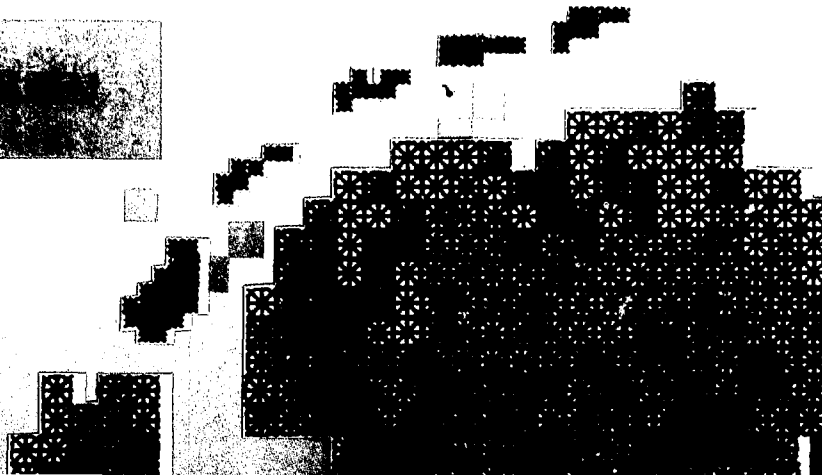


INIS-mf--11204

N138C6679



1/2

Straling in het leefmilieu

Resultaten van het onderzoekprogramma
Stralingsaspecten van woonhygiëne
en verwante radio-ecologische problemen
(SAWORA)

Inhoud

	pagina
Ten geleide	5
1. Inleiding	6
Onderzoek	
Het SAWORA-onderzoek	
2. Straling	8
Hoe ontstaat straling?	
Straling is overal	
Radon en radonochters	
Straling en de mens	
Eenheden	
3. Natuurlijke achtergrondstraling	13
Radionucliden in de bodem	
Gammastraling in de buitenlucht	
Radon in de buitenlucht	
4. Industriële reststoffen	18
Inleiding	
Poederkoolvlieggas en poederkoolvliegstof	
Gips	
Fosfogips	
5. Bouwmaterialen	24
Radioactiviteitsmetingen	
Radonexhalatiemetingen	
6. Gammastraling in de woning	29
7. Radon in de woning	30
Landelijk onderzoek	
Resultaten	
De proefkamer	
De invloed van ventilatie	
8. Straling en gezondheid	36
Aërosolen	
Tumorrisico	
Parameterstudie	
9. Samenvatting en conclusies	41
Rapportages	44
Adreslijst	46
Gebruikte afkortingen	47
Colofon	48

Ten geleide

In het kader van een beleid dat gericht is op het binnen aanvaardbare grenzen houden van de stralingsbelasting van de bevolking in Nederland ging in 1982 een onderzoekprogramma onder de naam SAWORA van start.

Het programma werd gefinancierd door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en het Ministerie van Economische Zaken. De Stichting Projectbeheerbureau Energie Onderzoek (PEO) heeft het SAWORA-programma beheerd en gecoördineerd op verzoek van het Ministerie van Economische Zaken.

Het onderzoekprogramma had de studie van de stralingsaspecten van het wonen en verwante radio-ecologische problemen tot doel. Het is in nauwe onderlinge samenwerking uitgevoerd door een groot aantal Nederlandse onderzoekinstellingen.

Deze brochure geeft een overzicht van de resultaten van het onderzoek. De brochure is samengesteld in opdracht van PEO. De inhoud is tot stand gekomen onder begeleiding van de SAWORA-stuurgroep en technische adviseurs.

1.

Inleiding

Röntgenstraling en radioactiviteit werden ontdekt aan het eind van de vorige eeuw. Vrij snel daarna bleek de betekenis van die ontdekking voor de medische wetenschap. Dank zij bijvoorbeeld het röntgenonderzoek ging de medische diagnostiek met sprongen vooruit. Na de Tweede Wereldoorlog nam het gebruik van radioactieve stoffen snel toe. Het ging nu niet meer alleen om gebruik in de medische sfeer, maar ook om toepassingen op andere wetenschappelijke en technische terreinen, zoals bij materiaalonderzoek, meet- en regeltechniek, en elektriciteitsopwekking.

Men ontdekte echter ook in een vroeg stadium dat een grote dosis straling schadelijke bijverschijnselen kon hebben. Gaandeweg groeide het inzicht dat het nodig was regels op te stellen om een veilig gebruik van straling te garanderen. Dit leidde in 1928 tot de oprichting van de *International Commission on Radiological Protection (ICRP)*, die nog steeds een belangrijke rol speelt door het opstellen van aanbevelingen om het stralingsrisico voor de mens te beperken.

Met die groei in het gebruik van radioactieve stoffen steeg ook de betekenis van de problematiek van de hoeveelheid straling waaraan de mens wordt blootgesteld, de *stralingsbelasting*. Het gaat daarbij om zowel straling die afkomstig is van kunstmatige bronnen, als die van natuurlijke oorsprong.

Onderzoek

In het kader van de EG, het IAEA en de NEA¹ wordt op internationale schaal onderzoek gecoördineerd en uitgevoerd op het gebied van straling en stralingsrisico. Daarnaast worden in internationaal verband beleidsmaatregelen en richtlijnen voorbereid en vastgesteld. De ICRP, die aanbevelingen geeft, werd al genoemd. Verder geeft de Commissie van de Europese Gemeenschappen voorschriften op het gebied van de stralingsbescherming die, overeenkomstig het Euratom-verdrag, bindend zijn voor de lidstaten.

Een belangrijke doelstelling van het beleid van de Nederlandse overheid is de stralingsbelasting binnen aanvaardbare grenzen te houden. Om dat beleid te ondersteunen is onderzoek op nationale schaal en deelname aan internationale onderzoekactiviteiten

onmisbaar. Het *Meerjaren Onderzoekprogramma Stralenbescherming (MOP-S)* van het Ministerie van VROM, heeft tot doel de wetenschappelijke basis voor het beleid te verstevigen.

Het SAWORA-onderzoek

Het SAWORA-onderzoekprogramma maakte deel uit van MOP-S. SAWORA is een afkorting van *Stralingsaspecten van woonhygiëne en verwante radio-ecologische problemen*. In het SAWORA-onderzoek lag de nadruk op stralingsbelasting binnenshuis. Daarbij moet onderscheid gemaakt worden tussen de uitwendige en de inwendige stralingsbelasting van de mens. In dit verband is voor de uitwendige stralingsbelasting met name de gammastraling van belang; de inwendige stralingsbelasting hangt voornamelijk af van de hoeveelheid radon in de lucht en van de radioactieve stoffen in het eigen lichaam.*

De uitwendige stralingsdosis binnenshuis wordt in belangrijke mate bepaald door de totale hoeveelheid radioactieve stoffen die in verschillende bouwmaterialen aanwezig is. De inwendige dosis tengevolge van het inademen van radon en vervalproducten van radon, is afhankelijk van de mate waarin radon vrijkomt uit de grond en uit de bouwmaterialen en hoe radon in de woning wordt verspreid.

In deze brochure wordt een algemeen beeld gegeven van het onderzoek en de resultaten.

Na een korte toelichting op het begrip straling (hoofdstuk 2), wordt in hoofdstuk 3 aandacht besteed aan de gammastraling en de radonconcentratie in de buitenlucht; verder komen daar de concentraties van radionucliden in de Nederlandse bodem ter sprake.

In hoofdstuk 4 worden eerst de radio-ecologische aspecten van poederkoolvliegias en gips behandeld. Bouwmaterialen komen aan de orde in hoofdstuk 5.

In hoofdstuk 6 wordt de gammastraling binnenshuis behandeld.

Hoofdstuk 7 geeft een overzicht van de radonconcentraties in Nederlandse woningen en de geconstateerde verschillen in concentraties.

De synthese van de verschillende factoren die de stralingsbelasting in de woning beïnvloeden, de wijze waarop radon en radonochters in de longen komen en de bijdrage die zij leveren tot het ontstaan van longtumoren, komen aan de orde in hoofdstuk 8, evenals het rekenmodel waarmee de stralingsaspecten van bepaalde bouwtechnische ontwikkelingen kunnen worden doorgerekend.

In hoofdstuk 9 tenslotte worden de belangrijkste resultaten van het SAWORA-programma samengevat.

Er is naar gestreefd een zo compleet mogelijk beeld te geven van de resultaten van het SAWORA-onderzoek. Nadere details, bijvoorbeeld over de gebruikte meetmethoden, kan men vinden in de deelrapporten van de verschillende onderzoekinstellingen. Een lijst van deze rapporten is als bijlage opgenomen (zie pag. 44).

* De termen radioactiviteit, gammastraling, radon e.d. worden nader verklaard op

2.

Straling

Straling is een veelomvattend begrip. Men onderscheidt *elektromagnetische straling* (radio- en radarstraling, warmtestraling, infrarood, zichtbaar en ultraviolet licht, röntgenstraling en gammastraling) en straling die bestaat uit *deeltjes*.

Een aantal stoffen zendt van nature straling uit. Als die straling bestaat uit *alfadeeltjes* (als het ware een brokje atoom van twee protonen en twee neutronen) spreekt men van *alfastraling*. Een andere mogelijkheid is dat elektronen worden uitgezonden: *bètastraling*. Meestal wordt tegelijk met alfastraling of bètastraling elektromagnetische straling uitgezonden: *gammastraling*.

Alfa-, bèta- en gammastraling worden ook wel samengevat onder de naam *ioniserende straling*, omdat dergelijke straling op haar weg door de materie elektronen uit de atomen kan losmaken. In levende cellen kunnen hierdoor veranderingen optreden die een zeker risico voor de gezondheid (tumoren, genetische afwijkingen) kunnen opleveren.

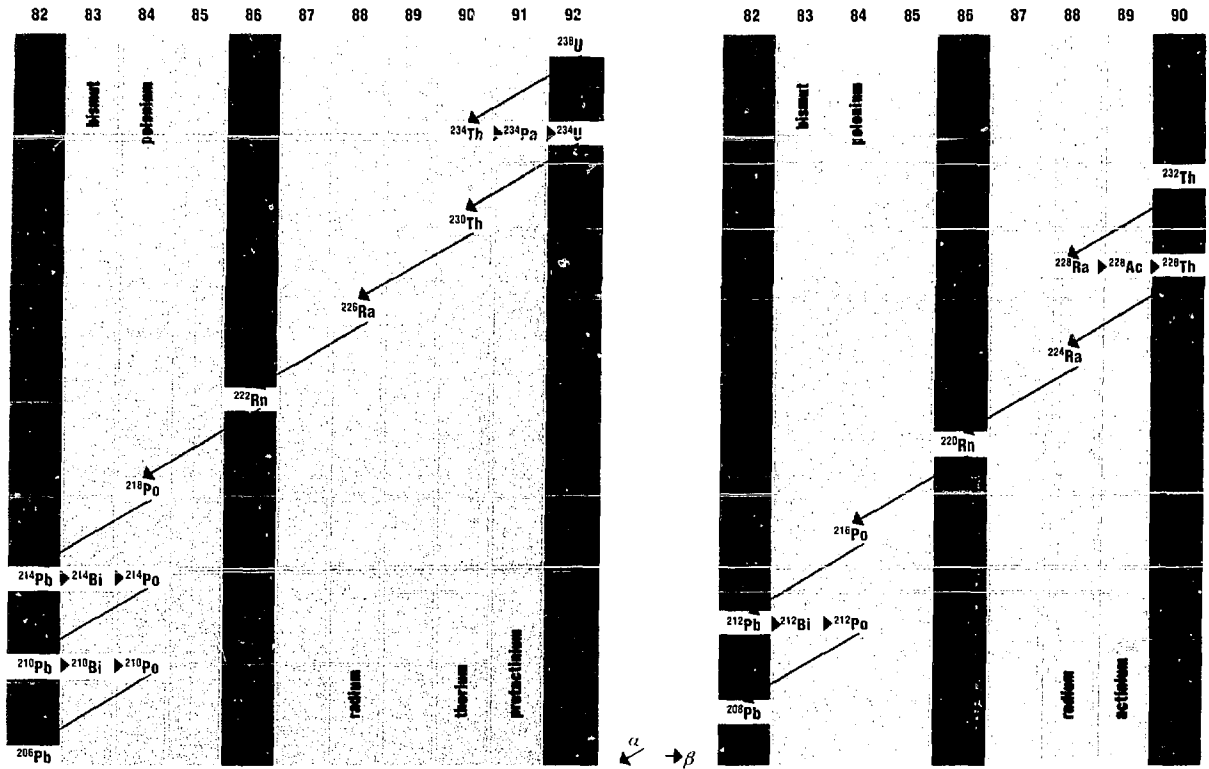
Hoe ontstaat straling?

De materie is opgebouwd uit atomen, die bestaan uit een zeer kleine kern met daaromheen een aantal elektronen. De atoomkern is opgebouwd uit protonen en neutronen. Een bepaalde atoomsoort heeft altijd evenveel protonen als elektronen; het aantal neutronen kan echter bij kernen van eenzelfde atoomsoort verschillen.

In de natuur komt van een bepaalde atoomsoort een beperkt aantal varianten (*isotopen*) met een afwijkend aantal neutronen voor. Sommige isotopen hebben *instabiele* kernen: zij gaan op den duur over in een andere kern (*radioactief verval*) en zenden daarbij straling uit. Men spreekt in dat geval van een *radionuclide*.

De atoomsoort kalium bijvoorbeeld heeft 19 protonen en 20 neutronen in de kern, totaal dus 39 deeltjes. Men spreekt dan van kalium-39 of ^{39}K . Naast deze stabiele kern ^{39}K komen in de natuur nog een stabiele kern voor (^{41}K met 19 protonen en 22 neutronen) en een instabiele kern (^{40}K met 19 protonen en 21 neutronen).

Als de bij het radioactief verval gevormde kern eveneens instabiel is, zet het radioactief verval zich voort totdat uiteindelijk een stabiele kern is ontstaan. Dit is het geval bij de in de natuur voorkomende radionucliden uranium en thorium, waarvan het vervalproces pas eindigt bij de stabiele kern lood.



De snelheid waarmee een radionuclide uiteenvalt wordt weergegeven door de *halveringstijd*; de tijd die verstrijkt totdat de helft van de aanwezige kernen is uiteengevallen. Deze halveringstijden kunnen sterk uiteenlopen. Uranium-238 bijvoorbeeld heeft een halveringstijd van $4\frac{1}{2}$ miljard jaar; thorium van 14 miljard jaar. De halveringstijd van de radonisotoop in de vervalreeks van uranium (^{222}Rn) is iets minder dan vier dagen, die van radon in de vervalreeks van thorium (^{220}Rn , ook wel thoron genoemd) ongeveer een minuut.

Vervalreeksen van uranium en thorium (zie de tekst).

Straling is overal

Straling is voor een deel afkomstig van radioactieve stoffen die van nature in de aardkorst aanwezig zijn. Bouwmaterialen bevatten vaak grondstoffen waarin deze radioactieve stoffen eveneens voorkomen. De belangrijkste zijn de metalen radium (een radioactief vervalprodukt van uranium), thorium en kalium.

Straling kan ook uit de kosmos afkomstig zijn. In de kosmos bewegen deeltjes met hoge energie, onder andere afkomstig van de zon. Deze *kosmische straling* kan bij botsingen met de atoomkernen van waterstof, zuurstof en stikstof die in de atmosfeer aanwezig zijn, andere kernen en deeltjes vormen die worden aangeduid als *secundaire kosmische straling*. Van deze straling bereikt een deel het aardoppervlak.

