

RIVM rapport 861020003/2004

**Emissies en doses door bronnen van  
ioniserende straling in Nederland -  
Jaarrapport 2003 'Beleidsmonitoring straling'**

H Eleveld, CP Tanzi, H Bijwaard, PJM Kwakman,  
EJ Meeuwsen

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling, in het kader van project M/861020/01 'Beleidsondersteuning Straling', mijlpaal 'Jaarrapport beleidsmonitoring straling'.

RIVM, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven, telefoon: 030 - 274 91 11; fax: 030 - 274 29 71

## **Voorwoord**

Het voorliggend rapport is voornamelijk tot stand gekomen door de aangegeven RIVM-auteurs in opdracht van het ministerie van VROM. Daarnaast is door dr J.W.E. van Dijk van NRG in opdracht van het ministerie van SZW hoofdstuk 7 aangeleverd over de beroepsmatige blootstelling aan ioniserende straling.

## Abstract

In the last few years, the emissions of radioactive substances to air and water through the operations of Dutch enterprises have decreased substantially, mostly due to the closure of two ore- and raw material-processing industries. Nevertheless, the processing industries are still responsible for the largest industrial contribution to the average radiation dose in the Netherlands, which is much larger than the contribution from the nuclear industry and hospitals. During operations with radiation and radioactive sources to check welding or industrial processes (the so-called non-destructive testing), the dose per recording may, especially for relatively small industrial premises, be higher than assumed in the Decree on radiation protection. Therefore, in practice, the dose limit may be locally exceeded. The categories with relatively high percentages for exposed workers for whom the yearly dose was in excess of 1 milliSievert include intervention radiology, nuclear applications, non-destructive testing using mobile equipment, isotope production and aviation.

On commission of the Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, RIVM reports yearly on the human-induced radiation doses in the Netherlands. This report describes these doses in the last decade in relation to those in the current radiation and permit granting policy. For the first time, this annual report also includes occupational exposure to ionising radiation. At the request of the Ministry of Social Affairs and Employment, The Nuclear Research and consultancy Group (NRG) has written a chapter on this subject in the report.

The enterprises reviewed were divided into nuclear facilities, the process industry, medical institutions and companies using ionising radiation for non-destructive testing. The radiation dose to the environment was determined using measurements and model analysis. Past as well as current policy including the permit granting are described here. In comparing the emissions and discharges of the different categories, it became evident that the processing industries were emitting considerably more than the nuclear installations (e.g. the Borssele nuclear power plant) and hospitals. Partly because of (inter)national regulations, the emissions of the nuclear installations to air and water remained low.

In medical institutions, the 'one permit per location' policy was found to be effective, which led to adjustments and improvements, and consequent further reduction in radiation exposure. Monitoring results and calculations using three scenarios for the non-destructive testing companies showed that the dose per recording for limited premises may be higher than assumed in the Decree on radiation protection. This means that the local dose limit may be exceeded.

The collective dose for all exposed workers was seen to decline. However, in the last while, the collective dose has been seen to stabilise, according to data from the National Dose Registration and Information System (NDRIS). The aviation sector, responsible for the largest contribution to the collective occupational dose, has recently been obliged to deliver data to NDRIS.



# Inhoud

## Samenvatting 7

### 1 Inleiding 9

- 1.1 Aanleiding 9
- 1.2 Van emissies tot blootstelling 9
- 1.3 Afbakening 10
- 1.4 Doelstelling van het jaarrapport 10
- 1.5 Aanpak en leeswijzer 10

### 2 Beleid 13

- 2.1 Inleiding 13
- 2.2 Algemeen beleid 13
- 2.3 Specifiek beleid 15
  - 2.3.1 Nucleaire installaties 15
  - 2.3.2 Procesindustrie 16
  - 2.3.3 Medische instellingen 16
  - 2.3.4 NDO-bedrijven 17

### 3 Categorieën ondernemers 19

- 3.1 Inleiding 19
- 3.2 Nucleaire installaties 20
- 3.3 Procesindustrie 21
- 3.4 Medische instellingen 23
- 3.5 NDO-bedrijven 25
- 3.6 Overige ondernemers en stralingsbronnen 27

### 4 Vergunningen 29

- 4.1 Inleiding 29
- 4.2 Soorten vergunningen 29
- 4.3 Rolverdeling 30
- 4.4 Vergunningverleningsbeleid 31
  - 4.4.1 Algemeen 31
  - 4.4.2 Nucleaire installaties 31
  - 4.4.3 Procesindustrie 32
  - 4.4.4 Medische instellingen 32
  - 4.4.5 NDO-bedrijven 33
  - 4.4.6 Overige stralingsbronnen 33
- 4.5 Overzichten vigerende beschikkingen 34

### 5 Emissies en externe straling 37

- 5.1 Inleiding 37
- 5.2 Nucleaire installaties 37
- 5.3 Procesindustrie 47
- 5.4 Medische instellingen 51
- 5.5 NDO-bedrijven 54
- 5.6 Overige stralingsbronnen 58
- 5.7 Onderlinge vergelijking van emissies door de verschillende categorieën 58

## **6 Stralingsbelasting voor leden van de bevolking 63**

- 6.1 Inleiding 63
- 6.2 Nucleaire installaties 63
- 6.3 Procesindustrie 63
- 6.4 Medische instellingen 65
- 6.5 NDO-bedrijven 66
- 6.6 Overige stralingsbronnen 72
- 6.7 Dosis door alle bronnen tezamen 73

## **7 Beroepsmatige blootstelling aan ioniserende straling 75**

- 7.1 Inleiding 75
- 7.2 De gegevensverzameling 76
- 7.3 Dosisgrootheden 76
- 7.4 Kentallen van de dosisverdelingen 77
- 7.5 Samenvattende statistiek 79
- 7.6 Niet destructief onderzoek 81
- 7.7 Vliegtuigbemanningen 83

