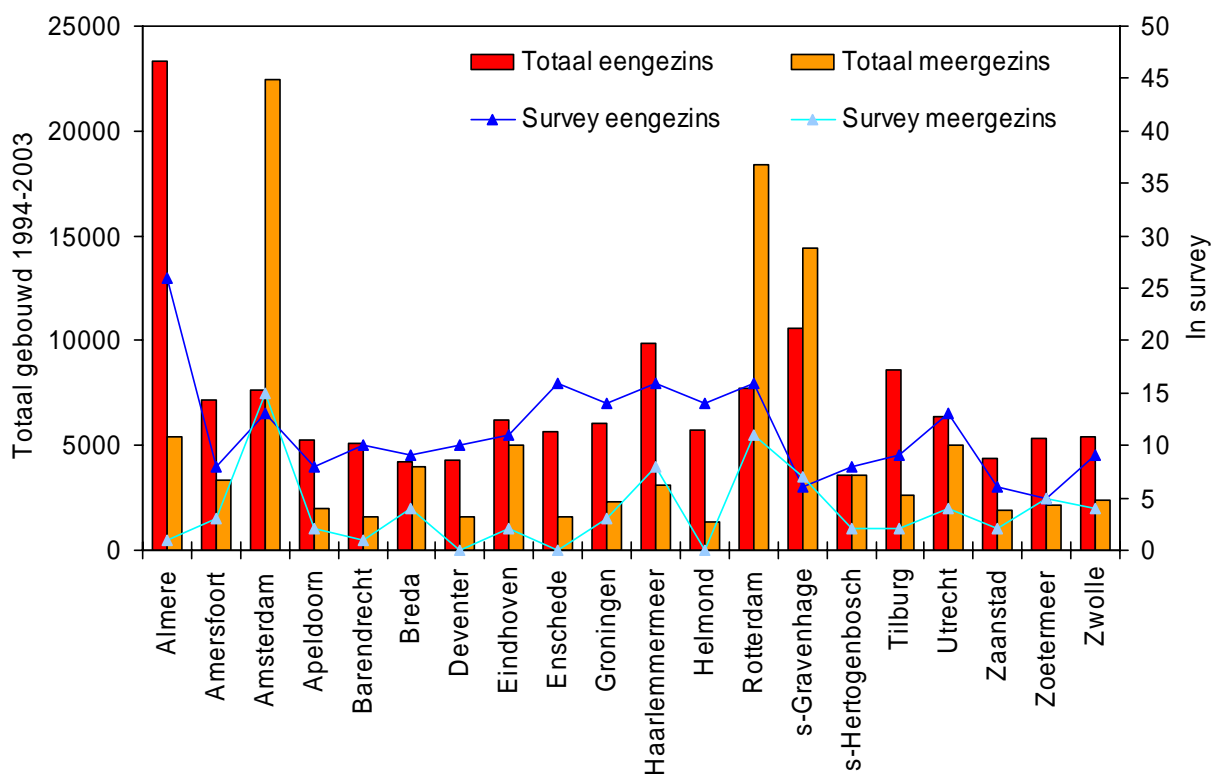
## 5.2 Representativiteit

### 5.2.1 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 meergezinswoningen (appartement/flat) (zie Figuur 10). 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. Dit heeft bijvoorbeeld te maken met verantwoordelijkheid voor eigen bezit, sociale status en opleidingsniveau. Het onderscheid naar de eengezins- en meergezinswoning 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 steekproef zoals die in de survey is gehanteerd, laat deze verdere differentiatie niet toe.

#### *Eengezins- en meergezinswoningen*

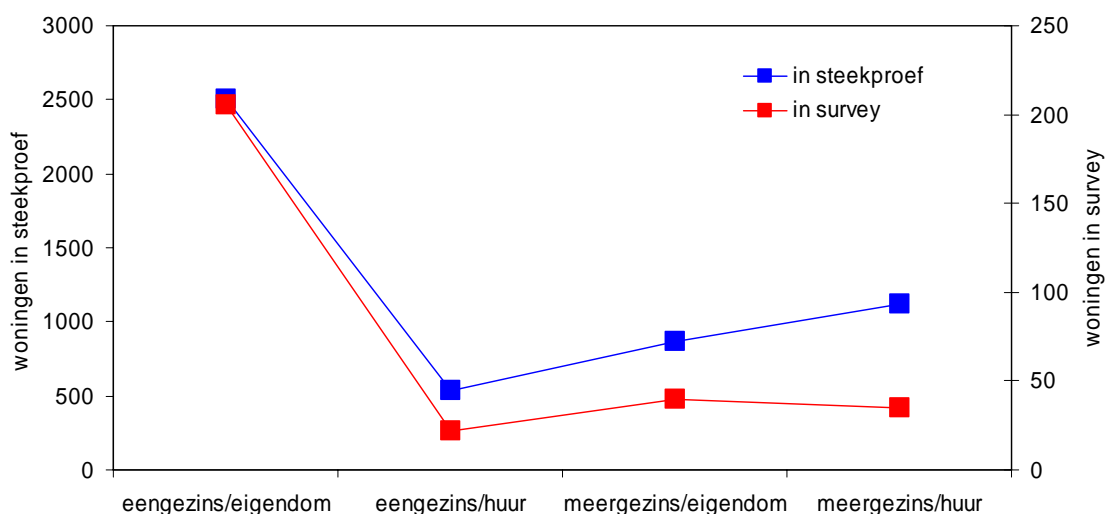
Zoals uit Figuur 10 blijkt, zijn de eengezinswoningen iets oververtegenwoordigd en dus de meergezinswoningen iets ondervertegenwoordigd. De meeste meergezinswoningen bevinden zich, niet verrassend, in de grote steden. De reden voor de oververtegenwoordiging van eengezinswoningen is waarschijnlijk dezelfde als voor woningen waarvan de bewoner eigenaar is (zie hierna). Er is namelijk een sterke correlatie te vinden (zie Figuur 11) tussen eigendom en eengezinswoning en tussen huur- en meergezinswoning. Voor de woningen uit de 2<sup>e</sup> fase zijn vergelijkbare correlaties te zien.



Figuur 10 Aantallen gebouwde een- en meergezinswoningen per gemeente in de periode 1994-2003 en de aantallen in de survey.