Deze bronnen zijn er samen de belangrijkste oorzaak van dat radioactieve stoffen voorkomen in de lucht, in ons voedsel en in ons lichaam.

Naast de ioniserende straling van natuurlijke herkomst is er straling die het gevolg is van menselijk handelen. Sommige radionucliden worden kunstmatig vervaardigd, zoals stralingsbronnen voor medisch gebruik.

Radon en radondochters

In de vervalreeksen op pagina 9 is het verloop van het verval van uranium-238 en thorium-232 weergegeven. In tegenstelling tot de overige vervalprodukten van uranium en thorium is radon een gas. Uit stoffen die uranium en thorium bevatten kan dus radongas vrijkomen (*exhalatie* van radon) dat zich met de lucht vermengt. De radioactieve vervalprodukten van radon (*radondochters*) zijn vaste deeltjes en hechten zich onder andere aan in de lucht aanwezige aërosolen (stofdeeltjes, watermoleculen e.d.). Door inademen (*inhalatie*) krijgen we dus radionucliden binnen; sommige daarvan zenden alfastralen uit.

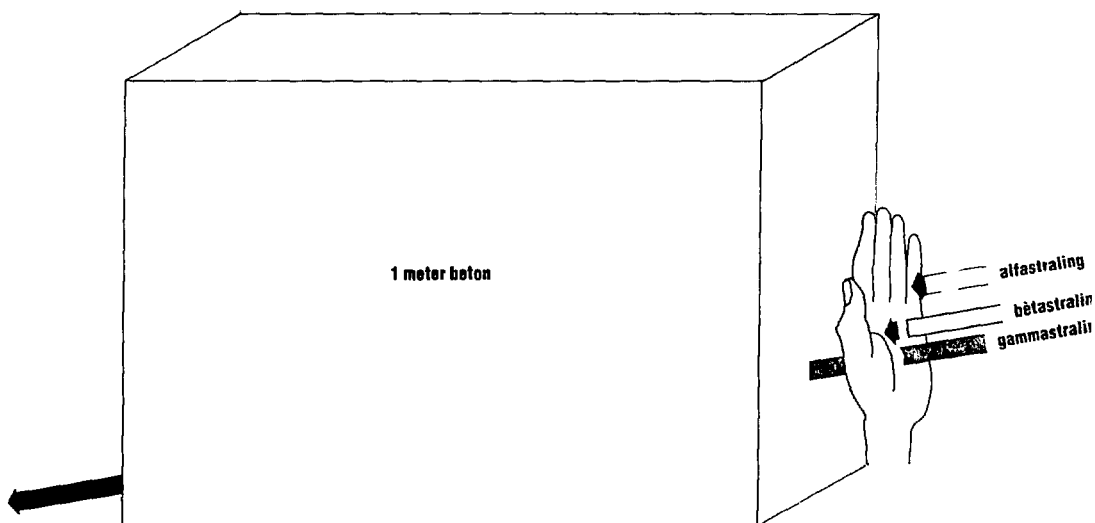
Straling en de mens

De mens wordt blootgesteld aan uitwendige en inwendige straling. Uitwendige bestraling geschiedt bijvoorbeeld door natuurlijke gammastraling; inwendige straling is onder meer afkomstig van radioactieve stoffen in ons voedsel en van de radondochters die we inademen. Afhankelijk van het soort bestraling kan het hele lichaam, of één of meer organen worden blootgesteld. Door het inademen van radondochters worden de longen aan straling blootgesteld.

Bij bestraling komen elektronen vrij uit hun atoomstructuur. Dit verschijnsel wordt aangeduid als *ionisatie*.

De mate waarin ionisatie optreedt, wordt bepaald door de hoeveelheid opgenomen straling, de *dosis* en de soort straling. Een bepaalde dosis alfastraling maakt meer elektronen vrij dan een even grote dosis gammastraling. Alfastraling dringt overigens veel minder diep in stof of in levend weefsel door dan gammastraling.

Alfa-, bèta- en gammastraling hebben een verschillend effect op materie. Gammastraling dringt verder door dan bèta- en alfastraling en kan daarom schadelijker zijn voor de gezondheid.



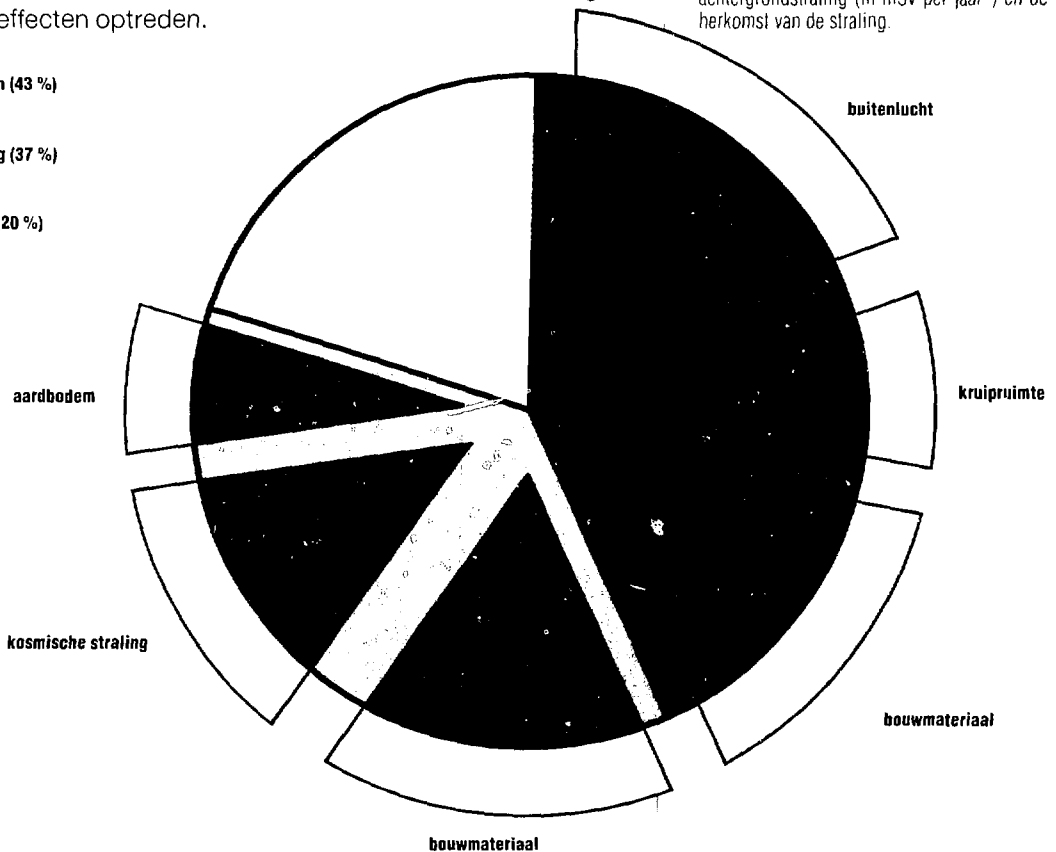
Als lichaamscellen aan straling worden blootgesteld, kan de schade die in een cel optreedt meestal door de cel zelf worden hersteld. Maar straling kan ook *celdood* of *celtransformatie* veroorzaken. In het geval van celdood is een cel niet meer in staat zich te vermenigvuldigen door deling; voor weefsels die afhankelijk zijn van delende cellen is het dan alsof de cel dood is. Als er veel celdood in een orgaan is ontstaan, kan dat aanleiding geven tot functieverlies van dat orgaan.

Bij celtransformatie treden veranderingen in de cel op die na vele jaren nog aanleiding kunnen geven tot de vorming van tumoren. Men noemt dit soort *vertraagde effecten* *late effecten*, in tegenstelling tot *acute effecten* die alleen bij zeer hoge doses voorkomen.

Van in de natuur voorkomende straling, de *achtergrondstraling*, zijn acute effecten niet te verwachten. Wel kunnen in sommige gevallen late effecten optreden.

Schatting van de relatieve bijdragen van de drie belangrijkste bronnen van natuurlijke achtergrondstraling (in mSv per jaar*) en de herkomst van de straling.

- radon en thoron (43 %)
- externe straling (37 %)
- eigen lichaam (20 %)



Uit de figuur blijkt onder meer dat de belangrijkste bijdrage aan de blootstelling wordt gegeven door radon en radon dochterproducten. De cursief gedrukte stralingsbronnen zijn in het SAWORA-programma onderzocht. Stralingsbelasting als gevolg van beroepsmatige blootstelling en van medisch handelen waren niet in het programma opgenomen.

* Men kan het aantal nSv per uur bepalen door de waarden in mSv per jaar te vermenigvuldigen met 114.

Eenheden

De hoeveelheid radioactiviteit wordt uitgedrukt in de eenheid *becquerel (Bq)*. Het aantal Bq voor een bepaalde radioactieve stof geeft het aantal atoomkernen aan dat per seconde vervalst. Vroeger gebruikte men de eenheid curie (Ci); 1 Ci is gelijk aan $37 \cdot 10^9$ Bq.

De *stralingsdosis*, een maat voor de hoeveelheid energie die door straling aan materie wordt afgegeven, wordt uitgedrukt in *gray (Gy)*. De oude eenheid, rad, komt overeen met 0,01 Gy.

Niet alle ioniserende straling is in biologisch opzicht even schadelijk. Het biologisch effect van de dosis wordt aangegeven door het *effectieve dosisequivalent*, uitgedrukt in *sievert (Sv)*. Vroeger gebruikte men de eenheid rem; 1 rem is gelijk aan 0,01 sievert. Bij stralingsbelasting door gammastraling van buitenaf, komt 1 gray in lucht ongeveer overeen met 0,7 sievert in het lichaam.

In deze brochure wordt de intensiteit van de uitwendige straling bij voorkeur uitgedrukt in nanosievert (nSv) per uur, kortweg *dosis-tempo* genoemd. Eén nanosievert is één miljardste sievert. Soms worden ook millisieverts gebruikt; één millisievert is één duizendste sievert.

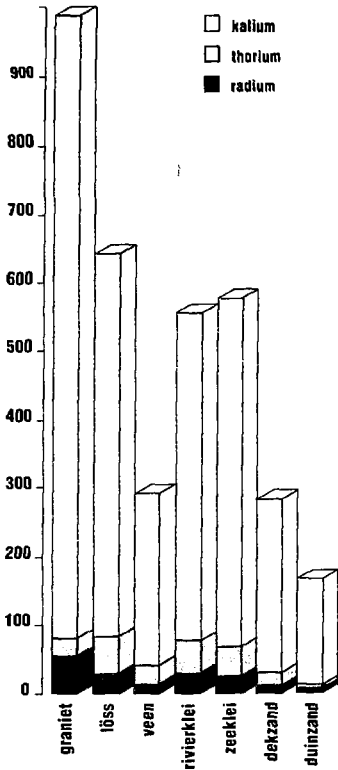
Natuurlijke achtergrondstraling buiten de woning **3.**

De kosmische straling en de straling die veroorzaakt wordt door de aanwezigheid van radioactieve stoffen in de bodem, vormen samen de *natuurlijke achtergrondstraling*.

De natuurlijke achtergrondstraling buitenshuis wordt vooral bepaald door de grondsoort. Gesteenten als graniet, die in andere landen vaak een belangrijk deel van de bodem uitmaken, bevatten grotere hoeveelheden radioactieve stoffen dan de sedimentaire grondsoorten in ons land. Daarom is het niveau van de achtergrondstraling in Nederland laag in vergelijking met het niveau in landen met bijvoorbeeld veel graniet in de bodem. Daardoor en ook dank zij de ligging aan zee en de overheersende westenwinden, is de concentratie van het gasvormige radon in de lucht laag.



Gemiddelde concentratie van radionucliden in graniet (Oostenrijk) en in Nederlandse grondsoorten, uitgedrukt in Bq per kilogram.

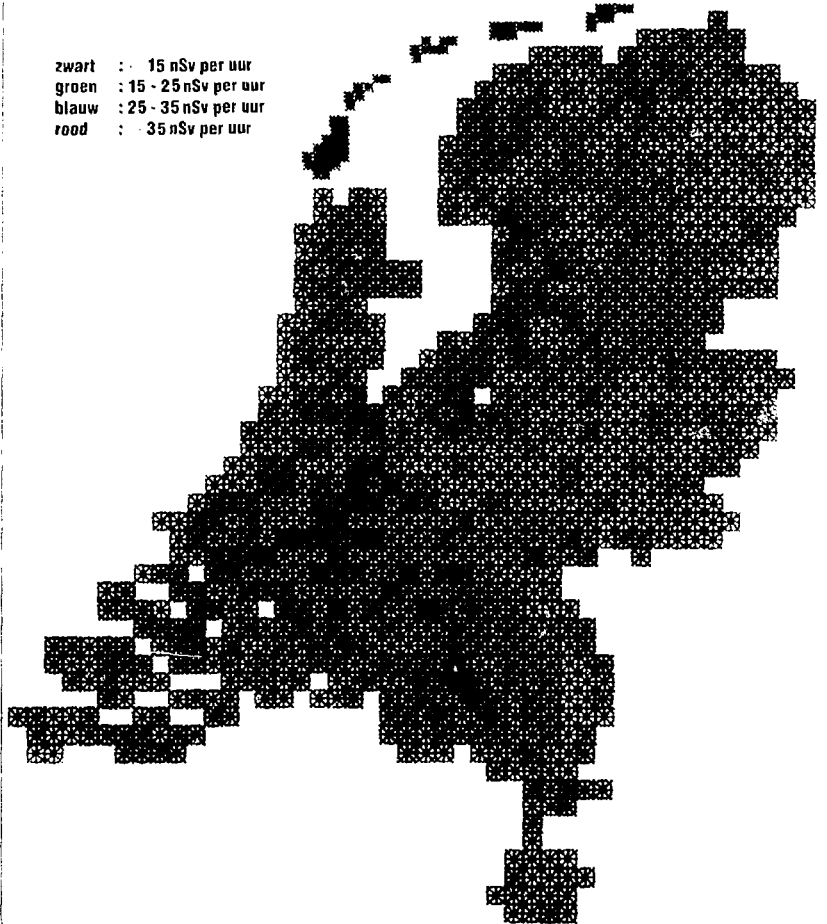


Om een gedetailleerd beeld te krijgen van de natuurlijke achtergrondstraling buitenshuis waaraan de Nederlandse bevolking blootstaat, is in diverse monsters van in Nederland voorkomende grondsoorten het gehalte aan radioactieve stoffen bepaald. Verder zijn landelijke metingen verricht naar de intensiteit van gammastraling vanuit kosmos en bodem, en naar de radonconcentratie afkomstig van natuurlijke bronnen.