## **8 Discussie, conclusie en aanbevelingen 87**

### **Referenties 91**

### **Bijlage 1 Verzendlijst 97**

### **Bijlage 2 Afkortingen 99**

## Samenvatting

De uitstoot van radioactieve stoffen door Nederlandse ondernemingen is de laatste jaren fors afgenomen, vooral door de sluiting van twee erts en grondstof verwerkende bedrijven uit de procesindustrie. De procesindustrie blijft echter verantwoordelijk voor de grootste industriële bijdrage aan de gemiddelde stralingsbelasting in Nederland, beduidend groter dan die door de nucleaire industrie en ziekenhuizen. Bij activiteiten waarbij straling en radioactieve stoffen worden gebruikt voor het controleren van bijvoorbeeld lasnaden of bedrijfsprocessen, het niet-destructief onderzoek, zou vooral bij een beperkte terreingrootte de dosis per opname groter kunnen zijn dan in het Besluit Stralingsbescherming is verondersteld. In de praktijk zou daardoor een lokale overschrijding van de dosislimiet kunnen optreden. Werknemers die gemiddeld blootstaan aan een stralingsdosis boven de 1 milliSievert per jaar zijn te vinden in de sectoren: interventie röntgenologie, nucleaire toepassingen, niet-destructief onderzoek met mobiele opstellingen, isotopenproductie voor bijvoorbeeld radiofarmaca en de luchtvaart.

Het RIVM maakt jaarlijks voor het ministerie van VROM een inventarisatie van de stralingsbelasting die het menselijk handelen toevoegt aan de achtergrondstraling. Dit rapport beschrijft deze toegevoegde stralingsbelasting over de afgelopen 10 jaar in relatie tot het gevoerde stralingsbeschermingsbeleid en de handhaving. Voor het eerst zijn dit jaar ook gegevens over de beroepsmatige blootstelling aan straling opgenomen. NRG heeft in opdracht van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid hierover een hoofdstuk geschreven.

Bedrijven zijn ingedeeld in vier categorieën: nucleaire industrie, erts en grondstofverwerkende procesindustrie, ziekenhuizen en bedrijven die straling gebruiken bij niet-destructief onderzoek. Met behulp van metingen en modelmatige analyses is de stralingsbelasting voor de omgeving bepaald. Zowel het in het verleden gevoerde als het huidige beleid met daaraan gekoppelde vergunningverlening is beschreven. Uit een vergelijking van de uitstoot van radioactieve stoffen door de verschillende categorieën blijkt dat de procesindustrie aanmerkelijk meer loost dan de nucleaire installaties (onder andere kerncentrale Borssele) en ziekenhuizen. Mede door de (inter)nationale regelgeving en de handhaving zijn de lozingen door de nucleaire installaties beperkt.

Bij medische instellingen heeft het 'één vergunning per locatie'-beleid geleid tot aanwijsbare aanpassingen en verbeteringen, waardoor de stralingsbelasting nog verder is teruggedrongen. Voor de niet-destructief onderzoek uitvoerende bedrijven blijkt uit onderzoek ter plaatse en berekeningen voor drie scenario's dat vooral bij een beperkte terreingrootte de dosis per opname groter kan zijn dan in het Besluit Stralingsbescherming is verondersteld, wat lokaal tot overschrijding van de dosislimiet kan leiden.

De collectieve dosis voor alle werknemers buiten de luchtvaartsector blijkt een licht dalende trend te vertonen die zich de laatste paar jaar lijkt te stabiliseren. Dit blijkt uit de gegevens van het Nationaal Dosis Registratie- en Informatiesysteem (NDRIS). Sinds kort is ook de luchtvaartsector verplicht gegevens aan NDRIS te leveren. De luchtvaartsector levert het grootste aandeel aan de collectieve stralingsbelasting voor werknemers.





# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

In 1997 ontving het Laboratorium voor Stralingsonderzoek van het RIVM de opdracht van de toenmalige afdeling Straling en Nucleaire Veiligheid van de DGM-directie Stoffen, Veiligheid en Straling van het ministerie van VROM om een informatiesysteem voor beleidsmonitoring te ontwikkelen. De opdracht was mede ingegeven door de verplichting vanuit de Europese Unie dat de bevoegde autoriteiten van elke lidstaat erop toe moeten zien dat de doses ten gevolge van handelingen voor leden van de bevolking zo realistisch mogelijk worden geschat, zie artikel 45 van de Euratom-richtlijn 96/29 [1]. Uitgaande van de gegevens in dit informatiesysteem wenste DGM ieder jaar een rapportage over de belangrijkste bronnen van ioniserende straling en de stralingsbelasting als gevolg van deze bronnen. Het gaat dan alleen om die stralingsbelasting die door menselijk handelen is verhoogd en die onderwerp is van het stralingshygiënische beleid in Nederland.

In augustus 2002 is de eerste jaarrapportage 'Beleidsmonitoring straling' uitgekomen [2]. Deze werd voorzien van aanduiding 'Jaarrapport 2001' om aan te geven dat de gegevens zo mogelijk tot en met het jaar 2001 werden geleverd. Voor het voorliggend rapport en volgende rapporten was het de intentie de aanduiding van het jaarrapport overeen te laten komen met het jaar van publicatie<sup>1</sup>.

Alle relevante categorieën bronnen van ioniserende straling komen aan de orde. Om praktische redenen is echter nog niet elke categorie tot in alle detail uitgewerkt. Het is de bedoeling in de jaarrapporten die de komende jaren zullen verschijnen, uiteindelijk alle categorieën tot in vergelijkbaar detail te behandelen. Eens in de vier à vijf jaar volgt er een speciale, meer complete, versie van het jaarrapport, dat ook naar de Tweede Kamer kan worden verzonden.