*Eigen woningen en huurwoningen*

De verdeling over huur- en eigenwoningen is minder representatief (zie Tabel 2). Het aantal deelnemers dat huurder is, blijft duidelijk achter bij het aantal eigenaren. In de nieuwbouwperiode 1995-2003 was de verhouding huurwoningen tot eigen woningen ongeveer 1:3 (volgens CBS). In de steekproef van het CBS is deze verhouding ongeveer 1:2 en in de groep deelnemers aan de survey ongeveer 1:4,3. Dit geldt ook weer voor zowel de 1<sup>e</sup> als 2<sup>e</sup> fase van het onderzoek. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de al eerdergenoemde verschillen tussen huurders en eigenaren bij informatie over hun woning. In de resultaten zal gecorrigeerd worden voor deze afwijking in representatie.



Figuur 11 Samenhang tussen type woning (een- en meergezins) en type bewoner (eigenaar of huurder) in de steekproef in de survey.

Tabel 2 Verdeling van de woningen uit de initiële steekproef over de twintig geselecteerde gemeenten, het hoofdtype woning (een- of meergezins) en het bezit (huur of eigendom); van de woningen is (tussen haakjes) aangegeven hoeveel daarvan in de 1<sup>e</sup> fase van de survey zijn terechtgekomen

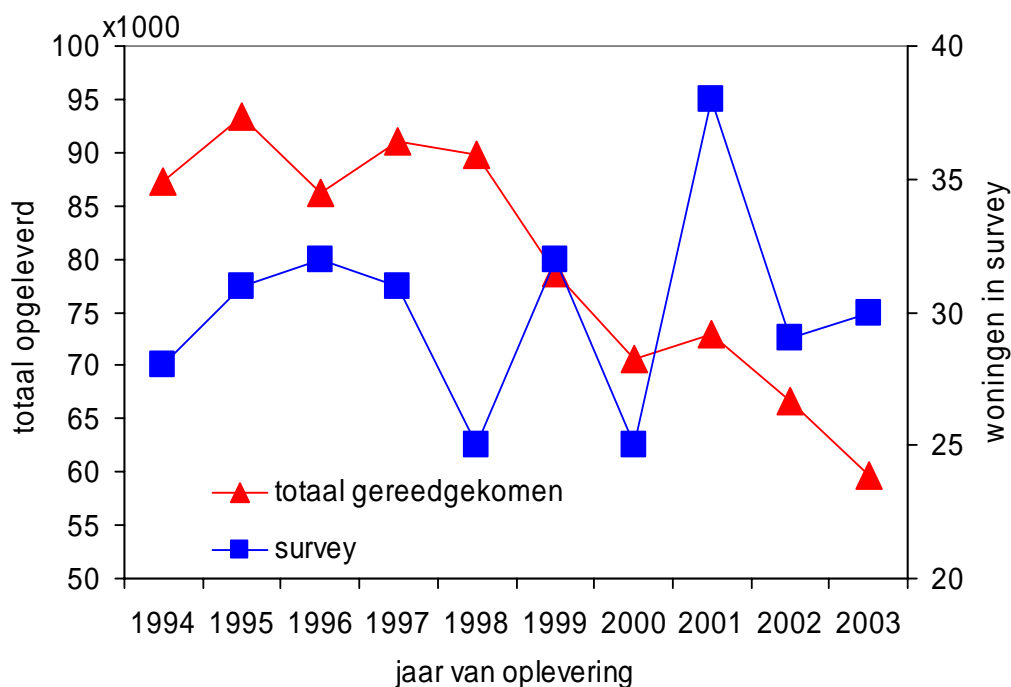
Gemeente	Totaal	huur	eigen	eengezins	meergezins
Groningen	167	61(4)	106(13)	109(14)	58(3)
Almere	585	217(6)	368(21)	491(26)	94(1)
Deventer	122	47(0)	75(10)	92(10)	30(0)
Enschede	145	19(0)	126(16)	128(16)	17(0)
Zwolle	154	62(1)	92(12)	111(9)	43(4)
Apeldoorn	150	20(1)	130(9)	129(8)	21(2)
Amersfoort	212	86(3)	126(8)	155(8)	57(3)
Utrecht	231	58(5)	173(11)	147(13)	84(4)
Amsterdam	613	274(11)	339(17)	205(13)	408(15)
Haarlemmermeer	261	27(4)	234(20)	205(16)	56(8)
Zaanstad	127	43(1)	84(7)	77(6)	50(2)
Barendrecht	134	20(1)	114(10)	118(10)	16(1)
's-Gravenhage	508	195(2)	313(11)	168(6)	340(7)
Rotterdam	529	214(8)	315(19)	222(16)	307(11)
Zoetermeer	152	31(2)	121(8)	98(5)	54(5)
Breda	166	52(2)	114(11)	67(9)	99(4)
Eindhoven	226	82(2)	144(11)	119(11)	107(2)
Helmond	144	47(2)	97(12)	108(14)	36(0)
's-Hertogenbosch	146	10(0)	136(10)	104(8)	42(2)
Tilburg	226	69(2)	157(9)	183(9)	43(2)
<b>Totaal</b>	<b>4998</b>	<b>1634(57)</b>	<b>3364(245)</b>	<b>3036(227)</b>	<b>1962(76)</b>

*Kruipruimte*

Van de 227 eengezinswoningen in de 1<sup>e</sup> 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. In de resultaten zal specifiek naar aanwijzingen op dit punt gekeken worden.