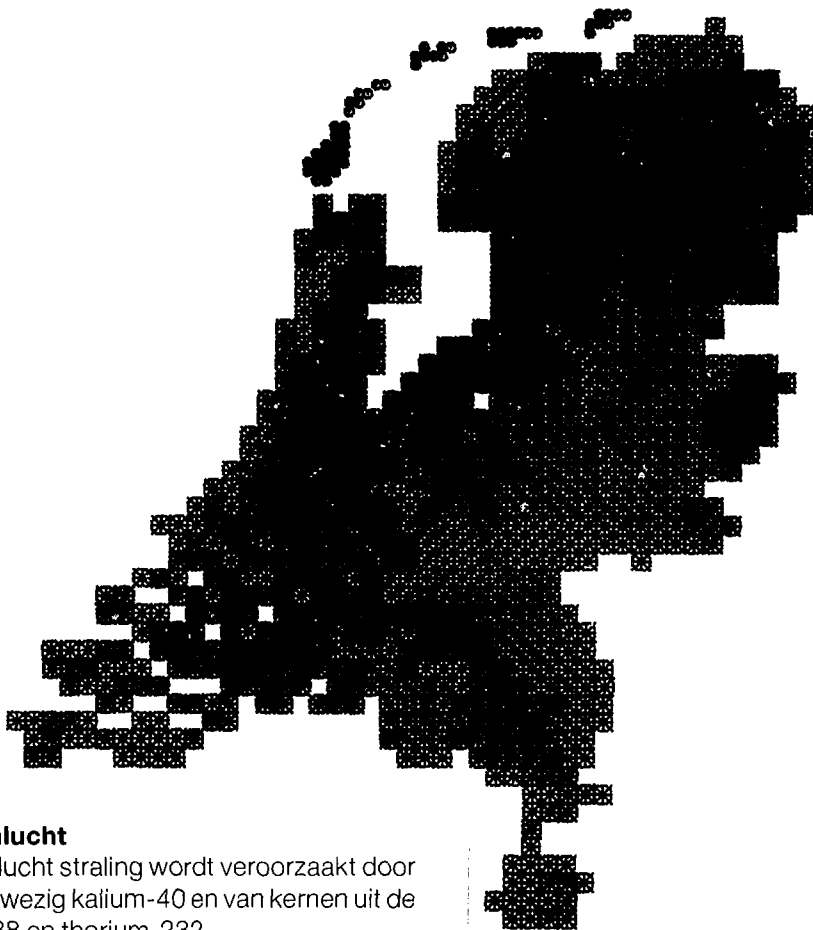
Radionucliden in de bodem

Om het verband te onderzoeken tussen de grondsoort en het stralingsniveau in de buitenlucht, is het gehalte aan radionucliden bepaald in de verschillende grondsoorten die in ons land voorkomen, zoals klei, veen, leem en zand. Voor de volledigheid is ook dekzand onderzocht, dat wordt opgespoten bij het bouwrijp maken van bouwgrond. Van 28 grondmonsters werd het gehalte aan radium-226, thorium-232 en kalium-40 bepaald. Het resultaat is in de grafiek weergegeven.

zwart : - 15 nSv per uur
 groen : 15 - 25 nSv per uur
 blauw : 25 - 35 nSv per uur
 rood : 35 nSv per uur



zwart : zand, steen, grint
 blauw : zand/leem, klei/veen
 rood : klei, leem



Grondsoortenkaart van Nederland.

Gammastraling in de buitenlucht

De gammastraling in de buitenlucht straling wordt veroorzaakt door het verval van in de bodem aanwezig kalium-40 en van kernen uit de vervalreeksen van uranium-238 en thorium-232.

Door RIVM en ECN werd het niveau van de gammastraling onderzocht in het vrije veld. Op de gammastraling in woningen komen wij in hoofdstuk 6 terug.

Op ruim 1000 plaatsen in Nederland is het dosistempo bepaald. De meetpunten vormden een landelijk netwerk. Uit het onderzoek blijkt dat in ons land het niveau van gammastraling afkomstig uit de aardkorst (dus na aftrek van de kosmische straling) varieert tussen 7 en 44 nSv per uur, met een gemiddelde waarde van rond 23 nSv per uur. Ter vergelijking: in West-Duitsland werd gemiddeld 36 nSv per uur gemeten en in Oostenrijk 30 nSv per uur.

In de linker kaart van Nederland zijn de dosistemporen voor gammastraling van de bodem in Nederland uitgezet. Wanneer men de kaart vergelijkt met de grondsoortenkaart van ons land (boven) blijkt er een zekere overeenkomst te zijn. De hogere waarden – meer dan 35 nSv per uur – komen voor in gebieden met hoofdzakelijk zee- en rivierkleigronden en in het Zuidlimburgse lössgebied. Lage waarden – minder dan 15 nSv per uur – vindt men vooral in gebieden met veel zand en grint. Het tussengebied wordt gevormd door gronden met een mengsel van bijvoorbeeld klei met veen, of zand met leem.

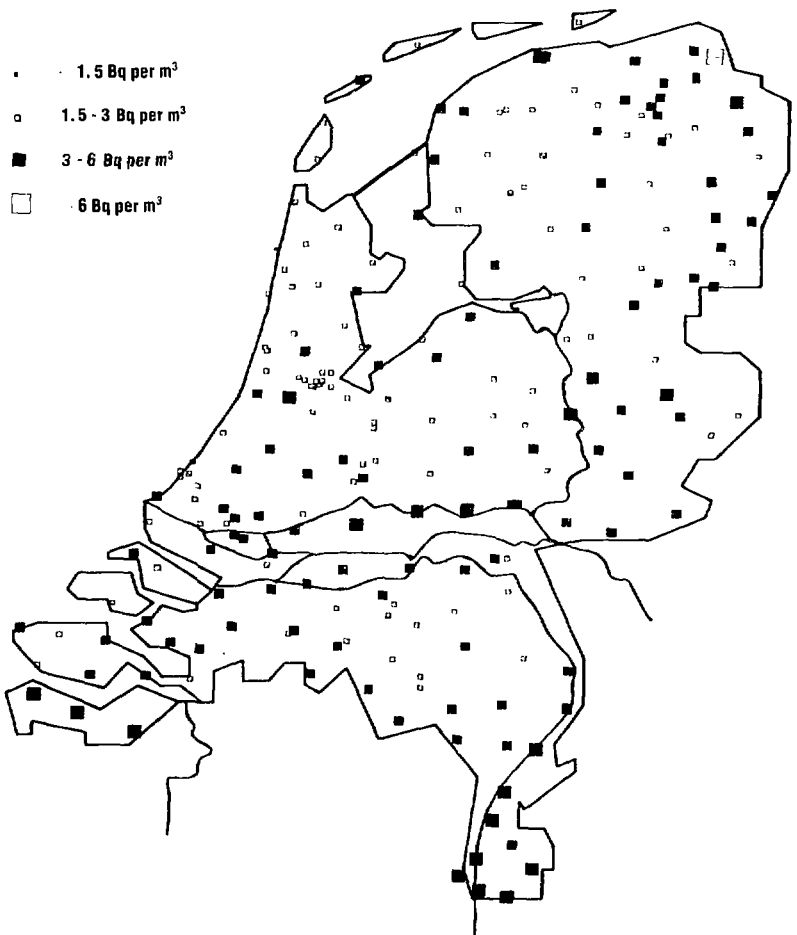
Radon in de buitenlucht

Het KVI heeft met behulp van meetbekers een onderzoek uitgevoerd naar de radonconcentraties in de buitenlucht. Het principe van deze metingen wordt beschreven in hoofdstuk 7. De resultaten van het landelijk onderzoek zijn weergegeven in de hieronder afgebeelde radonkaart.

De gemeten radonconcentraties liggen tussen 1 en 10 Bq per m³, met een gemiddelde waarde van 3,5 Bq per m³. De radonconcentraties zijn gemeten op een hoogte van 1,5 à 2 meter. Het is opmerkelijk dat ondanks de luchtstromingen, waarvan men een nivellerend effect zou verwachten, zulke grote verschillen over relatief kleine afstanden zijn gevonden. Dit wijst erop dat de radonexhalatie uit de bodem zelf nog veel grotere variaties vertoont.

Hoe groot het verschil kan zijn tussen de radonconcentratie in de bodem en in de lucht op 1,5 meter er boven, blijkt uit een meting met een beker juist onder het aardoppervlak. De meting in de bodem gaf een concentratie van circa 3000 Bq per m³ aan, terwijl het jaargemiddelde voor radon in de lucht ter plaatse circa 3 Bq per m³ bedroeg.

De gebieden met hoge en lage radonconcentratie vallen overigens niet overal samen met de grondsoort.



De conclusie is dat *gammastraling* uit de bodem in Nederland tussen 7 en 44 nSv per uur bijdraagt tot de totale natuurlijke achtergrondstraling, met een gemiddelde van 23 nSv per uur. Deze waarden variëren in grote lijnen met de grondsoorten in de bodem.

De aanwezigheid van *radon* in de buitenlucht kan ook in deze eenheden worden uitgedrukt en draagt tussen 11 en 110 nSv per uur bij, met een gemiddelde van 39 nSv per uur.

4. Industriële reststoffen

Inleiding

In het vorige hoofdstuk is nagegaan welke omvang de natuurlijke achtergrondstraling heeft in de buitenlucht. De natuurlijke achtergrondstraling kan veranderen doordat industriële reststoffen in het milieu worden gebracht, zoals de reststoffen van de verbranding van steenkool, waaronder poederkoolvliegias en de reststoffen van de produktie van kunstmest uit fosfaaterts (het zogenaamde *fosfogips*).

De gevolgen voor de straling binnenshuis van het gebruik van vliegias en fosfogips als bestanddelen van bouwmaterialen, komen in hoofdstuk 5 aan de orde.

In dit hoofdstuk ligt de nadruk op de gevolgen van de produktie van vliegias en vliegiasstof als gevolg van het steenkoolverbruik voor de elektriciteitsproduktie en de gevolgen van de produktie van fosfogips. In het SAWORA-programma zijn de effecten hiervan op het stralingsniveau in ons land onderzocht.

Kolengestookte elektriciteitscentrale met ontzwavelingsinstallatie.



Poederkoolvliegias en poederkoolvliegstof

In steenkool komen geringe hoeveelheden radioactieve stoffen voor, zoals radium, thorium en kalium. Na de verbranding van de steenkool blijven deze radionucliden geconcentreerd achter in de as.

In een elektriciteitscentrale waarin poederkool wordt gestookt, wordt het grootste deel van de as als fijne deeltjes met de rookgassen uit de verbrandingsoven meegevoerd. De rookgassen passeren filters die ruim 99 % van de as afvangen. Het afgevangen deel noemt men *vliegias*; het overige deel, dat via de schoorsteen in de atmosfeer terecht komt, noemt men *vliegstof*.

In de grafiek is een overzicht gegeven van de radioactiviteit van radium, thorium en kalium in de grond, in steenkool en in vliegias en vliegstof.

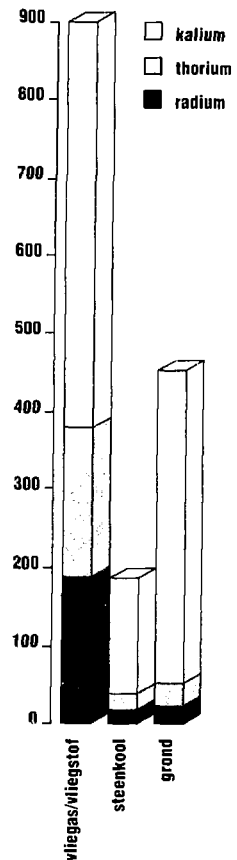
Volgens vroegere berekeningen zouden in 1990 één miljoen ton vliegias en ruim duizend ton vliegstof geproduceerd worden in elektriciteitscentrales. De vliegiasproductie zou kunnen oplopen tot 1,6 miljoen ton in het jaar 2000; aan vliegstof zou in dat jaar dan ongeveer 1600 ton vrijkomen. Op het moment wordt geschat dat de vliegiasproductie in het jaar 1990 circa 750 duizend ton zal bedragen, oplopend tot circa 825 duizend ton in het jaar 2000. De vliegstofproductie wordt nu geschat op 7,5 duizend ton in 1990 en 8,3 duizend ton in het jaar 2000.

Door RIVM werd, voor de verschillende verspreidingswegen in het milieu, nagegaan in hoeverre vliegias en vliegstof bijdragen tot de stralingsbelasting van de Nederlandse bevolking. Hierbij werd als uitgangspunt een hoog kolenverbruik genomen en verder werd aangenomen dat alle kolen gestookt worden in poederkoolketels. Alleen de radioactiviteit werd onder de loep genomen; het lag niet in de lijn van het onderzoek aandacht te besteden aan mogelijk voor het milieu schadelijke zware metalen die ook in vliegias en vliegstof voorkomen.

Vliegias- en vliegstofdeeltjes hebben een glasachtige structuur waarbinnen de radionucliden stevig ingekapseld zijn. Het uitspoelen van de radionucliden door regen- en grondwater (*uitloging*) is daarom maar in beperkte mate mogelijk. Door deze glasachtige structuur van de vliegiasdeeltjes is ook de radonexhalatie gering, zelfs ruim een factor 5 lager dan die van normale grond. Opslag van vliegias in het buitenmilieu zal dus niet leiden tot verhoging van de stralingsbelasting ten gevolge van radon. Zelfs bij ongecontroleerd storten, wat in het verleden nog wel eens gebeurde, hoeft als gevolg van de slechte uitloogbaarheid van de verschillende nucliden evenmin gevreesd te worden voor een verhoging van de radioactiviteit.

Het gebruik van vliegias in de wegenbouw is één van de onderzochte toepassingen. Vliegias kan dienen als fundering onder het wegdek en als vulstof in asfaltbeton. Uitloging vindt ook dan vrijwel niet plaats; de radonexhalatie is minder dan vanuit grond.

Gemiddelde radioactiviteit in vliegias en vliegstof, in steenkool en in Nederlandse grond, uitgedrukt in Bq per kilogram.



De conclusie is dan ook dat het gebruik van vliegas in wegen niet tot een verhoging van de stralingsbelasting leidt.



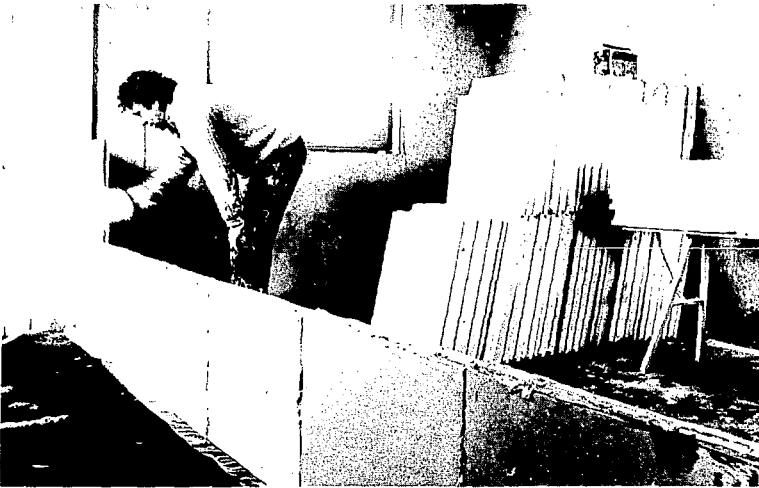
Anders dan de vliegas, die afgevangen wordt, gaat het vliegstof de schoorsteen uit. De vliegstofdeeltjes verspreiden zich in de atmosfeer en de concentratie neemt dus geleidelijk af. Het vliegstof zakt te zelfde tijd langzaam naar het aardoppervlak en kan dan met de lucht worden ingeademd.

Slaat vliegstof neer op de grond, op gewassen of in waterbekkens, dan kan dat leiden tot verhoging van de stralingsbelasting, onder andere via de voedselketen.

Bij een inmiddels achterhaalde hoge schatting van het steenkoolverbruik (45 miljoen ton in het jaar 2030) en onder de aanname dat alle steenkool inclusief cokeskolen in poederkoolketels gestookt zal worden, zou er in het jaar 2030 op leefniveau ongeveer 1 gram vliegstof in 1,6 miljoen m³ lucht aanwezig zijn. Bij inademing wordt de stralingsbelasting van de mens gemiddeld met 0,05 nSv per uur verhoogd; dit is circa 0,025 % van de natuurlijke stralingsbelasting (200 nSv per uur).