Voor deze rapportage heeft de opdrachtgever gevraagd om de bedrijven die niet-destructief onderzoek uitvoeren nader te onderzoeken. Bovendien komt de beroepsmatige blootstelling voor het eerst in dit rapport aan de orde. Het ministerie van SZW heeft daartoe NRG opdracht gegeven een hoofdstuk te schrijven ten behoeve van het voorliggend rapport op basis van een uit te brengen NRG-rapport over beroepsmatige blootstelling aan ioniserende straling.

## 1.2 Van emissies tot blootstelling

Emissies van radioactieve stoffen en straling naar het milieu kunnen als volgt worden ingedeeld: (1) lozingen in lucht, (2) lozingen in water en (3) emissie van externe straling door een radioactieve stof of toestel. Vrijgekomen radioactiviteit verspreidt zich via diverse belastingspaden, zoals de lucht, depositie op de bodem en landbouwproducten, drinkwater, visproducten. Na opname van radioactiviteit via inhalatie, ingestie en blootstelling aan externe straling afkomstig van radionucliden in de lucht en op de bodem leidt dit tot een dosis voor leden van de bevolking. Voor het berekenen van de dosis zijn modellen nodig voor luchtverspreiding, voor waterverspreiding, voor verspreiding via bodem en de daaraan

---

<sup>1</sup> Helaas heeft deze rapportage een vertraging opgelopen, waardoor die niet in het beoogde jaar (2003) is gepubliceerd.

gekoppelde voedselketen, voor de inname van de radionucliden en tenslotte voor de absorptie van straling in het lichaam na de inname van de activiteit of rechtstreeks via externe blootstelling. Deze modellen zijn meestal complex en het vergt uitgebreide kennis en ervaring om ze verantwoord te kunnen gebruiken. Omdat deze complexiteit bij het aanvragen en verlenen van vergunningen ongewenst is, zijn de vereiste berekeningen teruggebracht tot eenvoudige vermenigvuldigingen met dispersie-, transfer- en dosisconversiecoëfficiënten. In sommige gevallen moeten de complexe modellen wel worden toegepast. De ministeriële regeling Analyse Gevolgen van Ioniserende Straling (MR-AGIS) [3] geeft handvatten hoe de dosisberekening dient te worden uitgevoerd ten behoeve van vergunningverlening in eenvoudige en complexe situaties.

### **1.3 Afbakening**

Het stralingsbeschermingsbeleid richt zich in principe op de bescherming van drie groepen personen. Het milieubeleid richt zich op leden van de bevolking, het arbeidshygiënisch beleid op personen in de werksituatie en het volksgezondheidsbeleid op personen die met straling medisch worden onderzocht en behandeld. In dit rapport wordt ingegaan op de stralingsbelasting voor leden van de bevolking en blootgestelde werknemers. Leden van de bevolking bevinden zich meestal buiten de locatie waar radioactieve stoffen of straling uitzendende toestellen worden toegepast. De belasting van personen die om medische redenen met straling worden onderzocht of behandeld, komt niet of hooguit zijdelings aan de orde. De stralingsbelasting voor leden van de bevolking door radon in woningen en het daarbij afzonderlijk te hanteren beleid worden niet behandeld.

### **1.4 Doelstelling van het jaarrapport**

Het informatiesysteem voor beleidsmonitoring zal op termijn alle relevante gegevens over bronnen van radioactieve stoffen en ioniserende straling in Nederland bevatten. Met deze gegevens worden overzichten van de blootstelling aan straling in Nederland gemaakt en analyses van de invloed van het stralingsbeschermingsbeleid op deze blootstelling uitgevoerd.

Het jaarrapport beoogt antwoord te geven op de volgende vragen:

- Hoe is de situatie rond de stralingsbelasting die door menselijk handelen tijdens normaal bedrijf is toegevoegd?
- Hoe zijn de ontwikkelingen van de stralingsbelasting in de afgelopen tijd geweest en hoe zijn deze te verklaren?
- Wat is de invloed van het beleid op de stralingsbelasting geweest?

### **1.5 Aanpak en leeswijzer**

Eerst is een indeling van de bronnen van straling in categorieën gemaakt. Daarbij hebben vooral praktische overwegingen zoals de beschikbaarheid van gegevens een grote rol gespeeld. Er is wel naar volledigheid gestreefd. Vervolgens zijn van de belangrijkste categorieën gedetailleerde gegevens verzameld, bewerkt en opgeslagen: de nucleaire installaties, de procesindustrie, de medische instellingen en de bedrijven die niet-destructief onderzoek uitvoeren (NDO-bedrijven). De gegevens zijn tenslotte gebruikt bij het maken van de overzichten in dit rapport.

De belangrijkste geraadpleegde informatiebronnen zijn:

- Vergunningen en bijbehorende aanvragen via het bureau Beschikkingen van de Arbeidsinspectie, Centraal Kantoor van het ministerie van SZW.
- Digitale bestanden met vergunningen die door bureau Beschikkingen de afgelopen jaren zijn verleend.
- Archieven van VROM/SNB en VROM-Inspectie.
- Radiologische en andere jaarverslagen van vergunninghouders.