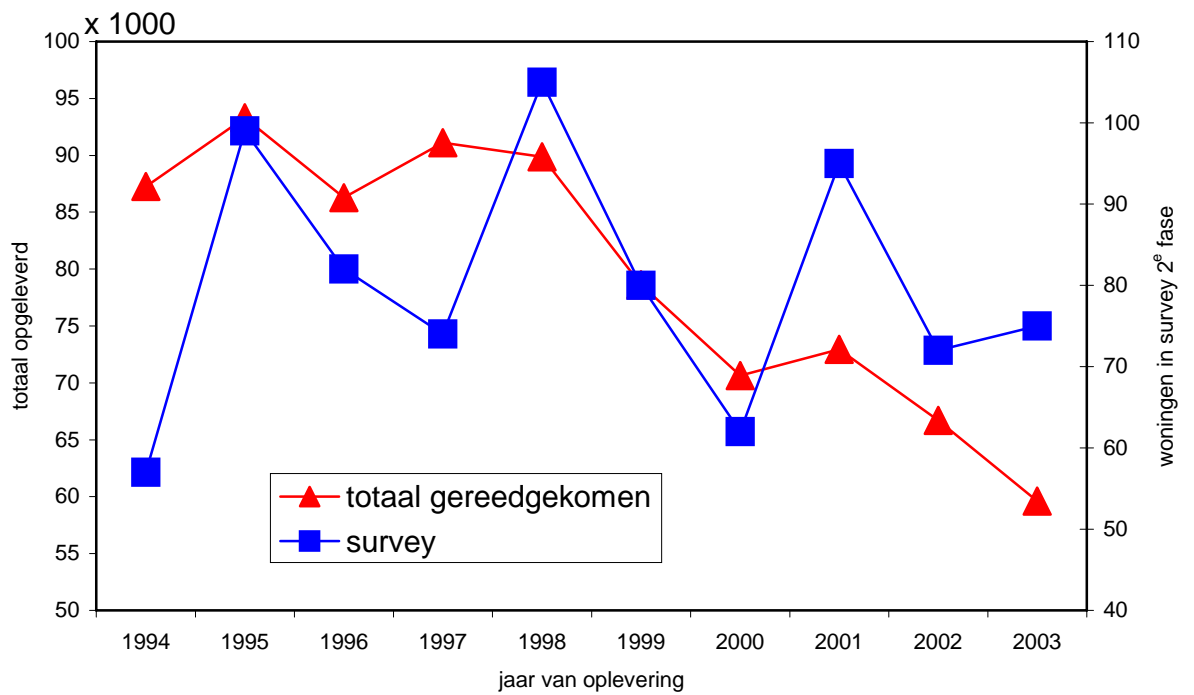
**5.2.2 Jaar van oplevering**

In de periode 1994-2003 is, na een aanvankelijk constante productie, de bouw van nieuwe woningen ingezakt (zie Figuur 12).



*Figuur 12 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<sup>e</sup> als 2<sup>e</sup> 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 jaren op deze manier mogelijk beter vast te stellen.



*Figuur 13* Jaar van oplevering van de nieuwbouw van het totale woningbestand en van de fase 2-woningen in de survey.

## **6 Werving van deelnemers**

### **6.1 Aanvulling van adressenbestand**

Voor de survey is het noodzakelijk om een representatieve steekproef van adressen te hebben (zie Hoofdstuk 5). Dit adressenbestand is echter niet gekoppeld met namen en telefoonnummers. Voor het benaderen van potentiële deelnemers is dat wel nodig. Met omgekeerd zoeken kunnen in de telefoongids de namen en telefoonnummers gevonden worden bij de adressen van de steekproef<sup>11</sup>). Van de 20 gemeenten uit de steekproef zijn de straten opgevraagd via de genoemde website en zijn de adressen, namen en telefoonnummers terugontvangen. Het adresbestand is in eerste instantie opgedeeld in enerzijds die woningen waarvan alle adresgegevens aanwezig zijn en die voorkomen in de steekproef en anderzijds de overige adressen. Tevens is de steekproeflijst voorzien van recordnummers. Van de 4998 adressen uit de steekproef zijn er voor 3474 namen en telefoonnummers gevonden, dat is bijna 70%. De aanvulling van het adressenbestand dateert van zomer 2005. Het grote aantal adressen waarvan geen telefoonnummers meer (openbaar) beschikbaar zijn, is waarschijnlijk toe te schrijven aan een aantal oorzaken zoals afnemende bereidheid om het telefoonnummer centraal te registreren, een andere telecomprovider of volledige overgang naar mobiele telefonie en geen nadere koppeling aan een huisadres.

### **6.2 Fase 1**

Voor de eerste fase van de survey was het de bedoeling circa 300 woningen te selecteren. Er is in navolging van de vorige survey voor gekozen om een groot aantal potentiële deelnemers aan te schrijven en dan bij een te geringe respons via een belteam alsnog het aantal positieve, maar ook negatieve reacties, te vergroten.

#### **6.2.1 Aanschrijving potentiële deelnemers**

In eerste instantie is een aantal van 900 potentiële deelnemers aangeschreven. Samen met een brief is daartoe een kleurenfolder met uitleg over radon en het onderzoek bijgevoegd, evenals een voorgeadresseerde (portvrije) antwoordkaart en een 'cadeautje', een pen met opschrift. Dit laatste heeft naar verwachting het aantal brieven, dat daadwerkelijk is geopend, vergroot.

Het aantal retour ontvangen antwoordkaarten bleef toch iets achter (ca. 250). Via een belteam en later een extra mailing van nog eens 100 adressen is het aantal van 360 positief reagerende potentiële deelnemers bereikt. Daarvan zijn door verschillende redenen (o.a. toch verhuizing of afzien van deelname) 307 over gebleven bij wie ook werkelijk is geplaatst.

#### **6.2.2 Het belteam**

Een belteam leverde wel in tweede, derde of zelfs latere instantie enige positieve respons op, maar deze bleef toch achter bij de verwachtingen. In een volgende survey lijkt het verstandiger om de initieel aangeschreven groep mensen te vergroten. Dat is goedkoper en het levert naar verwachting meer gemotiveerde deelnemers op (mensen die uit eigen beweging hebben gereageerd).

---

<sup>11</sup> zie <http://telefoongids.e2u.cc>



## 6.3 Fase 2

Om de significantie van de radonconcentratie in de woonkamer van nieuwbouwwoningen te verbeteren, is het belangrijk zoveel mogelijk woningen in het onderzoek op te nemen. Gezien de hoge kosten van vooral het ventilatieonderzoek is besloten naast de 300 woningen waarin het volledige arsenaal aan metingen zou worden uitgevoerd, een extra groep deelnemers aan te schrijven en via de post van een radondetector te voorzien. Dit is deels een onzekere fase van het onderzoek, maar zij is goedkoop (er zijn geen plaatsers nodig), zij levert een grotere steekproef dan die van de eerste fase en dus een betrouwbaarder beeld van de gemiddelde radonconcentratie in de woonkamer van nieuwbouw.