Op grond van dezelfde aanname werd berekend dat de hoeveelheid vliegstof die jaarlijks neerslaat, tegen 2030 opgelopen zou zijn tot circa 7 kilogram per hectare. In natuurgebieden en in weilanden zou hierdoor de concentratie van de natuurlijke radionucliden in de top-laag van de bodem met ongeveer 0,2 tot 0,4 % zijn toegenomen; dit is laag ten opzichte van de natuurlijke variatie.

De verhoging van de stralingsbelasting door de consumptie van melk en vlees van vee dat een weiland begraast waarop vliegstof neerslaat, wordt geraamd op 0,02 nSv per uur (0,01 % van de natuurlijke stralingsbelasting van 200 nSv per uur). De effecten op het drinkwater, als gevolg van neerslag van vliegstof in waterwingebieden met spaarbekkens, zijn voor het jaar 2030 berekend op een verhoging van 0,001 % tot 1 % van bepaalde nucliden in het drinkwater.



Het opmetselen van gipsblokken voor een tussenmuurtje.

Uit het onderzoek blijkt dat de totale stralingsbelasting van de mens gemiddeld met minder dan 0,1 % verhoogd zou worden wanneer grote hoeveelheden vliegstof en vliegstof in het milieu terecht komen. Deze verhoging wordt vrijwel geheel veroorzaakt door inademing van vliegstof en door de consumptie van melk en vlees waarin radionucliden uit vliegstof terecht zijn gekomen.

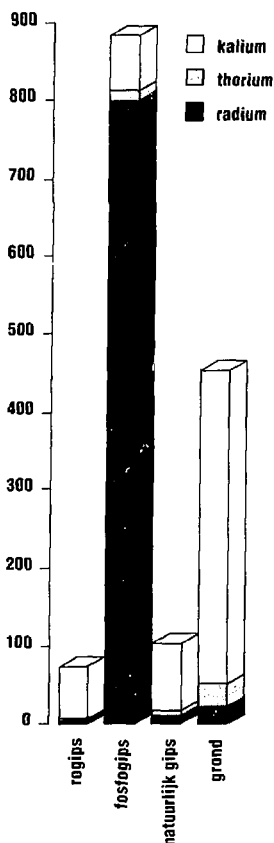
Omdat bij deze berekeningen van een veel te hoge vliegstof- en vliegstofproductie werd uitgegaan, mag men de genoemde 0,1 % extra stralingsbelasting voor het jaar 2030 als een maximum beschouwen.

Men mag dus concluderen dat vliegstof en vliegstof geen noemenswaardige verhoging van de stralingsbelasting in het buitenmilieu zullen veroorzaken.

Gips

Gips is de algemene benaming voor verschillende vormen van de chemische verbinding calciumsulfaat. Het komt in meerdere vormen in de natuur voor als gevolg van geologische afzetting; verder ontstaat het als afvalproduct bij verschillende industriële processen.

Gemiddelde radioactiviteit in verschillende gipssoorten en in Nederlandse grond, uitgedrukt in Bq per kilogram.



Gips wordt gebruikt als grondstof voor bouwmaterialen. Een groot deel van het gips dat ontstaat als afvalstof blijft echter ongebruikt en kan in het milieu terecht komen door storten op het land of lozing in water.

In het onderzoek is alleen aandacht besteed aan de stralingsaspecten van gips. Andere milieuhygiënische aspecten, zoals de aanwezigheid van zware metalen, zijn hier buiten beschouwing gebleven.

In Nederland werd in 1981 circa 360 duizend ton *natuurgips* geïmporteerd voor gebruik in de productie van cement, gipskartonplaten en gipsblokken. Tevens werd in 1981 circa 2 miljoen ton *fosfogips* (als reststof van de kunstmestproductie) geproduceerd.

Afhankelijk van het industriële proces en de hierbij gebruikte grondstoffen bevat afvalgips een aantal verontreinigingen.

Fosfogips bijvoorbeeld ontstaat bij de productie van fosforzuur uit fosfaaterts en kan vrij veel radionucliden bevatten, met name radium. Ruim 90 % van het in Nederland geproduceerde afvalgips is fosfogips van erts van sedimentaire oorsprong. *Rogips*, dat in kolengestookte elektriciteitscentrales ontstaat bij ontzwaveling van rookgassen, heeft ongeveer hetzelfde en vaak zelfs een lager gehalte aan radionucliden dan natuurgips. De eerste rookgasontzwavelingsinstallatie in ons land produceert ongeveer 30.000 ton gips per jaar.

Een overzicht van de activiteitsconcentraties in grond en verschillende gipssoorten wordt gegeven in nevenstaande grafiek.

Fosfogips

Fosfogips wordt in Nederland nauwelijks meer als grondstof gebruikt en komt vooralsnog geheel in het milieu terecht. Gipsblokken uit het buitenland kunnen voor een deel gefabriceerd zijn met fosfogips, maar die worden inmiddels niet meer geïmporteerd.

RIVM heeft de invloed onderzocht van de radionucliden uit fosfogips op het milieu en op de stralingsbelasting van de mens.

Twee bedrijven lozen hun fosfogips, totaal ongeveer 2 miljoen ton per jaar, op de Nieuwe Waterweg. Tot 1983 werd ook fosfogips geloosd op de Westerschelde. Uit het onderzoek is gebleken dat vrijwel al het in de Nieuwe Waterweg geloosde fosfogips direct met het Rijnwater in de Noordzee stroomt. Door middel van berekeningen zijn schattingen gemaakt van de verspreiding en de effecten van de fosfogipslozingen.

Gemiddeld bevat het Rijnwater door de fosfogipslozingen ongeveer 40 gram fosfogips per m³ rivierwater. Dit gips lost geleidelijk op. Het stroomt met het zeewater in een 30 kilometer brede strook langs de kust noordwaarts en wordt daardoor verdund. In het traject van Hoek van Holland tot Den Helder bevat het zeewater volgens de schatting gemiddeld 2,5 gram fosfogips per m³.

Vis, mosselen en garnalen uit deze gebieden zullen een deel van de radionucliden uit het in het zeewater aanwezige fosfogips opnemen en inbouwen in hun lichaam. ECN heeft hiervan schattingen

gemaakt. Daarbij is uitgegaan van hoge schattingen met betrekking tot de opname van radioactieve stoffen door zeedieren.

Als men een jaarlijkse consumptie aanneemt van 5 kilogram vis, 700 gram mosselen en 100 gram garnalen, zal de verhoging van de gemiddelde stralingsbelasting hoogstens 1,4 nSv per uur bedragen.

De consumptie door de mens van dit zeevoedsel zal daardoor resulteren in een toename van de stralingsbelasting van minder dan 1 % van de natuurlijke stralingsbelasting (200 nSv per uur).



Alternatieven voor het lozen van afvalgips in de Nieuwe Waterweg zijn gecontroleerde opslag op het land, gebruik in de wegenbouw en gebruik als grondstof voor bouwmaterialen. Bij opslag kan een zekere verhoging van de stralingsbelasting optreden doordat radon kan ontsnappen zolang de opslag niet afgedekt is. In het extreme geval dat 100 hectare fosfogips geheel onafgedekt wordt opgeslagen en drooggevallen is, zal een persoon die op 500 meter afstand van deze opslag woont een extra stralingsbelasting ontvangen van circa 1,1 nSv per uur of 0,6 % van de natuurlijke stralingsbelasting.

De conclusie is dat de natuurlijke stralingsbelasting van de gemiddelde Nederlander door de fosfogipslozingen in de Nieuwe Waterweg maximaal met 0,6 % verhoogd wordt. De radio-ecologische gevolgen van het storten of het lozen van afvalgips vormen dan niet het hoofdprobleem. Andere milieuhygiënische bezwaren, zoals het gehalte aan zware metalen, bepalen de vraag of en in welke mate deze stoffen gestort of geloosd mogen worden.

5. Bouwmaterialen

De meeste bouwmaterialen bevatten bestanddelen die straling uitzenden. Dat geldt zowel voor bouwmaterialen waarin natuurlijke grondstoffen zijn verwerkt als voor bouwmaterialen waarvoor reststoffen als grondstof zijn gebruikt. Als er in de toekomst steeds meer gebruik gemaakt wordt van bouwmaterialen waarin bijvoorbeeld vliegashoudend cement of afvalgips is verwerkt, zou daarmee ook de stralingsbelasting van de mens kunnen veranderen.



Het gebruik van reststoffen in bouwmaterialen is niet nieuw. In de cementindustrie worden al jaren hoogovenslakken gebruikt. Van de vlieg-as die beschikbaar komt bij de elektriciteitsproductie wordt een groot deel al toegepast als grondstof voor bouwmaterialen en in de wegenbouw.

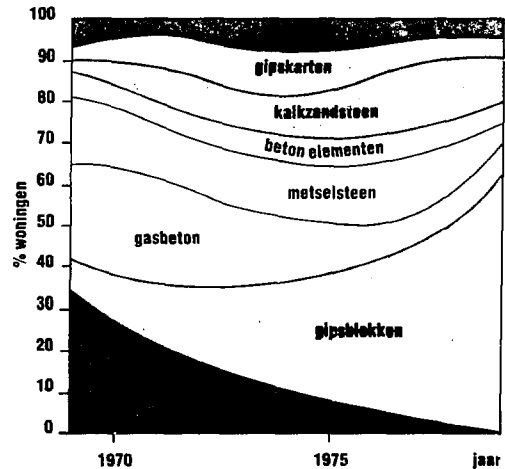
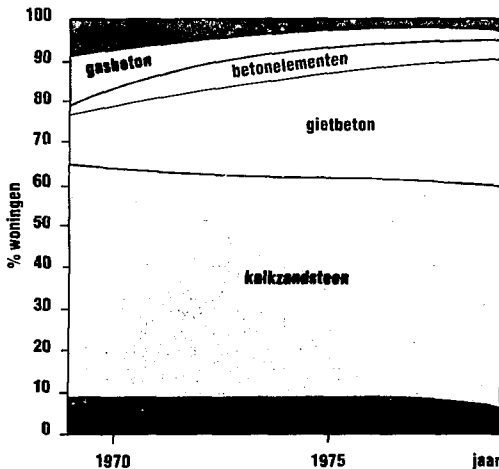
Ook afvalgips kan gebruikt worden als grondstof voor bouwmaterialen. Nu importeren wij dagelijks nog tonnen natuurgips en voeren dagelijks eveneens tonnen gips als afval van verschillende productieprocessen af naar de zee. Het ligt dus voor de hand om dit afvalgips in bouwmaterialen toe te passen.



IBBC-TNO heeft een overzicht samengesteld van bouwmaterialen die nu in Nederland meestal worden gebruikt of in de toekomst steeds meer gebruikt zullen worden, en van de daarvoor gebruikte grondstoffen.

Beton is één van de meest gebruikte bouwmaterialen. Het wordt op de voet gevolgd door baksteen en kalkzandsteen. Ook gipsproducten worden – in de vorm van blokken, platen en afwerkpleisters – veel toegepast.

De vervanging van traditionele grondstoffen door reststoffen vindt plaats door de toepassing van vlieg-as in cement, in beton en in de wegenbouw; fosfogips en roggips beginnen geleidelijk aan natuurgips te vervangen.