Hoofdstuk 2 geeft een samenvatting van het stralingshygiënisch milieubeleid voor zover het van belang is voor de gegevens in de rest van het rapport. Hoofdstuk 3 geeft de indeling van de bronnen van straling, de bijbehorende argumentatie en een beschrijving van de onderscheiden categorieën. Hoofdstuk 4 gaat in op de vergunningen die de afgelopen jaren in het kader van art. 29 en 34 van de Kernenergiewet [4] zijn verstrekt. In het bijzonder wordt ingegaan op het vergunningverleningsbeleid en er worden overzichten gegeven van milieuaspecten in deze vergunningen. Hoofdstuk 5 bevat de overzichten van de situatie in Nederland, per ondernemerscategorie worden vergunde en werkelijke emissies naast elkaar geplaatst. Hoofdstuk 6 gaat per ondernemerscategorie apart en voor alle categorieën samen in op de individuele en collectieve doses voor leden van de bevolking. Hoofdstuk 7 geeft een samenvatting van de beroepsmatige blootstelling. Hoofdstuk 8 tenslotte, bediscussieert de bevindingen van voorgaande hoofdstukken en geeft aanbevelingen voor vervolgonderzoek.



## 2 Beleid

### 2.1 Inleiding

In dit rapport zijn bij het beschrijven van de ontwikkelingen in de stralingsbelasting die door menselijk handelen wordt toegevoegd de definities gebruikt die in het Besluit stralingsbescherming zijn opgenomen [5]. De nieuwe terminologie is, voor zover mogelijk, ook voor de situatie in het verleden gebruikt. Het beleid ten aanzien van de bescherming van werknemers wordt hier niet toegelicht aangezien een apart hoofdstuk (7) is gewijd aan beroepsmatige blootstelling inclusief het bijbehorende beleid.

### 2.2 Algemeen beleid

De wetgeving op het gebied van de stralingsbescherming in Nederland is vastgelegd in de Kernenergiewet (Kew). Dit is een raamwet waaraan een aantal algemene maatregelen van bestuur in de vorm van besluiten is gekoppeld. De belangrijkste besluiten zijn het Besluit stralingsbescherming (Bs) [5], het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen (Bkse) [6] en het Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen en radioactieve stoffen (Besluit vervoer) [7]. Het Besluit stralenbescherming Kernenergiewet (BsK) [8] is per 1 maart 2002 vervallen, maar is van belang in verband met de destijds afgegeven vergunningen. De overgang naar het Bs hangt samen met de implementatie van de Euratom richtlijnen 96/29/Euratom (basisnormen) en 97/43/Euratom (medische stralingstoepassingen) [1, 9].

De internationale praktijk van de stralingsbescherming gaat uit van een drietrapsysteem bestaande uit rechtvaardiging, optimalisatie en dosislimieten, in de aangegeven volgorde:

- **RECHTVAARDIGING:** een handeling of werkzaamheid is slechts gerechtvaardigd als de afweging van voordelen en nadelen een netto gunstig resultaat oplevert.
- **OPTIMALISATIE:** de blootstelling aan straling moet zo laag worden gehouden als redelijkerwijs mogelijk is, waarbij economische en sociale aspecten mee worden genomen. De optimalisatie is een invulling van het ALARA-beginsel (ALARA = *as low as reasonably achievable*).
- **DOSISLIMIETEN:** er gelden dosislimieten die niet mogen worden overschreden.

Het genoemde drietrapsysteem vormt ook de basis van het stralingsbeschermingsbeleid in Nederland.

#### *Rechtvaardiging*

Rechtvaardiging is in de wetgeving vastgelegd in het Bs (art. 4) en het Bkse (art. 18). In het Bs worden zowel economische als sociale voordelen beschouwd, bij de nadelen wordt alleen de gezondheidsschade, dus de stralingsbelasting, beschouwd. In het kader van het Bs is een ministeriële regeling uitgekomen met als bijlage twee lijsten: één met gerechtvaardigde en één met niet-gerechtvaardigde handelingen en werkzaamheden [10].

#### *Optimalisatie*

Naast het principe van de rechtvaardiging wordt optimalisatie toegepast. In de praktijk wordt er veelal een afweging gemaakt tussen de mate van een mogelijke risicoreductie, de kosten van de reductie en de financiële draagkracht van het bedrijf. In de wetgeving is het ALARA-beginsel vastgelegd in art. 15c, derde lid en art. 31, eerste lid, Kew alsmede in art. 5, Bs en in

art. 33, tweede lid, Bkse. Optimalisatie kan bovendien worden gerealiseerd door een nieuw beleidsinstrument, namelijk de dosisbeperking. Een dosisbeperking is een waarde van de dosis die wordt gehanteerd als plafondwaarde bij de planning van bepaalde handelingen. De voor de dosisbeperking gehanteerde waarde van de dosis zal daarbij beneden de dosislimiet liggen. Tot op heden zijn geen dosisbeperkingen voor specifieke handelingen vastgesteld.

Er wordt een waarde (het zogenaamde secundair niveau (SN)) gehanteerd waaronder de overheid de invulling van het ALARA-principe aan de vergunninghouder overlaat. Voor water- en luchtlozingen is het SN vastgesteld op 1  $\mu\text{Sv}$  effectieve dosis in een kalenderjaar, voor externe straling bedraagt het SN 10  $\mu\text{Sv}$  in een kalenderjaar. Voor lozingen is de dosis lager, omdat daar meer mensen aan kunnen blootstaan dan aan externe straling.

### *Dosislimieten*

De dosislimieten vervullen een vangnetfunctie, namelijk indien het toepassen van rechtvaardiging en ALARA niet voldoende is om een bepaald beschermingsniveau te bereiken. De door de richtlijn 96/29/Euratom aangegeven effectieve dosislimiet van 1 mSv voor leden van de bevolking ten gevolge van alle bronnen tezamen is in Bs-art. 6 overgenomen; deze limiet wordt de cumulatieve limiet genoemd. In hetzelfde artikel wordt verwezen naar art. 48 waarin is aangetekend dat de ondernemer ervoor zorgt dat de effectieve dosis ten gevolge van handelingen die onder zijn verantwoordelijkheid vallen buiten de locatie niet hoger is dan 0,1 mSv in een kalenderjaar; deze limiet wordt de locatielimiet genoemd.