### 6.3.1 Aanschrijving potentiële deelnemers

Uit de ervaringen opgedaan bij de aanschrijving in de 1<sup>e</sup> fase is de rest van de steekproef, een aantal van circa 4000 potentiële deelnemers, aangeschreven. Van een groot aantal (circa 1500) waren geen naam en telefoongegevens beschikbaar (niet geregistreerd). Samen met een brief is daartoe ook weer een kleurenfolder met uitleg over radon en het (dit keer beperktere) onderzoek bijgevoegd, evenals een voorgeadresseerde (portvrije) antwoordkaart en een 'cadeautje', een pen met opschrift. Dit laatste heeft naar verwachting ook hier het aantal brieven, dat daadwerkelijk is geopend, vergroot.

Het aantal (circa 1000) retour ontvangende (positieve) antwoordkaarten was beduidend groter dan op basis van de 1<sup>e</sup> fase en het feit dat veel brieven 'Aan de bewoner van ...' geadresseerd waren, mocht worden verwacht. Misschien heeft de geringere rompslomp van het onderzoek in deze fase (geen mensen over de vloer, deelnemer hoeft alleen detector uit te pakken en krijgt vanzelf te horen wanneer deze weer teruggezonden moet worden) een positief effect gehad op de deelnamebereidheid. Aan 800 van deze potentiële deelnemers is een radondetector toegestuurd.

### 6.3.2 Verzending radondetectors

Op datum van binnenkomst is aan de positief reagerende deelnemers een radondetector met korte toelichting (waar te plaatsen, hoe het terugzenden verloopt) toegezonden. Bij verzending zijn de radondetectors geregistreerd, zodat van de uitgezette radondetectors het adres bekend is.

## 6.4 Nadere communicatie met deelnemers

In de brieven die aan de deelnemers zijn verstuurd en ook tijdens de plaatsing van apparatuur is de bewoners gewezen op een aantal mogelijkheden om contact op te nemen met de VERA-organisatie indien men daaraan behoefte had. Voorbeelden zijn problemen met apparatuur, verhuizing en dergelijke. De meest gebruikte zijn de telefoon en het speciale e-mailadres ([radon@rivm.nl](mailto:radon@rivm.nl)). Via een speciaal voor de survey in het leven geroepen website [www.rivm.nl/radon](http://www.rivm.nl/radon) konden bewoners meer detailinformatie over radon betrekken. Ook is via deze weg via een 'actueelpagina' de stand van zaken rond het onderzoek aangegeven.

Zodra resultaten van het onderzoek openbaar worden zullen die in geanonimiseerde vorm ook hun weg vinden naar deze website, evenals de diverse publicaties die hierover verschijnen.

## 7 Plaatsen van de apparatuur

### 7.1 Fase 1

Voor het plaatsen van de apparatuur is een groep van in totaal 28 mensen, afkomstig uit de verschillende deelnemende gemeenten, gerecruteerd en opgeleid. Zij hebben in de twintig gemeenten (in de grotere gemeenten meer dan één plaatser) de apparatuur uitgezet. Daartoe is voor iedere woning een zak met meetapparatuur gevuld en geregistreerd. Van de apparatuur was dus vooraf bekend in welke ruimten deze terecht zou komen. De plaatsers hebben deze registratie opnieuw uitgevoerd. Daarbij is een draaiboek gevolgd, dat tot doel had de apparatuur in de juiste volgorde te plaatsen en geen apparatuur te vergeten. Een voorbeeld van een dergelijke checklist is gegeven in Bijlage 2.

Bij de instructie is onder andere aandacht gegeven aan de plaatsing zelf, waarbij zaken speelden zoals:

- radondetectors en TLD's niet direct aan de muur positioneren;
- geen apparatuur boven de verwarming en/of in de zon plaatsen (geldt vooral voor de PFT-bronnen en de TLD's);
- de adsorbers pas in laatste instantie (van buiten) ophalen en openen op de locatie van meting;
- de radondetectors pas vlak voor plaatsing uit hun aluminium verpakking halen;
- maak foto's van apparatuur (controlelemogelijkheid).

Het draaiboek voor de instructie beslaat vele pagina's en was ook als naslag meegegeven aan de plaatsers.

Tijdens het plaatsen van de apparatuur, in december 2005 tot begin januari 2006 zijn steekproefsgewijs controles uitgevoerd op het plaatsen door RIVM-medewerkers. Op locatie is daartoe de juistheid van de plaatsing gecontroleerd en in enkele gevallen aangepast. Belangrijker was de terugkoppeling naar de plaatsers die daardoor nieuwe plaatsingen beter zouden uitvoeren.

### 7.2 Fase 2

Het plaatsen van de apparatuur voor de 2<sup>e</sup> fase is door de deelnemers aan het onderzoek zelf uitgevoerd. Een korte aanwijzing in een begeleidende brief heeft de deelnemers naar verwachting voldoende informatie verschaft. Er zijn weinig problemen gemeld via emailadres ([radon@rivm.nl](mailto:radon@rivm.nl)) dan wel een vermeld telefoonnummer.



## **8 Ophalen van apparatuur**

### **8.1 Fase 1**

In eerste instantie was het de bedoeling de meetapparatuur van het eerstefaseonderzoek ook weer op te halen met een grotere groep mensen. Om deelnemers niet onnodig lastig te vallen is echter besloten dit samen te laten vallen met de extra metingen (aan het mechanische ventilatiesysteem) en het invullen van de enquête. Beide activiteiten zijn uitbesteed aan en uitgevoerd door LBP. Ook hier heeft eind november 2006 een opleiding plaatsgehad voor een kleinere groep van ophalers. Belangrijk hierbij waren het direct afsluiten van de adsorbers op locatie; het apart bewaren van de adsorbers door de ophalers (bronnen werden buiten bewaard); het iedere dag sealen van de voorraad verzamelde radondetectoren in daarvoor aangeschafte aluminium zakken en het fotograferen van de meetlocaties en omgeving.

Ook door de ophalers is weer een registratie bijgehouden van de aangetroffen apparatuur. De geregistreerde gegevens betreffende de apparatuur zijn evenals de enquête gegevens ingevoerd in een MS Access-database. Deze database wordt in het eindrapport nader toegelicht. Deze in veel gevallen driedubbele registratie heeft een groot aantal identificatieproblemen kunnen voorkomen. Verzending van de meetapparatuur heeft na afloop van de ophaalronde plaatsgehad.