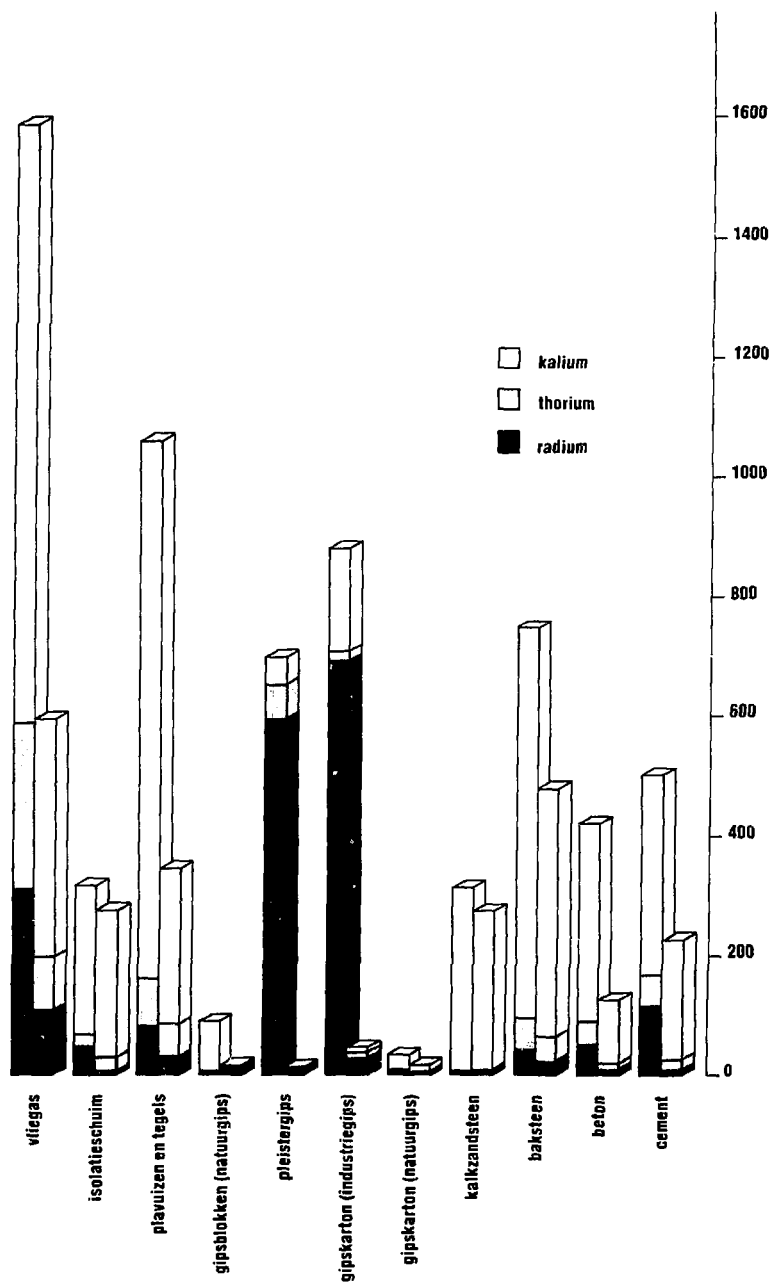
Radioactiviteitsmetingen

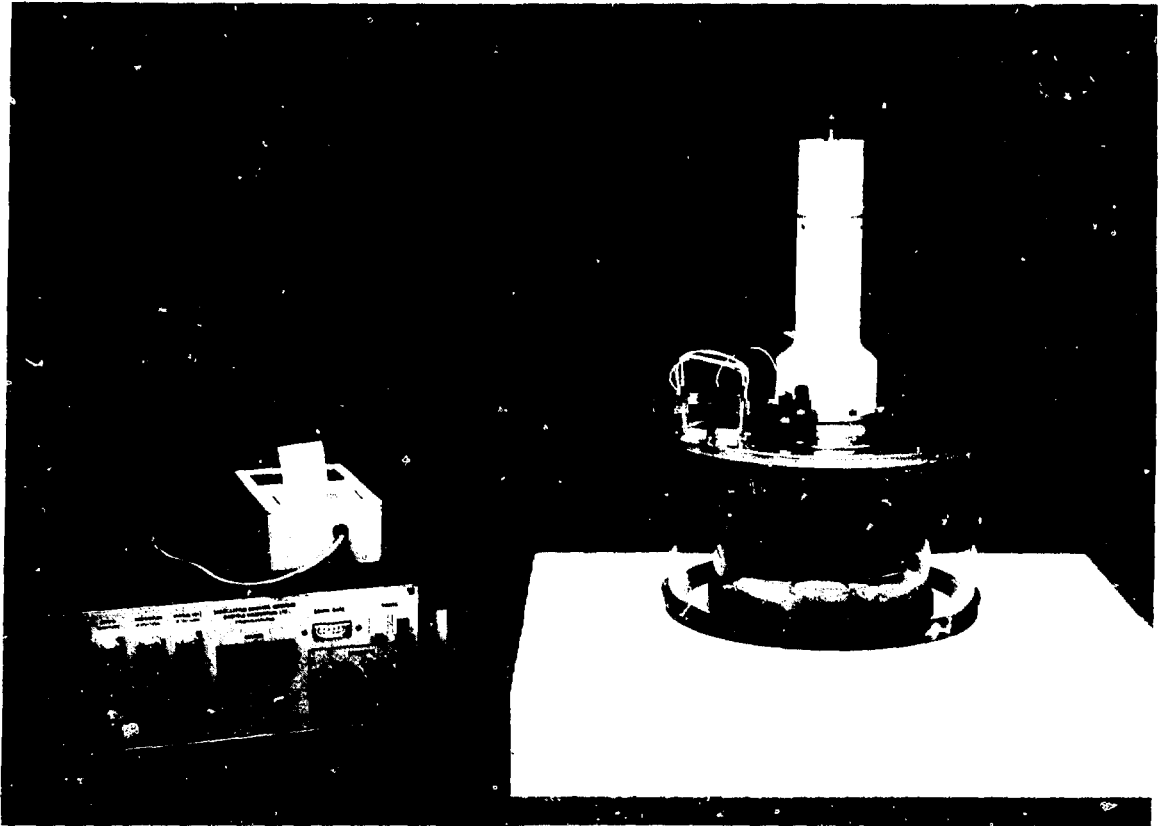
IBBC-TNO heeft in 1982 en 1983 in overleg met RD-TNO representatieve soorten en merken bouwmaterialen geselecteerd en daarvan monsters genomen bij fabrikanten en handelaren. Ook werden van verschillende bedrijven in Nederland materialen verkregen die als nieuw bouw materiaal of als bestanddeel daarvoor mogelijk toepassing zullen vinden in de woningbouw.

Gebruikte bouwmaterialen in nieuwbouwwoningen in de jaren 1969 tot en met 1979 voor dragende (links) en niet-dragende (rechts) wanden

Voor het bepalen van de radioactiviteit werden de monsters vergruisd tot een korrelgrootte van circa 4 mm diameter. Van deze monsters hebben ECN en MT-TNO aan de hand van gammaspectra de activiteit bepaald van de belangrijkste radionucliden.

In onderstaande grafiek zijn de meetresultaten van een aantal monsters weergegeven. De hoeveelheden radium en thorium in producten van kalkzandsteen en natuurgips blijken erg laag te zijn. Voor sommige materialen treedt, afhankelijk van de gebruikte grondstoffen, een nogal grote spreiding op.





De meetklok voor radonexhalatiemetingen en registratieapparatuur

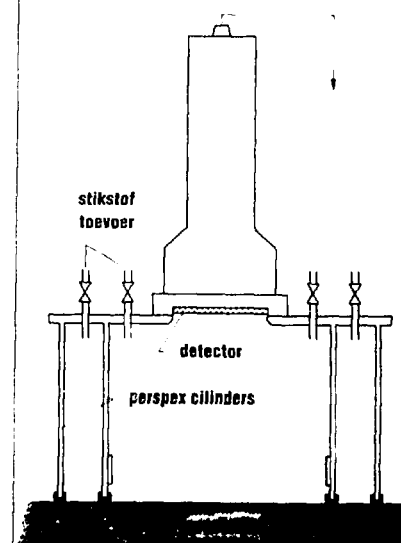
Radonexhalatiemetingen

De radioactiviteit van de materialen is op zichzelf niet bepalend voor de stralingsbelasting. Belangrijker is de radonexhalatie: de hoeveelheid radon die door een bepaald oppervlak van een materiaal in een bepaalde tijd aan de omgeving wordt afgegeven.

RD-TNO heeft metingen uitgevoerd aan bouwelementen met afmetingen van minstens 450 bij 450 mm en een dikte die overeenkomt met die welke in de woningbouw wordt toegepast. De materialen waaruit deze bouwelementen waren gefabriceerd waren zo veel mogelijk dezelfde als de bemonsterde materialen voor de metingen van de radioactiviteit.

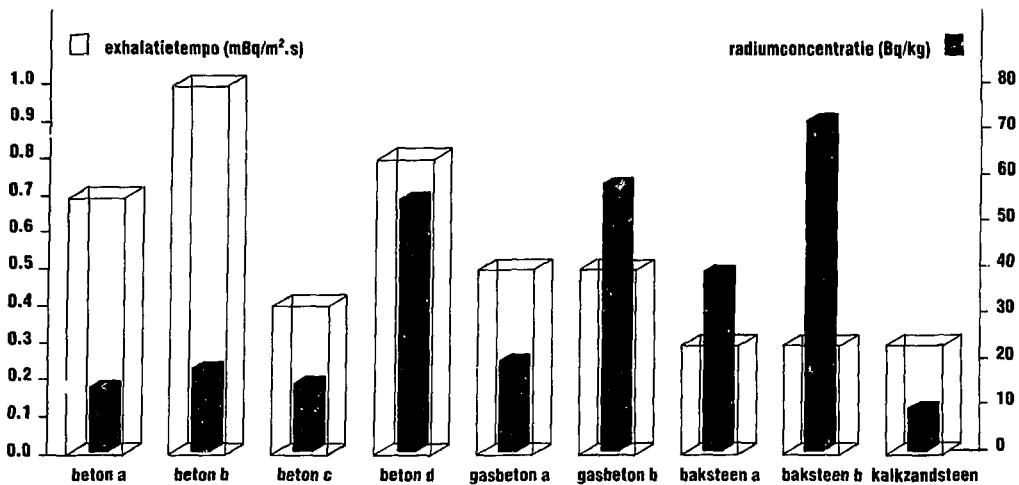
Van verschillende bouwelementen van beton, baksteen en kalkzandsteen werden muurtjes gebouwd ten behoeve van radonexhalatiemetingen.

Om de radonexhalatie uit bouwmaterialen te meten werd het meetinstrument ontwikkeld dat hier is afgebeeld. Het is een soort klok, opgebouwd uit twee cilinders. De klok wordt op het te onderzoeken oppervlak geplaatst. In de klok verzamelt zich radon; boven in de klok bevindt zich de meter.



Doorsnedetekening van de meetklok die werd gebruikt bij de radonexhalatiemetingen

In de grafiek zijn enkele resultaten van het onderzoek gegeven. De exhalatie is uitgedrukt in millibecquerel per vierkante meter per seconde, het gehalte aan radium-226 in becquerel per kilogram.



Radiumconcentratie en radonexhalatietempo in verschillende bouwmaterialen. De radiumconcentratie is uitgedrukt in Bq per kilogram; het exhalatietempo in mBq per m² per seconde.

Beton a = zand + grint + portlandcement
 Beton b = zand + grint + hoogovencement
 Beton c = zand + grint + portland-vliegasement
 Beton d = zand + gesinterde vliegaskorrels + portlandcement

Gasbeton a = normaal gasbeton
 Gasbeton b = gasbeton met vliegas
 Baksteen a = normale baksteen
 Baksteen b = poreuze baksteen met 20 % vliegas

Uit het onderzoek kan de conclusie worden getrokken dat een hoog gehalte aan radium en een hoge exhalatie van radon niet altijd samengaan. Van een bepaalde betonsoort waarin vliegas als vulmiddel was gebruikt, was het gehalte aan radium ongeveer 3,5 maal zo hoog als in beton uit grint, zand en hoogovencement. De exhalatie van de twee betonsoorten bleek echter nagenoeg gelijk te zijn. Men dient evenwel te bedenken dat het gammastralingsniveau binnenshuis toeneemt met de stijging van de radioactiviteitsconcentratie van het bouw materiaal.

Gammastraling in de woning

6.

Om te bepalen in welke mate de bewoner van een huis aan gammastraling wordt blootgesteld, is deze straling in en om de woning onderzocht.

De gammastraling binnen een gebouw wordt veroorzaakt door de kosmische straling, de radioactiviteit in de gebruikte bouwmaterialen en de radioactiviteit in de bodem nabij de woning. Een gebouw heeft een afschermdende werking waardoor de kosmische straling en de straling vanuit de bodem voor een deel wordt tegengehouden.

Afhankelijk van de bouwconstructie en de gebruikte materialen ligt het dosistempo ten gevolge van de kosmische straling in Nederland binnenshuis 10 tot 50 % lager dan buitenshuis.

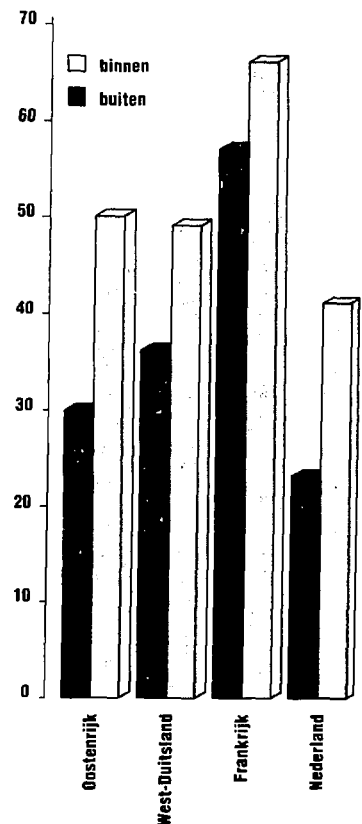
Verder blijkt uit literatuurgegevens dat minder dan 20 % van de straling uit de bodem tot een gebouw doordringt. Dat verklaart waarom er bij de metingen in het SAWORA-onderzoek binnenshuis geen duidelijke verschillen tussen woningen op zandgrond of klei werden waargenomen.

Voor de gammastralingsintensiteit binnenshuis is het bouw materiaal dan ook de belangrijkste factor.

Om een inzicht te krijgen in de hoogte van de gammastralingsintensiteit binnenshuis werden door RIVM, RD-TNO, ECN en KVI metingen uitgevoerd. Uit de metingen die RIVM heeft verricht blijkt dat er nogal een grote spreiding van de intensiteit binnenshuis bestaat. Van een duidelijk verband met de intensiteit buitenshuis is echter geen sprake. Het gemiddelde voor de stralingsintensiteit binnenshuis ligt, na aftrek van de kosmische straling, rond 41 nSv per uur, ongeacht de intensiteit buitenshuis.

Uit een nadere analyse van de gegevens blijkt ook dat er geen aanwijsbaar verband is tussen de gammastraling en het type woning. Uit metingen in overeenkomende woningen waarin alleen een verschil in radioactiviteit van het bouw materiaal bestaat, is wel een verband aangetoond tussen het niveau van de gammastraling en activiteitsconcentratie in de bouwmaterialen.

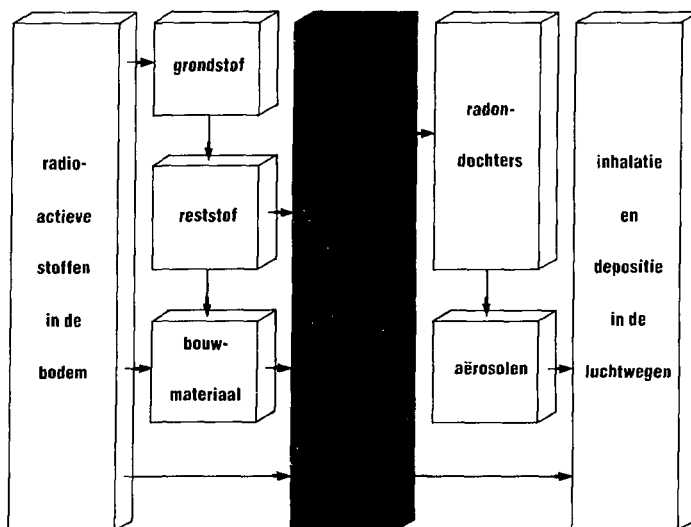
De gemiddelde gammastralingsintensiteit binnenshuis van 41 nSv per uur is in vergelijking met in het buitenland gevonden waarden laag. Dit blijkt uit de grafiek.



Gammastraling binnenshuis en buitenshuis in Nederland en enkele andere Europese landen, in nSv per uur.

7. Radon in de woning

De vervalprodukten van radon, radondochters genoemd, hechten zich gemakkelijk aan in de lucht zwevende deeltjes (*aërosolen*) en kunnen zich na inademing op bepaalde plaatsen in de luchtwegen afzetten. In onderstaand schema is te zien hoe radon en radondochters uiteindelijk in het lichaam terechtkomen.



Het gasvormige radon komt vrij uit verschillende stoffen die radioactieve bestanddelen bevatten. Via in de lucht zwevende deeltjes (aërosolen) komen de radondochters in de luchtwegen terecht.

Uit de metingen die in hoofdstuk 5 zijn beschreven bleek dat de meeste in ons land gebruikte bouwmaterialen maar weinig radioactieve stoffen bevatten. Het viel daarom niet te verwachten dat er in de gemiddelde Nederlandse woning hoge radonconcentraties zouden worden gevonden. Toch was het nodig om een duidelijk beeld te krijgen van de invloed van bouwmaterialen op de radonconcentratie in de woning, ook met het oog op een mogelijke toename van het gebruik van (al dan niet geïmporteerde) bouwmaterialen waarin reststoffen zijn verwerkt. Het onderzoek werd uitgevoerd door KVI.

Landelijk onderzoek

Voor een grootscheeps landelijk onderzoek moest men beschikken over een eenvoudig instrument dat als het ware slapend zijn werk doet: het moest zonder bediening of toezicht werken en liefst niet afhankelijk zijn van bijvoorbeeld een aansluiting op het lichtnet. Daaraan voldoet de voor dit type onderzoek in de Bondsrepubliek Duitsland ontworpen meetbeker, die alleen maar op een geschikte plaats behoeft te worden neergezet om zijn werk te doen: gegevens verzamelen.

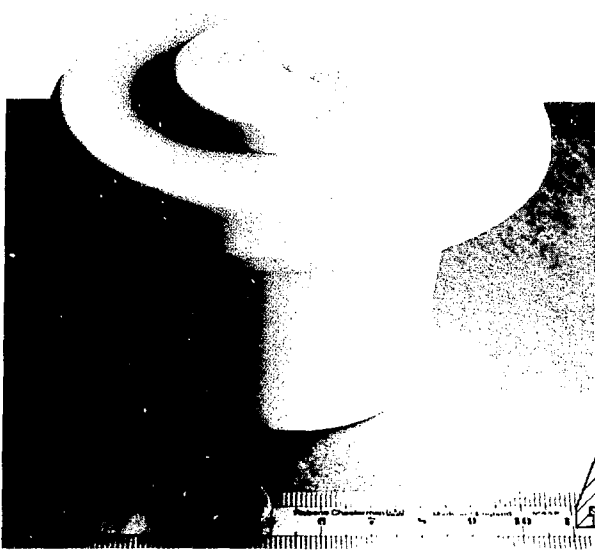
Het principe van de beker is eenvoudig. Op de doorsnede-tekening ziet men dat de lucht vrij kan binnentreden tussen deksel en beker. In de meetbekers bevinden zich kunststof folies waarin alfastraling een meetbare verandering teweegbrengt.