### *Doses en vergunningverlening*

In het Bs, art. 3, derde lid wordt de basis geleverd om de verschillende binnen de vergunningverlening gehanteerde doses te toetsen aan de dosislimieten. De volgende doses voor leden van de bevolking zijn hierbij van belang, zoals is aangegeven in de MR-AGIS:

- **INDIVIDUELE DOSIS (ID):** de dosis die een individu kan ontvangen door onbeschermd 24 uur per dag blootgesteld te worden aan een bron of locatie. Hierbij dient te worden vermeld dat dit geen realistische benadering is.
- **MULTIFUNCTIONELE INDIVIDUELE DOSIS (MID):** de dosis die een individu kan ontvangen uitgaande van bewoning in de buurt van de locatie, omdat wonen veelal wordt gezien als de meest beperkende gebruiksoptie voor stralingsbelasting vanuit een naastgelegen locatie. De MID wordt verkregen door de ID te vermenigvuldigen met een factor 0,25 vanwege de afscherming door het woonhuis.
- **ACTUELE INDIVIDUELE DOSIS (AID):** de dosis die wordt bepaald uitgaande van de specifieke situatie, waarbij rekening wordt gehouden met de actuele functie. De individuele dosis wordt dan gecorrigeerd met de zogenoemde Actuele Blootstellings Correctiefactoren (ABC-factoren), waardoor de actuele individuele dosis ontstaat. De ABC-factoren zijn verblijfsduurfactoren. Dit in tegenstelling tot de wooncorrectiefactor welke een afschermingsfactor betreft.

Een belangrijke ontwikkeling met verregaande consequenties voor het stralingshygiënische beleid is dat alle handelingen en werkzaamheden op één locatie als één geheel worden beschouwd. Deze zienswijze heeft zijn intrede gedaan met de wijziging van het BsK in 1996 [11]. Door de invoering van het 'één vergunning per locatie'-beleid werd zowel voor de vergunninghouder als voor de overheid het overzicht van de binnen instellingen aanwezige stralingsbronnen vergroot. Tevens kwam daarmee de verantwoordelijkheid voor het naleven

van de vergunning meer centraal binnen een organisatie te liggen waar eerst sprake was van vele verschillende personen of diensten.

## 2.3 Specifiek beleid

### 2.3.1 Nucleaire installaties

Het stralingsbeschermingsbeleid rond nucleaire installaties is conform het algemene beleid gebaseerd op de principes rechtvaardiging, optimalisatie en toepassing van dosislimieten. Optimalisatie vindt plaats in de ontwerpfase van een nucleaire installatie, dus voordat de activiteit is aangevangen, en in de bedrijfsfase door de vergunninghouder nadat de handeling is toegestaan.

Met betrekking tot de beoordeling van nucleaire veiligheid is in Nederland de laatste jaren aansluiting gezocht bij het internationaal gehanteerde stelsel van veiligheidsnormen, de zogenaamde IAEA Codes and Safety Guides [12]. De IAEA Codes beschrijven de hoofddoelstellingen en voorwaarden waaraan moet worden voldaan en de Safety Guides geven acceptabele manieren van uitvoering weer. De IAEA Codes zijn waar nodig aangepast en mede op advies van de Commissie Reactorveiligheid vervolgens door de ministers van SZW en VROM vastgesteld als de voor Nederland geldende Nucleaire Veiligheidsregels (NVR's) [13]. Ook het merendeel van de Safety Guides is inmiddels als NVR vastgesteld [14]. Sinds 1992 is in de vergunningen van de kernenergiecentrales opgenomen dat, voorzover dit redelijkerwijs verlangd kan worden, voldaan dient te worden aan deze Nucleaire Veiligheidsregels.

Lozingen worden bewaakt, analytisch bepaald en gerapporteerd op een wijze die vooraf met de VROM-Inspectie is besproken. Deze beziet de lozingen tegen de achtergrond van de in Duitsland toegepaste methoden die gedetailleerd zijn beschreven in *Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischer Ausschuss* [15]. Indien van de toegestane lozingen in ventilatielucht of afvalwater op één dag meer is geloosd dan 5 % van de vergunde hoeveelheden per jaar, dan dient dit onmiddellijk aan VROM-Inspectie en Kernfysische Dienst te worden gemeld.

De landen die het OSPAR-verdrag hebben ondertekend onderschrijven de doelstelling '*the protection of the marine environment of the North-East Atlantic*'. In het kader van dit verdrag zijn alle deelnemende landen verplicht om lozingen van nucleaire installaties die uiteindelijk in het noordoosten van de Atlantische Oceaan terecht komen, te melden. Radioactiviteitslozingen zijn daar een onderdeel van. Daarnaast dienen de deelnemende landen ongeveer elke vier jaar aannemelijk te maken dat zij bij het lozen van chemische of radioactieve stoffen gebruik maken van de *best available techniques* (BAT) en de *best environmental practices* (BEP). In Nederland is de afdeling VROM/DGM/SAS verantwoordelijk voor het verzamelen en het rapporteren van de Nederlandse lozingsgegevens [16].

Met ingang van 1 juli 1999 is de zorg voor de Kernenergiewet en voor de op deze wet gebaseerde regelgeving, voor zover het de taken van het ministerie van EZ betreft, overgegaan naar het ministerie van VROM [17]. Deze overgang is ingegeven doordat op grond van internationale verdragen een functiescheiding tussen enerzijds de vergunningverlening en het toezicht en anderzijds de promotie van kernenergie moet bestaan.