### **8.2 Fase 2**

Voor de tweede fase van het onderzoek is de retourzending eind mei 2007 van start gegaan. Daartoe is aan de deelnemers een retourenveloppe met antwoordnummer toegezonden. Registratie heeft hierbij reeds plaatsgevonden voor de verzending aan het begin van de onderzoeksperiode. Ook de resultaten uit dit onderzoek worden opgenomen in de database.

Deze radondetectoren zijn na aankomst op het RIVM per 5-10 in aluminium zakken geseald en verzonden naar Gammadata. De tijdsperiode tussen retourzending vanaf de meetlocatie en het moment van sealen bedroeg hooguit enkele dagen. Op een meetperiode van ongeveer een jaar is dat niet meer dan een procent. Afgezien van situaties waarin de detector tijdens de postreis aan een hoge radonconcentratie heeft blootgestaan (niet erg waarschijnlijk in Nederland) zal de fout in de meting dan niet meer dan een procent bedragen, hetgeen volledig ondergeschikt is aan de meetonnauwkeurigheid.



## 9 Conclusies

Bij een tamelijk complexe survey waarbij in ongeveer 300 woningen tot wel 25 losse meetapparaten zijn geplaatst, wil nog wel eens iets kwijtraken. Een belangrijke opgave in het onderzoek is dan ook optimaal gebruik te maken van de meetapparatuur die wel aanwezig was.

De drie registraties die voor en tijdens de plaatsing en bij het ophalen zijn gemaakt, geven de mogelijkheid een controle uit te voeren op de plaatsing van apparatuur. Gecombineerd met fysieke controles vanuit het RIVM (bij het plaatsen) en vanuit LBP (bij het ophalen) levert dit een redelijk gewaarborgde plaatsing van apparatuur. Betere registraties zijn echter denkbaar, bijvoorbeeld gebruikmakend van een barcodesysteem. Gezien het grote aantal registraties en handelingen vraagt dat in de toekomst om extra aandacht.

Een deel van het onderzoek (fase 2) heeft plaatsgevonden via een mailing. Het is interessant om hiervan de resultaten te zien. Dit type onderzoek is namelijk relatief goedkoop en kan, indien het succesvol is, een betere representativiteit van het woningbestand garanderen en in ieder geval een grotere nauwkeurigheid.



## Bijlage 1 In survey toegepaste enquête

Woninggegevens in enquête

						versie 12-11-2006
<b>Enquêteformulier</b>						
Algemeen						
1.1	Codenummer	0				
1.2	Adres	#N/A	door opnemer			
	Postcode	#N/A	door opnemer			
	Plaats	#N/A	door opnemer			
	Datum opname	14-11-2006				
1.3	Woningtype					
	A Eengezinswoning, vrijstaand					
	B Eengezinswoning, twee onder een kap					
	C Eengezinswoning, hoekwoning					
	D Eengezinswoning, tussenwoning					
	E Meergezinswoning, met galerij of open portiek					
	F Meergezinswoning, met centrale hal of binnengang					
	G Meergezinswoning, met eigen in- of opgang					
	H Bedrijfswoning of boerderij					
	I Anders; nl.: ...					
1.4	Aantal bouwlagen van het gebouw					
1.8	Aantal bouwlagen van de wooneenheid.					
	Keuken					
	A Open keuken					
	B Gesloten keuken toegang vanuit woonkamer					
	C Gesloten keuken toegang via verkeersruimte					
1.9	Wat is het jaar van oplevering van de woning?					
1.10	Nieuwbouw in een ouder gebouw?					
	A. Ja					
	B. Nee					



	C.	Onbekend				
1.11	Ligt het gebouw beschut tegen wind?					
	A.	Open (platteland, ook tussen bomen!)				
	B.	Normaal (in de woonwijk)				
	C.	Beschut (in dichtgebouwd stadscentrum, tussen flats)				
Ventilatie						
1.12	Ventilatiesysteem					
	A.	natuurlijke toevoer, natuurlijke afvoer				
	B.	Mechanische toevoer - natuurlijke afvoer				
	C.	natuurlijke toevoer, mechanische afvoer				
	D.	mechanische toevoer - mechanische afvoer				
1.13	Gebruik ventilatiesysteem			stand 1	stand 2	stand 3
	A	Nooit (zelden/incidenteel)				
	B	Af en toe / beperkt (minder dan 2 uur per dag bijvoorbeeld tijdens koken en douchen)				
	C	Regelmatig (meer dan 2 uur per dag)				
	D	Vaak (meer dan 12 uur per dag)				
1.14	Beleving geluid ventilatiesysteem			stand 1	stand 2	stand 3
	A	niet hoorbaar woonkamer				
	B	hoorbaar, niet hinderlijk (als het erg stil is)				
	C	hoorbaar en hinderlijk slaapkamers				
1.15	Kooklucht afzuiging					
	A	Seperaat met apart kanaal				
	B	Motorloos op afzuigsysteem				
	C	Niet aanwezig				
Kruipruimte en kelder						
1.16	Is er een kelder onder de woning aanwezig?					
	A.	Ja, onder de hele woning				
	B.	Ja, onder een gedeelte van de woning				
	C.	Nee				
1.17	Is er een kruipruimte direct onder de woning?					
	A.	Ja, onder de hele woning				
	B.	Ja, onder een gedeelte van de woning				

	C.	Nee				
1.18	Is er een luik naar de kruipruimte, zo ja, in welke ruimte?					
	A.	Ja, noem ruimten (geef aan op plattegrond)				
	B.	Nee				
1.19	Zijn de kieren en gaten rondom het kruipruimteluik afgedicht?					
	A.	Ja				
	B.	Nee				
1.20	Waaruit bestaat de bodem van de kruipruimte?					
	A	Grond/zand				
	B	Beton				
	C	Folie op grond				
	D	Anders; nl.: ...				
1.21	Is er kruipruimteventilatie aanwezig?					
	A	Ja				
	B	Nee				
1.22	Open verbindingen tussen woning en kruipruimte?					
	A.	Ja, omschrijf waar:...				
	B.	Nee				
Diverse	n					
1.23	Eventuele opmerkingen over het hele gebouw					
<b>BEWONERS</b>						
1.24	Wat is het aantal bewoners van de woning ? (peildatum 1 aug. 2006)					