Het folie in de deksel staat bloot aan de alfastraling die afkomstig is van de in de lucht aanwezige radon en radondochters en dient om het gehalte daarvan te bepalen.

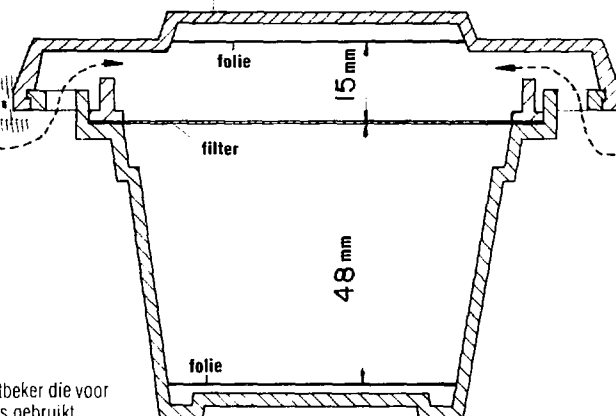
Het onderste deel van de beker is afgesloten door een filter dat wel het gasvormige radon uit de lucht doorlaat, maar de deeltjes met radondochters tegenhoudt. De folies in dit deel van de beker worden dus blootgesteld aan de alfastraling die afkomstig is van het radon en verder alleen van radondochters die na het binnentreden in de beker zijn gevormd.



Meetbekers in een woonkamer.

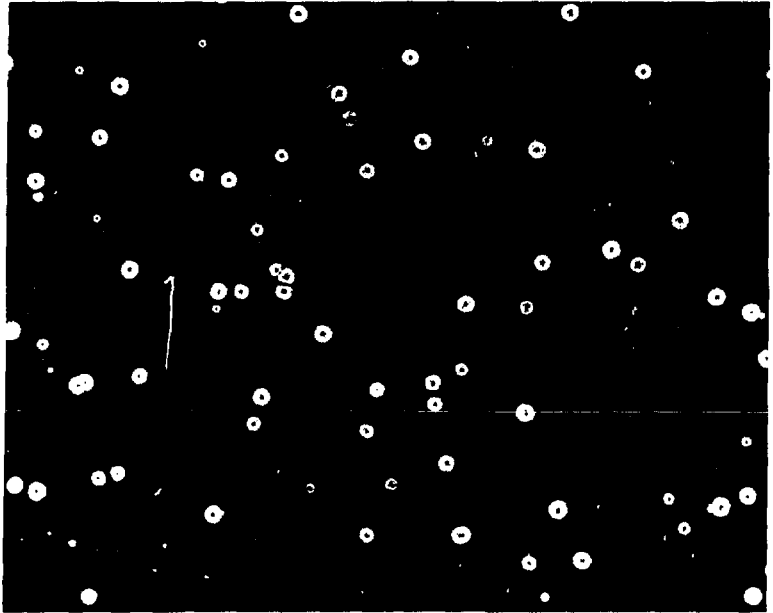


De meetbeker.



Doorsnede-tekening van de meetbeker die voor het landelijke radononderzoek is gebruikt

Uit een dergelijk geëlst folie (het afgebeelde stukje is in werkelijkheid circa 1 cm² groot) kan de radonconcentratie worden afgeleid.



Door de folies een chemische behandeling te geven kunnen de beschadigingen zichtbaar worden gemaakt. Aan de hand daarvan kunnen de gemiddelde radonconcentraties worden bepaald.

Door twee bekertjes te plaatsen, waarvan er één periodiek wordt vervangen en de ander gedurende een jaar blijft staan, kan men door onderzoek van de folies een goed beeld krijgen van de concentratie over een heel jaar en de eventuele seizoensinvloeden.

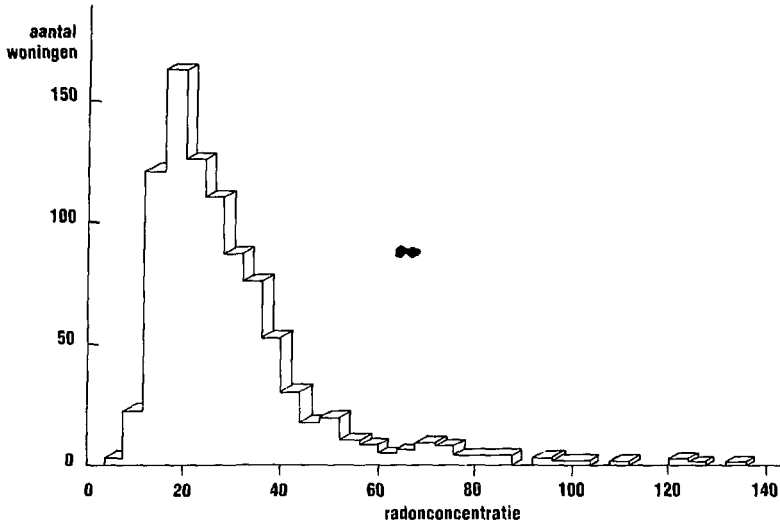
Dank zij een publiciteitsactie slaagde men er in verspreid over het land voldoende vrijwilligers te vinden om aan het onderzoek deel te nemen. Zo kon men circa 1000 woningen selecteren die verschillende woningtypen vertegenwoordigen.

Resultaten

Uit het onderzoek blijkt dat de radonconcentraties in Nederlandse woningen een brede verdeling vertonen (bovenste grafiek hier-naast), met een gemiddelde van 29 Bq per m³.

Uit de metingen met de 'wisselbeker' is een geringe seizoensinvloed af te leiden. De gemiddelde concentratie in de periode van september tot mei is 30 Bq per m³; in de periode van mei tot september 26 Bq per m³. De oorzaak van dit verschil is niet gemakkelijk vast te stellen. Men zou het kunnen toeschrijven aan het feit dat in de zomermaanden meer geventileerd wordt dan 's winters.

Van de onderzochte woningen lag bij 8 % de radonconcentratie hoger dan 50 Bq per m³. In slechts zeer weinig woningen ligt de radonconcentratie hoger dan 70 Bq per m³. Relatief hoge waarden werden vooral gevonden in woningen die na 1970 zijn gebouwd. De oorzaak van deze toename zou kunnen liggen in het gebruik van



Jaargemiddelde radonconcentratie in 894 woonkamers verspreid over Nederland, uitgedrukt in Bq per m³.

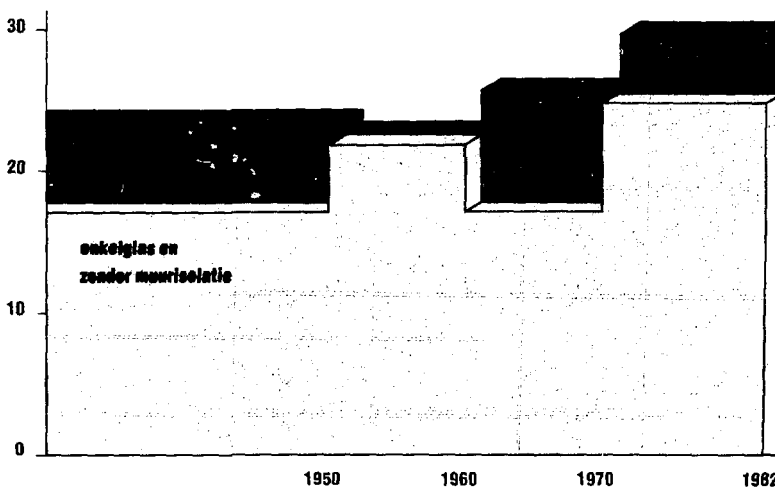
meer beton, een betere isolatie of in de toepassing van stenen vloeren.

In een aantal landen zijn limieten opgesteld ten aanzien van de toelaatbare radonconcentraties. De Wereld Gezondheids Organisatie (WHO) overweegt een maximaal toelaatbare waarde voor de radonconcentratie in nieuwbouwwoningen in te voeren van 100 Bq per m³. Dit komt bij benadering overeen met een radonconcentratie van 250 Bq per m³.

Binnen een groep woningen met min of meer identieke kenmerken bleek de radonconcentratie sterk te variëren, maar gemiddeld blijken er slechts kleine concentratieverschillen voor verschillende woningtypes te bestaan.

Een interessant resultaat is dat er een duidelijke invloed is van muurisolatie en de aanwezigheid van dubbele beglazing.

In de grafiek is het verschil in radonconcentratie tussen wel en niet geïsoleerde woningen geïllustreerd.



Radonconcentratie in Nederlandse woningen met en zonder isolatie en dubbelglas, onderscheiden naar bouwjaar. De radonconcentratie is uitgedrukt in Bq per m³.

Uit de meetresultaten is nog niet op ondubbelzinnige wijze aan te geven wat de oorzaak van dit effect is, maar alles wijst er op dat de luchtverversing in een woning meer via de kruipruimte plaatsvindt naarmate de wanden beter zijn geïsoleerd en de ramen beter zijn afgedicht.

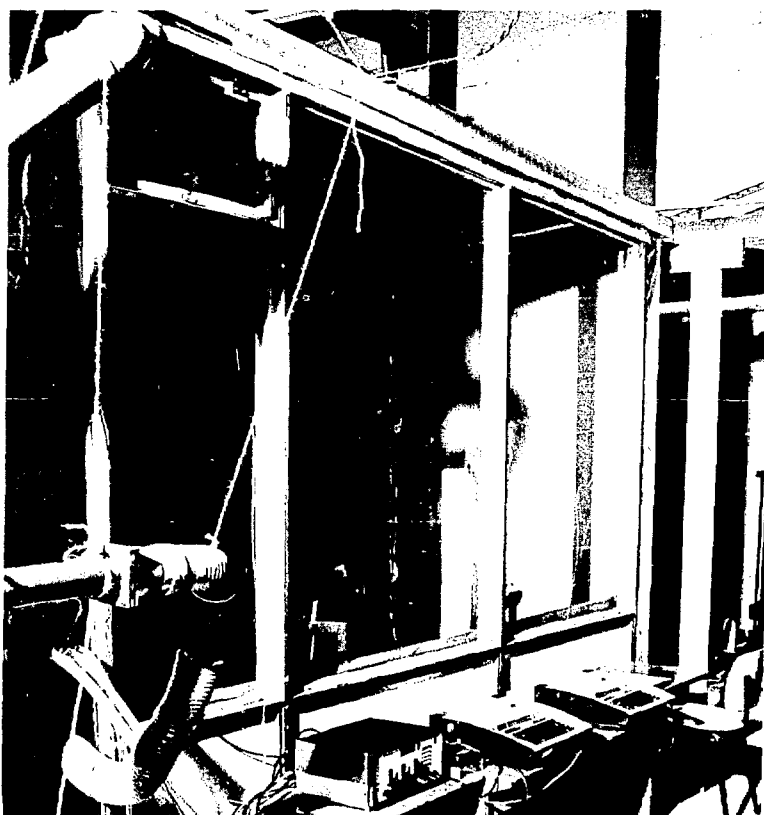
Het radongas uit de bodem kan zich ophopen in de kruipruimte, zodat daar hoge concentraties kunnen ontstaan. Voor het binnendringen in de woning is dan de constructie van de vloer belangrijk.

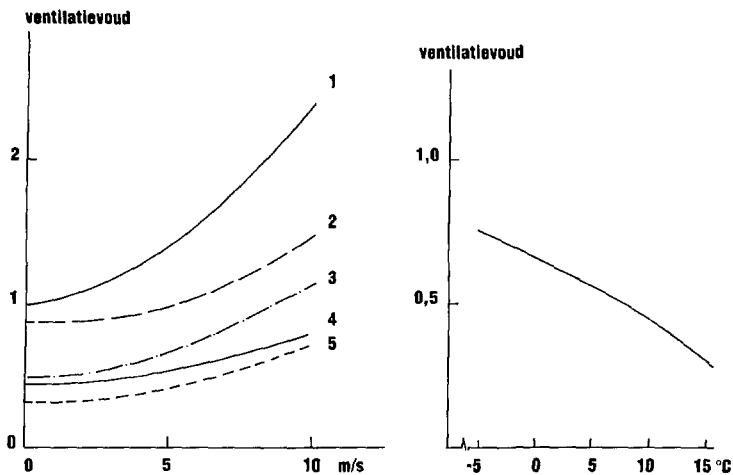
Hoeveel radon er in de woonruimte terecht komt hangt dus per saldo af van het type vloer, de ventilatie en de mate van afdichting van zowel de vloer als de muren, deuren en ramen. Uit het onderzoek blijkt echter dat de gemiddelde radonconcentratie in de Nederlandse woning niet hoog is, maar het aantal woningen met een relatief hoge radonconcentratie is bij nieuwe woningen groter dan bij oude. Er zijn aanwijzingen dat dit voornamelijk met de mate van afdichting en opeenhoping van radongas in de kruipruimte te maken heeft en in mindere mate voortvloeit uit de keuze van bouwmaterialen.

De proefkamer

Meer gedetailleerde gegevens over radon uit bouwmaterialen werden verkregen door onderzoek in de klimaatkamer van TNO te Delft.

Klimaatkamer bij TNO waarin een proefkamer van gipsblokken was opgetrokken.





Links: het verband tussen windsnelheid en ventilatievoud voor verschillende woningtypes.

1. Eengezinswoning, type doorzonwoning
2. Eengezinswoning met mechanische ventilatie
3. Eengezinswoning met open trappenhuis
4. Flatwoning met trappenhuis
5. Flatwoning, type galerijflat

Rechts: verband tussen buitentemperatuur en ventilatievoud voor woning 4 in de linker grafiek.

Daar werd een proefkamer gebouwd van 4 bij 4 meter, met een hoogte van 2,6 meter. De wanden bestonden uit speciaal vervaardigde gipsblokken met een verhoogde concentratie radium; het plafond bestond uit gipsplaten, eveneens met een verhoogd radiumgehalte. In de kamer kon de mate van ventilatie binnen nauwe grenzen worden gevarieerd; uiteraard zonder invloed van een kruipruimte.

De radonconcentratie bleek overeenkomstig de verwachtingen te variëren met het ventilatievoud; dit is het deel van de aanwezige lucht dat per uur wordt af- en aangevoerd. De exhalatie van de wanden bleek echter min of meer onafhankelijk van het ventilatievoud. Wel bleek in de proefkamer dat het afdekken van de wanden met vinylbehang de radonconcentratie met 40 % verminderde.

De invloed van ventilatie

IMG-TNO heeft met een computermodel simulatieberekeningen gemaakt van de invloed van ventilatie en infiltratie in een vijftal woningtypes: drie eengezinswoningen en twee flats. De indeling van de woningen was zo gekozen dat een verschil in ventilatie te verwachten viel.

Met het model kon de invloed van de ligging van kamers en van de luchtdoorlatendheid worden berekend. Ook kon men het effect van veranderingen in windsnelheid, windrichting en buitentemperatuur berekenen.