Bovendien zijn het belang van kernenergie en de aspiraties van Nederland om deze te bevorderen afgenomen. De nadruk ligt nu veel meer op de stralingsbescherming.

Het beleid van de Nederlandse overheid is erop gericht om kerncentrale Borssele eind 2013 te sluiten. Voor wat betreft de kerncentrale Dodewaard is besloten na de sluiting in 1997 dat de definitieve ontmanteling en afbraak van de centrale na een wachttijd van 40 jaar zal plaatsvinden [18].

### **2.3.2 Procesindustrie**

Een deel van de procesindustrie bestaat uit bedrijven die al lang bestaan. Pas in de jaren tachtig werd beseft dat sommige van deze bedrijven radioactieve stoffen loosden. Sinds die tijd hebben bedrijven die daartoe verplicht zijn, een vergunning.

Hoewel in Nederland het stralingsbeschermingsbeleid op het gebied van werkzaamheden al enige jaren in de praktijk, en dan vooral in de vergunningverlening, wordt toegepast, is pas met het Besluit stralingsbescherming hiervoor aparte regelgeving gekomen.

### **2.3.3 Medische instellingen**

De regelgeving ten aanzien van stralingsbescherming voor medische toepassingen is vastgelegd in het Bs, artikelen 52-75. Meer specifieke regelingen zijn vastgelegd in de nota Medische stralingstoepassingen [19], de Richtlijn I-131 therapie, de Richtlijn Radionuclidentherapie [20] en de Richtlijn radionuclidenlaboratoria [21]. Daarnaast bieden nota's van adviescolleges zoals de vroegere Nationale Raad voor de Volksgezondheid (NRV) [22] en de Gezondheidsraad [23] en publicaties, verslagen en rapportages van de inspectie [24], aanbevelingen van beroepsgroepen, ziekenhuisprotocollen en notulen een bron van informatie over het stralingsbeschermingsbeleid.

#### *Rechtvaardiging*

In de 'Regeling bekendmaking rechtvaardiging gebruik van ioniserende straling' [10] zijn medische toepassingen opgenomen die gerechtvaardigd zijn om uit te voeren. Dit betekent dat bij een vergunningaanvraag de aangevraagde toepassing generiek gerechtvaardigd is. Echter, per patiënt moet er een specifieke afweging worden gemaakt of een onderzoek of therapie bij deze patiënt gerechtvaardigd is. Deze afweging of een onderzoek of behandeling moet worden toegepast, moet zowel door de aanvragend als de uitvoerend arts (radioloog, nucleair geneeskundige of radiotherapeut) worden gemaakt. In 2000 is het rapport 'Richtsnoeren voor verwijzing naar beeldvormend onderzoek' door de Europese Commissie uitgegeven [25] waarmee aanvragend artsen een betere afweging kunnen maken of en welk onderzoek het meest geschikt is voor het gewenste resultaat. Er moet gekeken worden of er mogelijk alternatieven zijn voor een toepassing met ioniserende straling die hetzelfde resultaat opleveren, artikel 56 Bs [5]. Een onderzoek of therapie moet een positieve bijdrage leveren aan de gezondheid van de individuele patiënt of van de bevolking, de voordelen van een toepassing moeten groter zijn dan de nadelen.

#### *Optimalisatie*

Optimalisatie in het kader van medische stralingstoepassingen betekent het gebruik van kwalitatief goede apparatuur en het regelmatig uitvoeren en vastleggen van



kwaliteitscontroles van de apparatuur, goed gekwalificeerd personeel, goed vastgelegde protocollen en richtlijnen ten aanzien van uit te voeren verrichtingen en het volgen en implementeren van nieuwe ontwikkelingen. De verschillende beroepsgroepen proberen tot protocollering en standaardisatie van de verschillende onderzoeken te komen, zoals bijvoorbeeld de aanbevelingen van de Nederlandse Vereniging van Nucleaire Geneeskunde (NVNG) [27]. De Europese Commissie heeft in 1999 een rapport uitgebracht met betrekking tot het optimaliseren van medische stralingstoepassingen waarin diagnostische referentieniveaus voor medische toepassingen worden gegeven [26]. Lidstaten zijn niet verplicht deze referentieniveaus over te nemen maar men is wel verplicht om het vaststellen en het gebruik van deze referentieniveaus te bevorderen, artikel 4 van de Euratom richtlijn 97/43 [9]. Deze verplichting is overgenomen in artikel 59 van het Bs [5].

### *Dosislimieten*

Voor patiënten bestaan, in tegenstelling tot blootgestelde werknemers en leden van de bevolking, geen dosislimieten. Het uitgangspunt voor een onderzoek moet zijn As Low As Reasonable Achievable (ALARA). Er wordt verwezen naar de laatste stand der medische wetenschap en naar aanbevelingen die door de beroepsgroepen worden gedaan ten aanzien van de uitvoering van een onderzoek. Voor therapie geldt dat het doelvolumen per patiënt moet worden berekend waarbij de patiëntdosis in het weefsel buiten het doelvolumen zo laag mogelijk dient te zijn, maar zonder aan het beoogde radiotherapeutisch effect van de blootstelling afbreuk te doen, artikel 58 Bs [5]. Ten aanzien van therapie met open stoffen wordt in de vergunning soms de maximale activiteit per handeling per patiënt aangegeven. Daarnaast wordt er ook verwezen naar de richtgetallen die door de beroepsgroep zijn opgesteld [27].