## Ruimtegegevens in enquête

1.1	Codenummer			0														
Formulier bouwkundige inventarisatie																		
					HAL				WOONKAMER			SLAAPKAMER						CENTRALE HAL
Algemeen																		
2.1	Op welke verdieping bevindt zich de meetruimte																	
	A	Begane grond																
	B	Eerste verdieping																
	C	Tweede verdieping of hoger																
	D	(Gedeeltelijk) beneden het maaiveld																
2.2	Wat bevindt zich direct onder de meetruimte?																	
	A	Andere verdieping																
	B	Kelder																
	C	Kruipruimte																
	D	Vloer direct op de grond																
	E	Vrije buitenlucht																

	F	Een combinatie, nl.: ...																	
2.3		Wat bevindt zich direct boven de meetruimte?																	
	A	Andere verdieping																	
	B	Zolder of vliering																	
	C	Dak																	
	D	Een combinatie, nl.: ...																	
		Bouwmaterialen																	
2.4		Materiaal dragend binnenblad / wsw ?																	
	A	Metselbaksteen																	
	B	Kalkzandsteen																	
	C	Beton																	
	D	Lichte binnenwanden																	
	E	Hout (houtskeletbouw)																	
	F	Een combinatie of anders, nl.:																	
	G	Niet bekend																	
2.5		Materiaal niet dragend binnenblad meetruimte?																	
	A	Metselbaksteen																	
	B	Kalkzandsteen																	



2.8	Materiaal van de vloerconstructie van de meetruimte?																			
	A	Beton																		
	B	Hout																		
	C	Steenmateriaal																		
	D	Anders; nl.: ...																		
	E	Niet bekend																		
2.9	Materiaal van het plafond van de meetruimte?																			
	A	Beton																		
	B	Hout																		
	C	Steenmateriaal																		
	D	Anders; nl.: ...																		
	E	Niet bekend																		
2.10	Materiaal vloerafwerking van de meetruimte?																			
	A	Natuursteen																		
	B	Gebakken tegels																		
	C	Anders, nl.: ...																		
	D	Een combinatie, nl.: ...																		
		(definieer bij combinatie op de plattegrond)																		
Ventilatie																				



2.15	Wordt de lucht voor de eventuele open haard in de meetruimte aangezogen uit de kruipruimte?															
A.	Ja															
B.	Nee															
2.16	Opmerkingen ten aanzien van de meetruimte?															





## Bijlage 2 Registratieformulier

Checklist/registratieformulier ééngezinswoning «RecordNr»

Checklist/registratieformulier ééngezinswoning «RecordNr»

«Naam»	
«Straat»	
«Postcode» «Plaatsnaam»	
«telefoonnummer»	
voorkeur telefonische bereikbaarheid: «aanduiding»	
Naam plaatser «uitrijder»	Aankomsttijd: Datum: __ december 2005

- |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 <input type="checkbox"/> Neem pakketje, 5 adsorbers en materiaal mee naar binnen</p> <p>2 <input type="checkbox"/> Bewaar adsorbers en restrictiekapjes in aparte ruimte, bijvoorbeeld de keuken</p> | <p>de plaats weer van de bronnen, de adsorber, de radonbeker, de tld-chip en de T/RV-meter.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Woonkamer

- 3  Pak gripzak woonkamer
- 4  Pak twee *paarse* bronnen
- 5  Plaats deze zo ver mogelijk uit elkaar
- 6  Pak radonmeter  
Noteer nummer:.....
- 7  Plaats radonmeter
- 8  Pak TLD.  
Noteer nummer:.....
- 9  Plaats TLD
- 10  Pak T/RV  Nvt (ga naar 12)  
Noteer nummer:.....
- 11  Plaats T/RV
- 12  Haal één adsorber en restrictiekapje en neem mee naar woonkamer
- 13  Verwissel rubber dopje voor restrictiekapje  
Noteer nummer:.....
- 14  Plaats adsorber
- 15  Maak overzichtsfoto's van meetapparatuur en noteer nummers foto's:  
1. ....  
2. ....  
3. ....  
4. ....
- 16  Schets de situatie in de woonkamer op de laatste pagina van dit formulier. Geef

### Slaapkamer

- 17  Ga naar slaapkamer
- 18  Pak gripzak slaapkamer
- 19  Pak twee *blauwe* bronnen
- 20  Plaats deze zo ver mogelijk uit elkaar
- 21  Pak radonmeter  
Noteer nummer:.....
- 22  Plaats radonmeter
- 23  Pak TLD  
Noteer nummer:.....
- 24  Plaats TLD
- 25  Pak T/RV  Nvt (ga naar 27)  
Noteer nummer:.....
- 26  Plaats T/RV
- 27  Haal één adsorber en restrictiekapje en neem mee naar slaapkamer
- 28  Verwissel rubber dopje voor restrictiekapje en  
Noteer nummer:.....
- 29  Plaats adsorber
- 30  Maak overzichtsfoto's van meetapparatuur en noteer nummers foto's:  
5. ....  
6. ....  
7. ....  
8. ....
- 31  Schets de situatie in de slaapkamer op de laatste pagina van dit formulier. Geef de plaats weer van de bronnen, de

adsorber, de radonbeker, de tld-chip en de T/RV-meter.

### Hal

- 32  Ga naar hal
- 33  Pak gripzak hal
- 34  Pak twee *aluminiumkleurige* bronnen uit gripzak
- 35  Plaats deze zo ver mogelijk uit elkaar (1 boven 1 beneden)
- 36  Pak radonmeter  
Noteer nummer:.....
- 37  Plaats radonmeter
- 38  Pak TLD  
Noteer nummer:.....
- 39  Plaats TLD
- 40  Pak T/RV.  Nvt (ga naar 42)  
Noteer nummer:.....
- 41  Plaats T/RV
- 42  Haal **twee** adsorbers en restrictiekapjes en neem mee naar hal
- 43  Verwissel rubber dopjes voor restrictiekapjes  
Noteer nummers:  
1.....  
2.....
- 44  Plaats adsorber 1 beneden en adsorber 2 boven
- 45  Maak overzichtsfoto's van meetapparatuur en noteer nummers foto's:  
9. ....  
10. ....  
11. ....  
12. ....
- 46  Schets de situatie in de hal op de laatste pagina van dit formulier. Geef de plaats weer van de bronnen, de adsorber, de radonbeker, de tld-chip en de T/RV-meter.