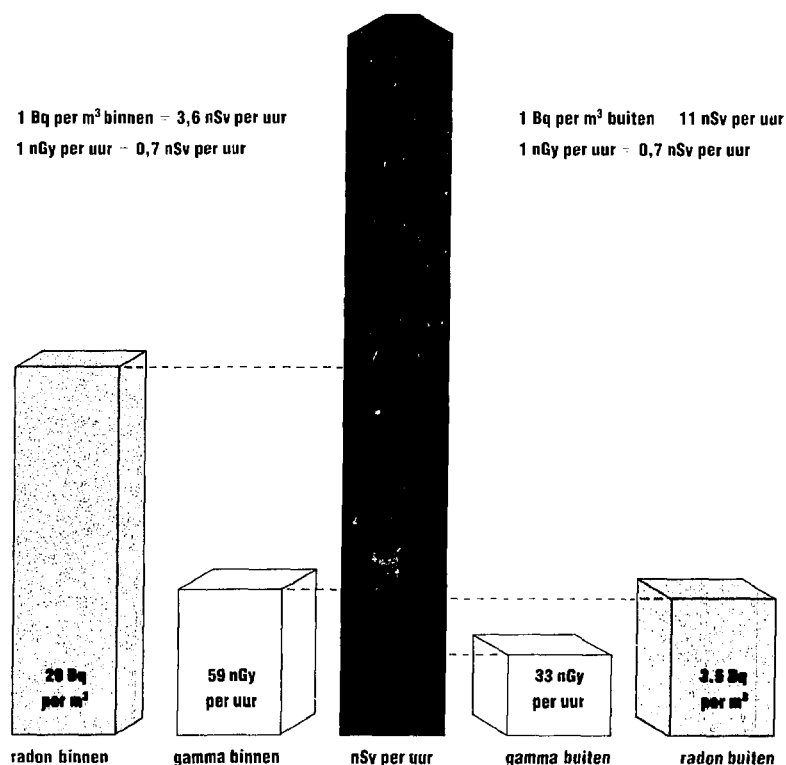
De ventilatie is het hoogst aan de windzijde; bij hogere windsnelheden worden verontreinigingen in de lucht in de kamers aan de windzijde naar de kamers aan de lijzijde vervoerd. Daar kunnen ze tot verhoogde concentraties aanleiding geven.

In de linker grafiek is weergegeven hoe het ventilatievoud toeneemt met de windsnelheid. Voor de flats is zowel het ventilatievoud als de invloed van de wind veel geringer dan voor de eengezinswoningen. Als de buitentemperatuur daalt, neemt het ventilatievoud toe. Dit is geïllustreerd in de rechter grafiek.

8.

Straling en gezondheid

De vraag waar alles om draait is welke gevolgen blootstelling aan straling in het woonmilieu heeft voor de mens. Voordat op deze vraag antwoord zal worden gegeven, zullen de belangrijkste resultaten in een figuur worden weergegeven. Ook is in de figuur aangegeven hoe de verschillende eenheden met elkaar in verband staan. De vermenigvuldigingsgetallen geven aan hoe men van gammastraling (nGy per uur) en radonconcentraties (Bq per m³) komt tot het effectieve dosisequivalent (nSv per uur).



In het SAWORA-programma zijn drie onderwerpen opgenomen die toegespitst zijn op de beantwoording van die vraag en waarin getracht is de technische gegevens te vertalen in termen van risico-gegevens.

Allereerst is nagegaan in hoeverre de aanwezigheid van aërosolen de stralingsdosis kan beïnvloeden. Aan de hand van elders verkregen onderzoekresultaten is verder een schatting gemaakt van de bijdrage van radon tot het ontstaan van longtumoren. Tenslotte zijn de verschillende factoren die de stralingsbelasting binnenshuis bepalen, ondergebracht in een model waarmee een totaalbeeld kan worden gegeven van de stralingsbelasting in de woning.

Aërosolen

Aërosolen zijn in de lucht zwevende vaste en vloeibare deeltjes. De radondochters kunnen zich daaraan hechten. Met de aërosolen ademen wij de radondochters in.

Aërosolen binnenshuis kunnen sterk variëren in concentratie en afmetingen; er komen deeltjes voor met een diameter van een honderdste micrometer tot enkele honderdste millimeters.

Ingeademde aërosoldeeltjes slaan voor een deel neer in de ademhalingswegen. Kleinere deeltjes kunnen de long bereiken, grotere deeltjes worden in de neusholte tegengehouden en verlaten uiteindelijk langs natuurlijke weg het lichaam.

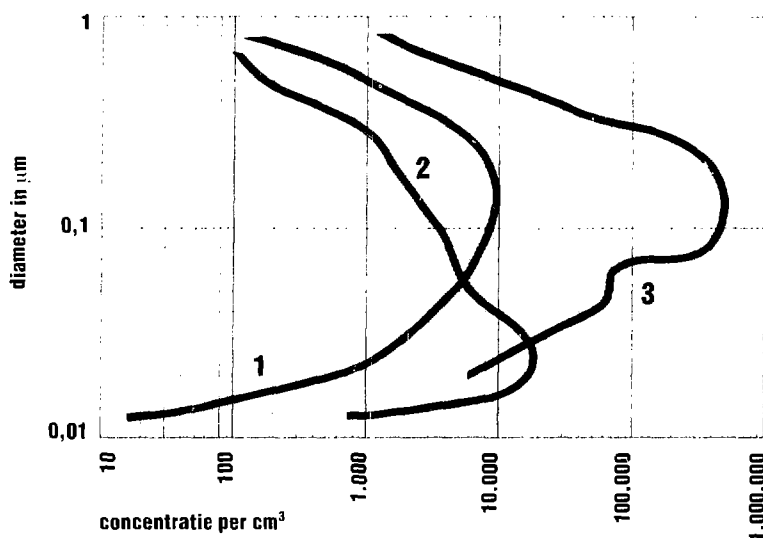
ECN heeft aërosolmetingen gedaan in woningen. De gemiddelde diameter van de aërosolen in woonhuizen bleek ongeveer 0,06 micrometer te zijn. Verder werd onder meer vastgesteld dat bij het koken de gemiddelde concentratie aërosolen toeneemt, terwijl de gemiddelde deeltjesgrootte afneemt. Door stofzuigen nemen zowel de concentratie als de gemiddelde deeltjesgrootte af.

Voor de bepaling van de stralingsdosis is het van belang te weten wat het verband is tussen de afmetingen van de deeltjes en de radioactiviteit door aangehechte dochterprodukten van radon.

Dit verband is door ECN gemeten aan een gecontroleerd mengsel van radon, radondochters en sigarettenrook. Voor aërosolen met een diameter van 0,1 tot 1 micrometer is een eenvoudig verband



vastgesteld tussen diameter en aangehechte radioactiviteit: aan een twee maal zo groot deeltje kunnen zich drie maal zo veel radonochters hechten. Deze gegevens kunnen dienen om samen met de resultaten van de parameterstudie het beeld van de totale stralingsbelasting te voltooien.



Verband tussen de deeltjesdiameter van aerosolen en de concentratie ervan in de lucht (per cm^3) onder verschillende omstandigheden.

1. kamer in rust
2. na stofzuigen
3. na het roken van een sigaret

Tumorrisico

Om bij benadering het risico van *radoninhalatie* te bepalen, wordt wel gebruik gemaakt van gegevens over mijnwerkers. Deze gegevens zijn echter niet zonder meer te gebruiken. Mijnwerkers bijvoorbeeld worden blootgesteld aan veel hogere radonconcentraties dan de gemiddelde bevolking. Bovendien hebben zij doorgaans een hogere ademhalingsfrequentie. Het gevolg is dat zij in een korte tijd een aanmerkelijke dosis straling ontvangen; het dosistempo is dus veel hoger. De kans op longtumoren is, bij eenzelfde totale dosis, bij een hoger dosistempo groter dan bij een lager dosistempo. Door verschillende onderzoekers is de relatie tussen bestraling en kans op longtumoren geconcretiseerd in longdosismodellen, die onderling nogal verschillen.

In de analyse die in het kader van het SAWORA-programma door RBI-TNO is uitgevoerd, zijn naast bestaande longdosis-modellen gegevens gebruikt over bevolkingsgroepen in China, Japan en Zweden die als gevolg van natuurlijke omstandigheden aan sterk verhoogde achtergrondniveaus worden blootgesteld. Die gegevens duiden er overigens op dat er zelfs bij een dosis die een veelvoud is van het gemiddelde, geen significante verhoging van het risico kon worden aangetoond.

Uit gegevens van het CBS blijkt dat er in ons land jaarlijks 10 op de 100.000 vrouwen en 100 op de 100.000 mannen aan longkanker overlijden. Het gemiddelde over de gehele bevolking ligt in de buurt van 60 sterfgevallen per jaar per 100.000 inwoners. Blijkens het

onderzoek kan op grond van theoretische modellen, die in dit overzicht niet zullen worden behandeld, worden berekend dat de blootstelling aan radon in Nederland tot een gemiddeld aantal sterfgevallen per jaar door longtumoren zou leiden van 2,1 per 100.000 inwoners. Dit is 4 % van het totaal. Omdat met de gebruikte methode de risico's vrijwel zeker overschat worden, mag worden aangenomen dat het percentage in werkelijkheid lager ligt.

Parameterstudie

Het spreekt vanzelf dat men niet elke baksteen en iedere tochtstrip kan betrekken bij de beoordeling van het stralingsniveau in een woning. Daarom was het interessant te proberen aan de hand van het verzamelde materiaal na te gaan welke factoren het stralingsrisico in de woning in welke mate beïnvloeden.

RD-TNO heeft een rekenmodel opgezet om deze vraag te beantwoorden. Met deze theoretische parameterstudie kan men door simulatie bereiken wat met praktijkexperimenten nauwelijks mogelijk is of veel tijd zou kosten.

Het rekenmodel biedt onder meer de mogelijkheid om van de vele factoren en omstandigheden die samen de stralingsdosis bepalen er één te variëren om te zien wat de invloed daarvan is op de totale dosis.

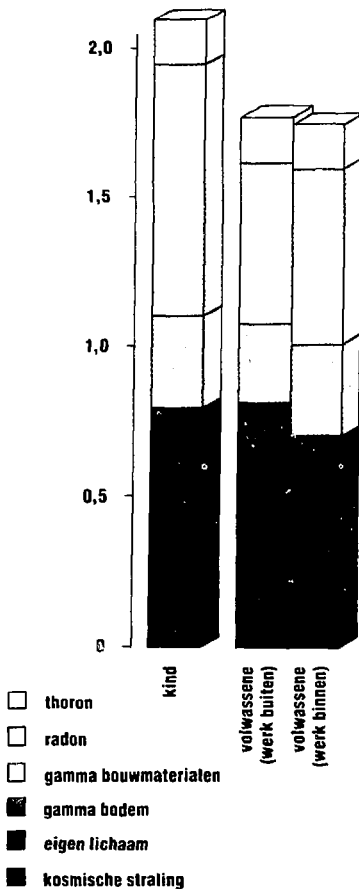
In het model heeft men een woning in de vorm van drie gekoppelde ruimten gesimuleerd. Zo kunnen bijvoorbeeld een grote kamer met twee ernaast of erboven gelegen kamers in beschouwing worden genomen, of een trappenhuis met twee aanliggende vertrekken, of een kruipruimte met daarboven twee aan elkaar grenzende kamers. Men heeft op deze wijze verschillende woningen gesimuleerd en de waarden van de afzonderlijke parameters stuk voor stuk gevarieerd. De daardoor veroorzaakte veranderingen van de uitkomst geven goed inzicht in de betekenis van elke parameter.

In het computermodel kan men variaties in de stroming van de lucht door de ruimten nabootsen. De grootte van de stromen werd gekozen aan de hand van de resultaten van de ventilatiestudie die in hoofdstuk 7 beschreven is. De met de buitenlucht meekomende concentraties radon werden gekozen uit de gegevens van de buitenmetingen, aangevuld met literatuurgegevens.

De afmetingen van de ruimten en de bouwmaterialen in de wanden zijn aangepast aan de gemiddelden voor bepaalde woningtypes, zoals onderzocht in de studie van IBBC-TNO. De kenmerken van de materialen zijn gebaseerd op de meetprogramma's voor activiteitsconcentratie en radonexhalatie (hoofdstuk 5).

Uit het onderzoek blijkt dat de radiumconcentratie van het bouw materiaal een grotere invloed heeft dan de thoriumconcentratie en veel belangrijker dan de kaliumconcentratie. Verder blijken de parameters die de radonconcentratie in de binnenhuislucht bepalen essentieel: het ventilatievoud, de radonemanatiefactor (dit is het aandeel

Vergelijking van de stralingsbelasting (effectief dosisequivalent) van kinderen en binnenshuis respectievelijk buitenshuis werkende volwassenen, uitgedrukt in mSv per jaar



van het in het materiaal gevormde radongas dat vrijkomt) en in zekere mate de grootte van de kamer.

Met het model is vrij eenvoudig te berekenen hoe groot de bijdrage is van de verschillende bronnen; in de figuur hiernaast is dat geïllustreerd. De berekende waarden zijn uiteraard afhankelijk van de benadering in het model van de woning en de ingevoerde parameterwaarden.

Met het parametermodel is ook berekend wat de toepassing van reststoffen op grote schaal betekent voor het jaarlijkse effectieve dosisequivalent van de bewoner.

In het algemeen kan de toepassing van industriële reststoffen als grondstof voor bouwmaterialen het dosistempo binnenshuis verhogen als gevolg van de extra gammastraling en de radon- en thoronconcentraties. Een schatting van deze jaarlijkse dosisverhoging bedraagt tussen 0,05 en 0,25 mSv per jaar. Een uitzondering hierop vormt het gebruik van portland- vliegascement waarvoor een verlaging van de jaarlijkse dosis werd berekend (0,6 mSv per jaar). Thans niet meer in Nederland verkrijgbare gipsblokken met een relatief hoog gehalte aan radioactief materiaal gaven de hoogste berekende dosisverhoging, namelijk 0,43 mSv per jaar.

Bij deze waarden moet bedacht worden dat zij het resultaat zijn van berekeningen met de parameterstudie voor één benadering van een woning met drie gekoppelde ruimten. Een meer betrouwbare schatting zal pas worden verkregen door middel van berekeningen aan meer woningtypen, zoals die zal worden uitgevoerd in een vervolgstudie.

Samenvatting en conclusies

9.

In het SAWORA-programma zijn verschillende aspecten van stralingsbelasting door natuurlijke bronnen, bouwstoffen en bouwmaterialen onderzocht. Het onderzoek heeft geleid tot een betere kennis van de verschillende bronnen van stralingsbelasting in Nederland en van de rol die reststoffen, bouwmaterialen en bouwconstructies daarin spelen.

Bij het verval van radioactieve stoffen die normaal in de bodem voorkomen, komt het gasvormige radon vrij. De vervalprodukten van radon zijn weer vaste stoffen.

Radon wordt door de mens ingeademd; de radondochters kunnen – aangehecht aan aërosolen – in de luchtwegen en de longen terecht komen. Tijdens het verdere verval wordt het aanliggende weefsel blootgesteld aan alfastraling, wat kan leiden tot een verhoogd tumorrisico.

Als gevolg van de toepassing van bouwmaterialen met een verhoogd gehalte aan radioactiviteit kan de concentratie van radondochters binnenshuis toenemen. Door de activiteit van radioactieve stoffen in de bodem en in bouwmaterialen wordt het menselijk lichaam bovendien blootgesteld aan gammastraling zowel binnenshuis als buitenshuis. Op deze onderwerpen was het SAWORA-onderzoek afgestemd.