## **2.3.4 NDO-bedrijven**

Het stralingsbeschermingsbeleid voor de NDO-bedrijfstaking is gericht op een veilige opslag van ingekapselde bronnen, een voor werknemers en bevolking veilig gebruik van bronnen en toestellen, een juiste afvoer of overdracht van bronnen na gebruik, een regelmatige controle op juiste werking en een juiste administratieve afhandeling via registratie, beheer en melding.

Melding aan een of meer van de betrokken inspecties, te weten de Arbeidsinspectie (SZW), de VROM-Inspectie en het Staatstoezicht op de Mijnen (EZ) is slechts nodig in geval van incidenten. Handelingen voor derden buiten de inrichting van het NDO-bedrijf dat vergunninghouder is, behoeven alleen bij de betrokken regionaal directeur van de Arbeidsinspectie te worden gemeld.

In het stralingsbeschermingsbeleid is in de afgelopen periode het een en ander veranderd. De belangrijkste wijzigingen in het Bs zijn:

- Praktische bescherming van zogenaamde externe werknemers, naar aanleiding van een Euratom-richtlijn [28]. Dit gebeurt deels via de instelling van het stralingspaspoort, Bs art. 94 en 95.
- Voor de NDO-bedrijfstaking dienden ondernemers van een inrichting, alwaar door een NDO-bedrijf handelingen werden uitgevoerd, een administratie bij te houden van de diverse handelingen en de ontvangen doses. Dit werd wenselijk geacht in verband met mogelijke cumulatie van doses als werkzaamheden door verschillende NDO-bedrijven op hetzelfde terrein plaatsvonden. Echter, in de praktijk leek cumulatie niet veel voor te komen. Daarnaast vormde de administratie een onnodige last voor een groot aantal

bedrijven en deze werd door de wijze van onderaanneming veelal ook nog bemoeilijkt. Vandaar dat er tijdelijk, dat wil zeggen vanaf 7 januari 1998 tot het moment van de herziening van het BsK, aan alle NDO-bedrijven een ontheffing van BsK art. 74a is verleend en de administratieplicht is overgegaan op de vergunninghouder, dat wil zeggen het NDO-bedrijf. De herziening van het BsK is per 30 december 1998 doorgevoerd [29] en is in het Bs opgenomen in art. 121, derde lid.

- Het aantal opnamen vormt de basis van de stralingsbelasting voor de omgeving van de inrichting. In een, volgens Bs, conservatieve schatting komen 3300 opnamen per jaar overeen met een stralingsbelasting van 0,1 mSv per jaar, de locatielimiet (zie Bs, nota van toelichting bij art. 121). Indien degene die de NDO-handelingen binnen de locatie verricht een redelijk vermoeden heeft dat het aantal van 3300 opnamen per locatie in een kalenderjaar wordt overschreden, dan dient diegene dat te melden aan de minister van VROM en aan zijn opdrachtgever, (volgens Bs art. 121, lid 4).
- Een andere belangrijke wijziging wordt gevormd door de wijze van administreren van alle stralingshygiënische gegevens. Tot enkele jaren geleden diende er jaarlijks een rapportage aan de Arbeidsinspectie en aan de coördinator Vergunningen Kernenergie wet over aanwezigheid van bronnen en toestellen te worden gestuurd. Tevens dienden de bedrijven de administratie van alle controlemetingen en het beheerssysteem waarin de werkzaamheden met de bronnen en toestellen werden bijgehouden twee jaar te bewaren. Sinds het in gebruik nemen van een modelvergunning voor NDO dient de gehele administratie, die nu vijf jaar dient te worden bewaard, bij de vergunninghouder te liggen, zie Bs, art. 121, lid 5. Met de nieuwe modelvergunning zijn de vergunningen van NDO-bedrijven overigens veel uitgebreider en ze zijn voorzien van diverse eisen betreffende opslag en toepassing van de bronnen en toestellen, constructie van de bronnen en toestellen, periodieke controles, registraties en meldingen, belasting van personen en het milieu, eisen aan de organisatie, werkzaamheden, afval, enz.

Omdat het huidige beleid meer gericht is op het milieu en de algemene bevolking dan vroeger het geval was, kunnen zich knelpunten voordoen. Zo worden soms door NDO-bedrijven werkzaamheden aan de terreingrens van een bedrijf uitgevoerd, opdat de medewerkers van het betreffende bedrijf zo gering mogelijk worden blootgesteld. Echter, omdat hierdoor de stralingsbelasting buiten de terreingrens hoger kan worden, kan dit in voorkomende gevallen leiden tot tegenstrijdige belangen.

#### *NDO-Regelgeving in andere EU landen*

De limiet voor de omgevingsequivalentdosistempo aan de afzetting:

- in Frankrijk geldt een limiet van 7,5  $\mu\text{Sv/h}$  buiten de gecontroleerde zone en 22  $\mu\text{Sv/h}$  binnen de gecontroleerde zone [30],
- In Engeland is er een limiet van 7,5  $\mu\text{Sv/h}$ . Daarnaast moet *on-site radiography* 7 dagen van tevoren aan inspectie gemeld worden [31].
- in Zweden moeten gebieden afgezet worden waar de stralingsbelasting groter is dan 60  $\mu\text{Sv/h}$ . Het voorschrift voor het dosistempo buiten de stralingsruimtes is dat het minder dan 2  $\mu\text{Sv/h}$  moet bedragen op 0,1 m afstand van ieder bereikbare externe punt van de ruimte [32],

## 3 Categorieën ondernemers

### 3.1 Inleiding

In dit rapport is het volgende model gehanteerd om oorzaken en gevolgen met elkaar in verband te brengen. Een *ondernemer* heeft een *bron* voorhanden of past deze toe (of enz.) ten behoeve van een *handeling of werkzaamheid*. Met bron wordt hier een radioactieve stof of toestel bedoeld. Bij de handeling of werkzaamheid ontstaat een *emissie* van radioactieve stoffen of straling die leidt tot een *stralingsbelasting* bij één of meer *personen*. De ondernemer wordt in dit verband gezien als de veroorzaker van de stralingsbelasting en als degene die verantwoordelijk is voor de stralingsbescherming. Omdat het stralingsbeschermingsbeleid van de overheid zich, voor zover het het milieubeleid betreft, primair op deze verantwoordelijke ondernemers richt, is in dit rapport het type ondernemer als primaire indeling gehanteerd.