### Kruipruimte

- 47  Niet aanwezig (ga naar 65)
- 48  Niet toegankelijk (ga naar 65)

- 49  Leg meetapparatuur, stok, formulier en pen klaar bij ingang kruipruimte
- 50  Haal één adsorber en restrictiekapje en leg klaar bij ingang kruipruimte
- 51  Trek beschermkleding aan
- 52  Open toegang kruipruimte
- 53  Ga kruipruimte in
- 54  Pak eerst 2 *rode* bronnen uit gripzak kruipruimte en plaats deze in de kruipruimte zo ver mogelijk uit elkaar
- 55  Pak stok en gripzak kruipruimte en bevestig radonmeter aan stok.  
Noteer nummer:.....
- 56  Bevestig TLD aan stok.  
Noteer nummer:.....
- 57  Bevestig T/RV aan stok.  
Noteer nummer:.....
- 58  Verwissel rubber dopje adsorber voor restrictiekapje en bevestig adsorber aan stok  
Noteer nummer:.....
- 59  Pak de stok met meetapparatuur en plaats deze in het midden van de kruipruimte
- 60  Maak overzichtsfoto's van meetapparatuur en noteer nummer foto's:  
13. ....  
14. ....  
15. ....  
16. ....
- 61  Schets de situatie in de kruipruimte. Geef de plaats weer van de bronnen, de adsorber, de radonbeker, de tld-chip en de T/RV-meter.
- 62  Kom uit kruipruimte
- 63  Sluit kruipruimte af
- 64  Trek beschermkleding uit

### Tuinmeting

- 65  Komt de woning in aanmerking voor een **tuinmeting**, noteer dan de

nummers van de radonmeters  
en de TLD's hieronder:

- 66  nummers radonmeters:
- 1.....9.....
  - 2.....10.....
  - 3.....11.....
  - 4.....12.....
  - 5.....13.....
  - 6.....14.....
  - 7.....15.....
  - 8.....16.....

- 67  nummers TLD's:
- 1.....9.....
  - 2.....10.....
  - 3.....11.....
  - 4.....12.....
  - 5.....13.....
  - 6.....14.....
  - 7.....15.....
  - 8.....16.....

68  Laat de woning netjes achter

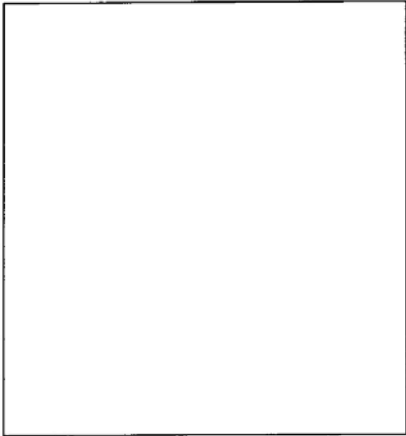
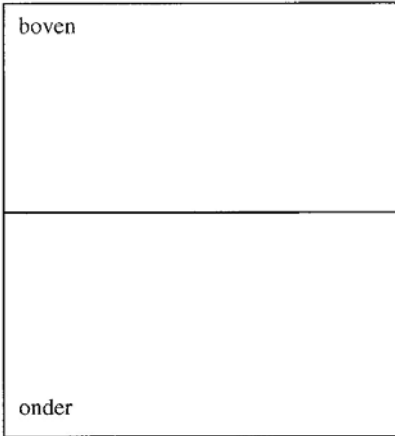
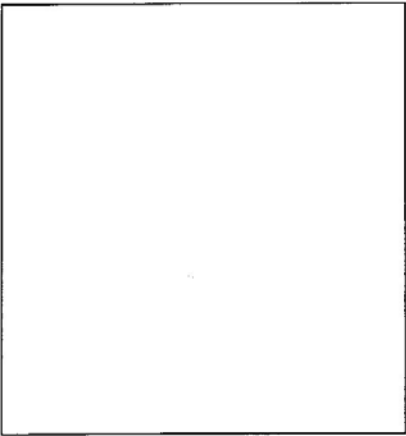

69  Deel mee dat bewoner  
contact opneemt in geval van  
verhuizing of verplaatsing  
meetapparatuur en vraag of ze  
bij het schoonmaken rekening  
houden met de apparatuur

70  Geef kaartje af


71  Dank bewoner voor  
deelname

72  Vertrektijd:

73  Handtekening bewoner:

	 <p>boven</p> <p>onder</p>
<p><b>woonkamer</b></p>	<p><b>hal</b></p>
	
<p><b>Slaapkamer</b></p>	<p><b>kruipruimte</b></p>

- B** Bron
- A** Adsorber
- R** Radonmeter
- T** T/RV-meter
- TLD** TLD-meter

- 000** raam
-  deur

Schets de belangrijkste meubels/ de plaats van het luik van de kruipruimte. Zorg dat de voorkant van het huis (voordeur) onder zit.

## Referenties

- [1] Put LW, Veldhuizen A, De Meijer RJ – *Radonconcentraties in Nederland, Verslag van SAWORA – project A2*, rapport KVI-111i, Groningen (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).
- [3] Actieprogramma Gezondheid en Milieu, uitwerking van een beleidsversterking, Tweede Kamer der Staten-Generaal, Vergaderjaar 2001-2002, stuk 28 089, nr. 2, Den Haag, 25 april 2002.
- [4] Blaauboer RO - *Een nieuwe radonsurvey – aantallen benodigde metingen*. RIVM-notitie van 11 februari 2004. (bijlage 1)
- [5] Opzet ventilatiemetingen in kader van DRASIN, Notitie met kenmerk V043138abA3.ls door LEJJ Schaap, Lichtveld Buis en Partners BV, Utrecht, 23 maart 2004. (bijlage 2)
- [6] Durrani SA, Ilić R (eds.) – *Radon measurements by etched track detectors*. ISBN 9810226667, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 1997.
- [7] Dietz RN, Cote EA – Air infiltration measurements in a home using a convenient perfluorocarbon tracer technique, *Environment International*, Vol.8, pp. 419-433 (1982)
- [8] 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)