De natuurlijke achtergrondstraling in ons land is in kaart gebracht. Door geologische omstandigheden zijn de concentraties van radium en thorium in de Nederlandse bodem over het algemeen laag. Er zijn, zoals uit de stralingskaart van Nederland blijkt (zie pagina 14), variaties als gevolg van verschillen in de herkomst van de bodemafzettingen. Zo is de concentratie radioactieve stoffen in zand lager dan in klei-afzettingen in het rivierengebied.

Als gevolg van de betrekkelijk lage concentraties in de bodem is de radonconcentratie in ons land zowel binnen als buiten lager dan in landen met bijvoorbeeld een granietbodem. Bovendien blijft de concentratie laag als gevolg van de ligging aan zee en de overheersende westenwinden.

De concentraties natuurlijke radioactieve stoffen in bouwmaterialen van minerale samenstelling zijn, zoals uit de metingen blijkt, over het

algemeen lager dan in materialen die in de ons omringende landen worden gebruikt. Om economische redenen worden deze relatief zware materialen namelijk meestal uit grondstoffen van lokale herkomst samengesteld en dat heeft voor Nederland tot gevolg dat de concentraties radioactieve stoffen in bouw materiaal relatief laag zijn. De variaties in bodemactiviteit als gevolg van hun herkomst zijn in deze materialen terug te vinden; daardoor is de concentratie radioactiviteit in baksteen hoger dan in bijvoorbeeld zandsteen.

Belangrijker als bron voor radon in de woning is de infiltratie vanuit de grond. De radonconcentratie wordt in sterke mate bepaald door de ventilatie. Omdat radon gasvormig is, is de uitwisseling van de aanwezige lucht met lucht uit aanliggende vertrekken of de buitenlucht van grote invloed. Uit theoretische analyses blijkt dat de concentratie afneemt met toenemend ventilatievoud. Uit de berekeningen met het ventilatiemodel van in Nederland voorkomende types woningen komt naar voren dat de ventilatie het laagst is in ruimten die aan de lizijde liggen. Voorts blijkt dat de radonconcentratie in sommige ruimten aanmerkelijk kan oplopen als gevolg van de ventilatiestromen.

Uit metingen in een representatief woningbestand is een mogelijke samenhang gebleken tussen de verhoging van de concentratie van radon en dochterprodukten en de aanwezigheid van energiebesparende constructies zoals dubbele beglazing en muurisolatie. Dit effect is waarschijnlijk een gevolg van wijzigingen in de luchtstromen. Gezien de veelheid van factoren, die bovendien onderling van elkaar afhankelijk zijn, is vooralsnog niet uit te maken welke de belangrijkste factor is. Wel bleek de radonconcentratie in een groep van woningen met min of meer identieke kenmerken sterk te variëren, maar gemiddeld waren er slechts kleine concentratieverschillen voor verschillende woningtypes te bestaan. Verder werd een kleine seizoensinvloed op de radonconcentratie gevonden.

De aanwezigheid van aërosolen waaraan de radondochters zich kunnen hechten, is essentieel voor de inhalatie van de vervalprodukten van radon.

De aanwezigheid van aërosolen blijkt afhankelijk te zijn van het soort werkzaamheden dat binnenshuis wordt verricht. De grootte van die aërosolen is in het bijzonder van belang, omdat grote deeltjes in het algemeen in de neus-keelholte worden gevangen en niet tot de longen doordringen. Aan grotere aërosolen kunnen zich bovendien meer dan evenredig veel radondochters hechten.

Behalve aan radondochters wordt de mens blootgesteld aan gammastraling. De natuurlijke achtergrondstraling in Nederland ligt, na aftrek van de kosmische straling, op een laag niveau vergeleken met andere landen. Dit verschil vervaagt binnenshuis. De gemiddelde waarde van het dosistempo binnenshuis is laag en blijkt ongeveer overeen te komen met in het buitenland gevonden waarden.

Door toepassing van industriële reststoffen als grondstof in bouwmaterialen kan het dosistempo binnenshuis verhoogd worden door extra gammastraling en radon- en thoronconcentraties. In het algemeen liggen de berekende verhogingen in dezelfde orde van grootte (nl. tussen 0,05 en 0,25 mSv per jaar) als de verhoging die veroorzaakt wordt door de hoogovenslakken die sinds decennia bij cementindustrie worden gebruikt. Een uitzondering hierop het portland-vliegasement dat een *verlaging* van het dosistempo tot gevolg heeft.

Voor een analyse van het tumorrisico ten gevolge van blootstelling aan radon, is gebruik gemaakt van longdosis-modellen en van gegevens over bevolkingsgroepen die aan verhoogde achtergrondniveaus worden blootgesteld. Op grond van die analyse kan worden geconcludeerd dat hooguit 4 % van de sterfte door longtumoren een gevolg zou kunnen zijn van de huidige radonconcentraties.

Het SAWORA-programma heeft een schat aan gegevens en inzichten geleverd over stralingsbronnen binnenshuis en buitenshuis. Tevens is uitgebreid gerapporteerd over de feitelijke blootstelling van de Nederlandse bevolking aan natuurlijke achtergrondstraling en de factoren die deze blootstelling beïnvloeden.

De resultaten van het SAWORA-onderzoek zullen mede als basis dienen voor een afweging van aan straling verbonden risico's; een afweging die bijvoorbeeld nodig is voor het formuleren van een beleid ten aanzien van de radioactiviteit in bouwmaterialen. Inmiddels zijn voorstellen geformuleerd voor een vervolgonderzoek, dat zich niet zal beperken tot de woonsfeer maar het gehele gebied van de **reguleerbare** vormen van **natuurlijke achtergrondstraling** zal omvatten en daarom RENA is genoemd.

Rapportages in het kader van het SAWORA-programma

Stand van zaken per maart 1986

1. Onderzoekprogramma SAWORA. BEOP 10, januari 1982
2. Radiation aspects of indoor environments and related radio-ecological problems.* B. Hogeweg, B.F.M. Bosnjakovic en W.M.A.J. Willart
3. Limitation of radioactivity concentrations in building materials based on a practical calculation model.* J.G. Ackers, B.F.M. Bosnjakovic en L. Strackee
4. Direct measurement of radon exhalation from surfaces.* J.G. Ackers, RD-TNO
5. Radondaughter concentrations in and around dwellings in the Northern part of the Netherlands.* F. Wolfs, H. Hofstede, R.J. de Meijer en L.W. Put, KVI-RU Groningen
6. The characterization of indoor atmospheres.* J.R.D. Stoute, G.C.H. Groen en T.J.H. de Groot, ECN
7. Survey of radon concentrations in Dutch dwellings.** L.W. Put en R.J. de Meijer, KVI-RU Groningen
8. Research and policy developments in the Netherlands concerning indoor exposure to radiation.** P.H. van Dijkum, J.G. Ackers en B.F.M. Bosnjakovic
9. Overzicht en monsternamen van bouwstoffen die bestemd zijn voor de bouw van woningen in Nederland. J.F. den Boer, IBBC-TNO, Rapport B-83-519, 29 maart 1984
10. Radioactiviteit van vlieg-as in het milieu en de daaruit voortvloeiende stralingsbelasting. H.W. Köster, H.P. Leenhouts en M.J. Frissel, Stichting ITAL, 30 maart 1984
11. Natuurlijke achtergrondstraling in Nederland. R. van Dongen, C.J.M. Potma (RIVM) en J.R.D. Stoute, ECN, Rapport 248108001
12. Statusrapport NOK-kolenreststoffen en het Sawora-programma. BEOP-CR-13, juli 1984
13. Een analyse van de willekeurige ventilatie en infiltratie van vijf woningtypen in verband met radon in woningen. W.F. de Gids en J.C. Phaff, IMG-TNO, Rapport C 540, oktober 1984
14. Radioecological model calculations for radionuclides released into the environment by disposal of phosphogypsum.*** H.W. Köster, H.P. Leenhouts, M.J. Frissel (RIVM) en A.W. van Weers (ECN)
15. Local variations of outdoor radon concentrations in the Netherlands and physical properties of sand with enhanced natural radioactivity.*** R.J. de Meijer, L.W. Put, R. Bergman, G. Landeweer, H.J. Riezebos, A. Veldhuizen (KVI-RU Groningen) en R.D. Schuilinq, M.J. Scholten (RU Utrecht)
16. Radioactivity and radon exhalation rates of building materials in the Netherlands.*** J.G. Ackers (RD-TNO), J.F. den Boer (IBBC-TNO), P. de Jong (MT-TNO) en R.A. Wolschrijn (ECN)
17. A comparison of calculated indoor radiation exposure with the results of measurements.*** J.G. Ackers (RD-TNO)
18. Outdoor natural background radiation in the Netherlands.*** R. van Dongen (RIVM) en J.R.D. Stoute (ECN)
19. Measurements of time-averaged radon-daughter concentrations with passive dosimeters.*** L.W. Put en R.J. de Meijer (KVI-RU Groningen)
20. Survey of radon concentrations in Dutch dwellings.*** L.W. Put, R.J. de Meijer (KVI-RU Groningen) en B. Hogeweg (RBI-TNO)
21. Radiation doses to the population in the Netherlands due to external natural sources.*** H.W. Julius (RD-TNO) en R. van Dongen (RIVM)

* De nummers 2 t/m 6 zijn gepubliceerd in Radiation Protection Dosimetry, vol. 7 nrs 1-4, 1984 als verslag van het 'International Seminar on Indoor Exposure to Natural Radiation and Associated Risk Assessment', 3 - 5 oktober 1983, Anacapri, Italië.

** De nummers 7 en 8 zijn gepubliceerd in het verslag van de 'Third International Conference on Indoor Air Quality and Climate', 20 - 24 augustus 1984, Swedish Council for Building Research, Stockholm, Zweden 1984.

*** De nummers 14 t/m 21 zijn gepubliceerd in het verslag van het 'Seminar on Enhanced Natural Radiation and its Regulatory Implications', 25 - 27 maart 1985, Maastricht, Special issue of 'The Science of the Total Environment', volume 45, oktober 1985, Elsevier Science Publishers bv.

22. Radio-ecologie van en stralingsbelasting door Nederlands afvalgijs in het buitenmilieu.
H.W. Köster (RIVM) en A.W. van Weers (ECN), RIVM, Rapport 248305001, 22 juni 1985
23. Concentratie van radionucliden in bouwmaterialen en grondsoorten.
J.G. Ackers, RD-TNO, Rapport RD-E/8505-246, mei 1985
24. Gemeten exhalatiesnelheden van radon uit oppervlakken van gereed bouw materiaal en grond.
J.G. Ackers, RD-TNO, Rapport RD-E/8505-247, mei 1985
25. Metingen van parameters ter bepaling van de radonbelasting in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Sawora.
G.C.H. Groen, T.J.H. de Groot, R.G. Nyqvist, A.S. Keverling Buisman en J.R.D. Stoute, ECN, Rapport 85/131 (restricted distribution), september 1985
26. Stralingsbelasting van de bevolking en stralingsniveaus in het binnenmilieu in Nederland ten gevolge van natuurlijke gammabronnen.
H.W. Julius (RD-TNO) en R. van Dongen (RIVM), RD-TNO, Rapport RD-E/8504-240, april 1985
27. Een analyse van de risicofactoren voor blootstelling van de long aan lage stralingsdosis.
B. Hogeweg, RBI-TNO, Rapport 3375, december 1985
28. Activiteitsmetingen in een groep van twintig woningen in de gemeente Bernisse en in een proefkamer.
B. Hogeweg, RBI-TNO, Rapport 3376, december 1985
29. De natuurlijke radioactiviteit van Nederlandse gronden.
H.W. Köster, R.M.J. Penners, J.H. de Winkel (RIVM), A. Keen (TNO) en D.W. Bannink (ITAL), RIVM, Rapport 248307001, december 1985
30. Radonconcentraties in Nederland, verslag van Sawora-project A2.
L.W. Put, A. Veldhuizen en R.J. de Meijer, KVI-RU Groningen, Rapport KVI-1111, oktober 1985
31. Voorstel voor het meegereenonderzoekprogramma Reguleerbare vormen van Natuurlijke Achtergrondstraling (RENA) 1986-1988.
Stichting PEO, Utrecht, maart 1986
32. Stralingsbelasting uit natuurlijke bron in Nederland, een parameterstudie.
J.G. Ackers, RD-TNO, Rapport RD-E/8508-250, november 1985
33. Eindrapportage en evaluatie van het Sawora-onderzoekprogramma naar het achtergrondniveau van de natuurlijke straling in Nederland.
B. Hogeweg, RBI-TNO, Rapport 3477, maart 1986
34. Ventilatie- en infiltratiemetingen in een woning in verband met de radonproblematiek.
W.F. de Gids en J.C. Phaff, IJMG-TNO, Rapport C575, mei 1985 (concept-rapportage)

Adreslijst

Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
Postbus 1, 1755 ZG Petten

Ministerie van Economische Zaken (EZ)
Postbus 20101, 2500 EC Den Haag

Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies
(IBBC-TNO)
Postbus 49, 2600 AA Delft

Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek (IMG-TNO)
Postbus 214, 2600 AE Delft

Stichting Instituut voor Toepassing van Atoomenergie in de
Landbouw (ITAL)
Postbus 48, 6700 AA Wageningen

Kernfysisch Versneller Instituut der Rijksuniversiteit Groningen (KVI)
Universiteitscomplex Paddepoel, 9747 AA Groningen

Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO (MT-TNO)
Postbus 27, 2600 AE Delft

Stichting Projectbeheerbureau Energie Onderzoek (PEO)
Postbus 8242, 3503 RE Utrecht

Radiobiologisch Instituut TNO (RBI-TNO)
Postbus 5815, 2280 HV Rijswijk

Radiologische Dienst TNO (RD-TNO)
Utrechtseweg 310, 6812 AR Arnhem

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM)
Postbus 1, 3720 BA Bilthoven

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieube-
heer (VROM)
Postbus 450, 2260 MB Leidschendam

Gebruikte afkortingen

CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
ECN	Stichting Energieonderzoek Centrum Nederland
EG	(Commissie van de) Europese Gemeenschappen
EURATOM	Europese Gemeenschap voor Atoomenergie
EZ	Ministerie van Economische Zaken
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBBC-TNO	Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IMG-TNO	Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheids- techniek MT-TNO
ITAL	Stichting Instituut voor Toepassing van Atoomenergie in de Landbouw
KEMA	NV voor Keuring van Elektrotechnische Materialen
KVI	Kernfysisch Versneller Instituut der Rijksuniversiteit Groningen
MT-TNO	Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO
NEA	Nuclear Energy Agency
NOK	Nationaal Onderzoekprogramma Kolen
PEO	Stichting Projectbeheerbureau Energieonderzoek
RBI-TNO	Radiobiologisch Instituut TNO
RD-TNO	Radiologische Dienst TNO
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
RIZA	Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater
SAWORA	Stralingsaspecten van woonhygiëne en verwante radio-ecologische problemen
TNO	Organisatie voor Toegepast Natuur- wetenschappelijk Onderzoek
UNSCEAR	UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

Colofon

Deze brochure is uitgegeven door de Stichting
Projectbeheerbureau Energieonderzoek (PEO)
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

De inhoud van de brochure kwam tot stand onder begeleiding van
de volgende personen, leden van de stuurgroep van het SAWORA-
programma en technische adviseurs:

Drs. P.H. van Dijkum
Drs. J.G. Ackers
Dr. B.F.M. Bosnjakovic
Dr.ir. B. Hogeweg
Mevr. drs. E.E. Lap
Dr. R.J. de Meijer
Dr. L.W. Put
Drs. C.F. van der Schaaf
Drs. D. Vos
Ir. W.M.A.J. Willart