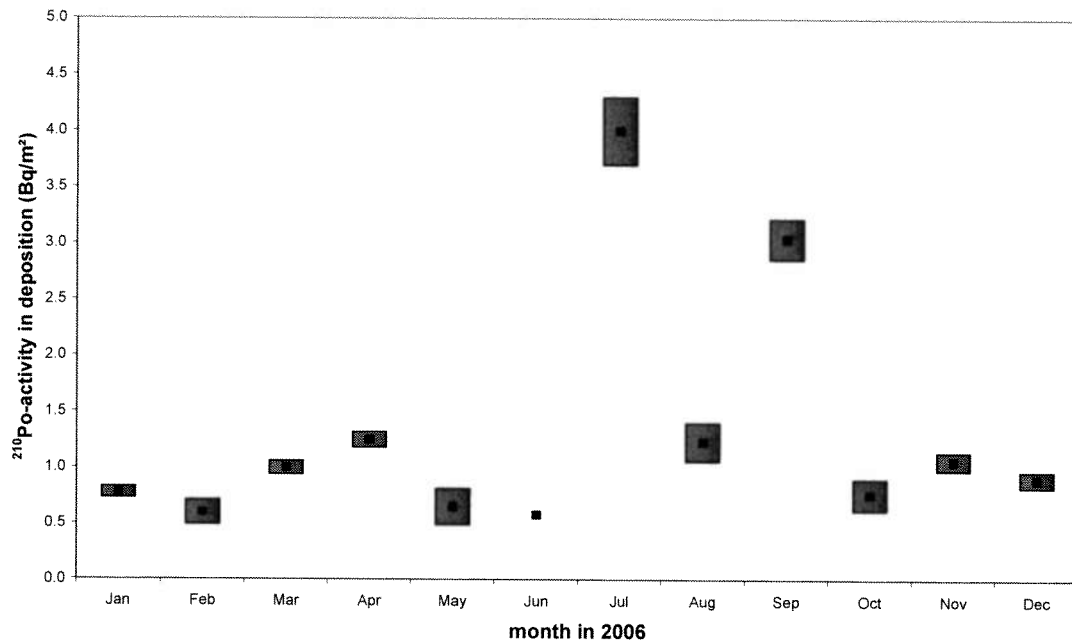
## Erratum report 610791001/2007

The  $^{210}\text{Po}$  results for 2006 have been revised. Due to an increasing influence of a  $^{209}\text{Po}$  impurity in the  $^{208}\text{Po}$  tracer (used in the analysis of  $^{210}\text{Po}$ ) a correction has been applied. As a result the underlying results have changed to:

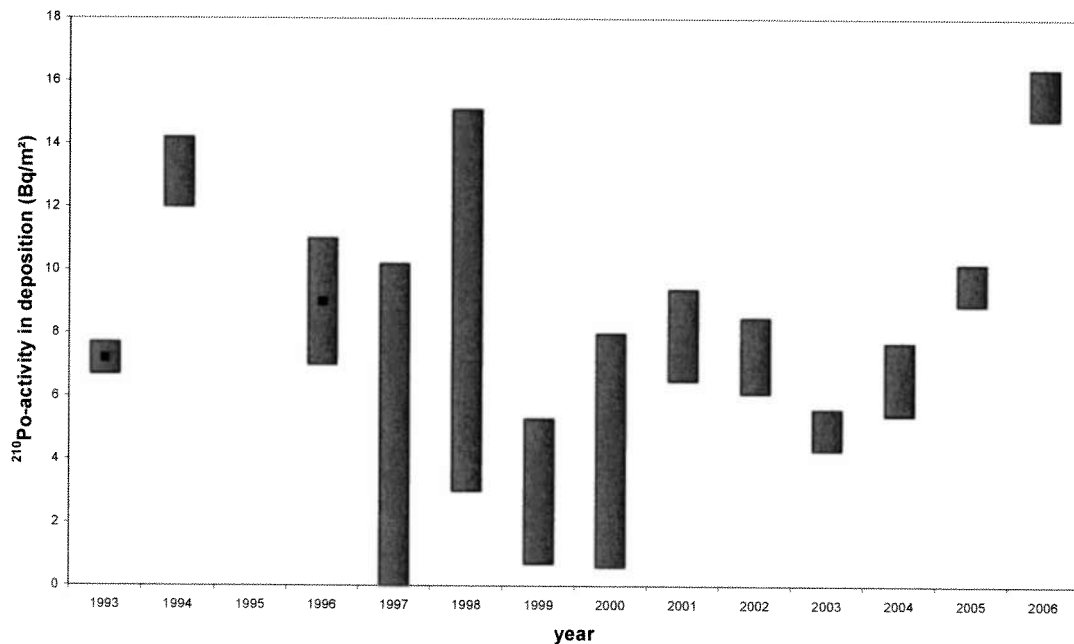
p.11 Table S1; in the column Values 14.8 – 16.4  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$  for  $^{210}\text{Po}$  in deposition.

p.26 3<sup>rd</sup> line; “...in 2006 ranged between 14.8 – 16.4  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$  (68% confidence level).”

p.27 Figure 3.6;



p.27 Figure 3.7;



p.78 Table A6;

Month	$^{210}\text{Po}$ $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$		
January	0.78	±	0.05
February	0.60	±	0.11
March	1.00	±	0.06
April	1.25	±	0.07
May	0.65	±	0.16
June	< 0.58		
July	4.0	±	0.3
August	1.23	±	0.17
September	3.04	±	0.18
October	0.76	±	0.14
November	1.06	±	0.08
December	0.90	±	0.07
Total	-		
Lower limit <sup>(2)</sup>	14.8		
Upper limit <sup>(2)</sup>	16.4		

p.78 Table A7; in the column  $^{210}\text{Po}$  in deposition 14.8 – 16.4  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$  for 2006.

**Ter akkoord**

Paraaf Projectleider:



Datum:

27-10-2010

Henk Reinen



**RIVM**

Rijksinstituut  
voor Volksgezondheid  
en Milieu

Postbus 1  
3720 BA Bilthoven  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)