De volgende categorieën ondernemers zijn onderscheiden: nucleaire installaties, procesindustrie, medische instellingen, NDO-bedrijven en ‘overige ondernemers’. In de hierna volgende paragrafen worden per categorie ondernemers de belangrijkste bronnen en handelingen of werkzaamheden nader beschreven.

De bronnen (radioactieve stoffen en toestellen) zijn als volgt ingedeeld. Voor nadere uitleg over de besluiten die hierna worden aangehaald, wordt verwezen naar paragraaf 2.2.

- Bronnen, zoals gedefinieerd in het Besluit stralingsbescherming [5] die weer verder zijn ingedeeld in:
  - toestellen (inclusief versnellers, echter geen *after loading* toestellen),
  - natuurlijke bronnen (fosfaaterts), en
  - kunstmatige bronnen:
    - open bronnen (ook personen die met  $^{131}\text{I}$  zijn behandeld),
    - radioactieve afvalstoffen (schroot),
    - ingekapselde bronnen (ook Ir-draden).
- Bronnen, zoals gedefinieerd in het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen.
- Overige bronnen, zoals de bronnen die door het Besluit vervoer worden gereguleerd en bronnen zoals ‘radon in woningen’ en ‘bouwmaterialen’. De bronnen ‘kosmische straling’, ‘van nature in het menselijk lichaam aanwezige radionucliden’ en ‘terrestrische straling’ vallen buiten de reikwijdte van dit rapport. Het rapport beperkt zich immers tot de ‘door menselijk handelen verhoogde stralingsbelasting’.

De toepassingen waarvoor de ondernemer de bron gebruikt, zijn ingedeeld in handelingen en werkzaamheden. Handelingen zijn al die toepassingen waarbij een radioactieve stof of toestel wegens de radioactieve of stralingseigenschappen wordt gehanteerd. Ook het in bezit hebben van een toestel wordt als een handeling gezien. Werkzaamheden zijn activiteiten met natuurlijke bronnen waarbij de ioniserende straling niet functioneel is, maar wel onvermijdelijk aanwezig is. De lijst van soorten handelingen en werkzaamheden is lang en zeer divers. Bij de indeling van de soorten handelingen en werkzaamheden worden op de diverse beleidsterreinen (zie paragraaf 2.1) meestal praktische argumenten gehanteerd.

Voor de dosisregistratie van blootgestelde werknemers wordt in het Nationaal Dosis Registratie- en Informatie Systeem (NDRIS) uitgegaan van soorten radiologisch werk [33]. Voor informatie over medische stralingsbelasting ligt het voor de hand om het type medische

verrichting als indeling te gebruiken [34]. Hier wordt volstaan met een opsomming van de soorten handelingen en werkzaamheden die bijvoorbeeld vóórkomen in vergunningen en andere beschikkingen die door bureau Beschikkingen in afgelopen jaren zijn verstrekt (zie hoofdstuk 4):

- Reactorbedrijf;
- verwerking en opslag radioactief afval;
- uraniumverrijking;
- productie, bewerking en hantering van fosfor; fosforzuur; kunstmest; cement; cokes, sinter, pellets en ruwijzer; minerale zanden; olie en gas; katalysatoren;
- productie radioactieve stoffen;
- medische diagnostiek;
- medische therapie;
- tuberculosebestrijding;
- bestraling van bloedproducten en medische hulpmiddelen;
- voedsel-doorstraling;
- veterinaire diagnostiek;
- niet-destructief onderzoek, gamma- en radiografische werkzaamheden;
- gaschromatografie;
- röntgendiffractie en -spectrografie;
- analysedoeleinden (materiaal, metaal, zwavel);
- concentratie-, dikte-, dichtheids-, vochtigheids-, gramgewichts-, niveau-, volumemeting
- geofysische metingen;
- ijkdoeleinden;
- onderwijs-, instructie- en oefendoeleinden;
- demonstratiedoeleinden;
- wetenschappelijk onderzoek en andere onderzoeksdoeleinden;
- bagage-inspectie;
- uitsluitend opslag (tijdelijk);
- vervoer radioactieve stoffen;
- toepassingen van verarmd uranium;
- gebruiksartikelen (aanwijsinstrumenten, rookmelders, gloeikousjes e.d.; deze werden voorheen consumentenproducten genoemd).

## 3.2 Nucleaire installaties

De groep nucleaire installaties in Nederland bestaat uit de kerncentrales in Borssele en Dodewaard, de opslagfaciliteit voor radioactief afval COVRA, de onderzoeksreactoren in Petten en bij IRI in Delft en de verrijkingsfabriek Urenco.

### *Kerncentrales Borssele en Dodewaard*

De kerncentrale Borssele (1366 MW<sub>th</sub>, 485 MW<sub>e</sub>) en tot enkele jaren geleden de kerncentrale Dodewaard (voorheen: 183 MW<sub>th</sub>, 58 MW<sub>e</sub>) passen beide kernsplijting toe van verrijkt uranium voor de opwekking van warmte en elektrische energie. Bij normaal bedrijf zijn <sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C en halogenen, zoals <sup>131</sup>I, de belangrijkste radionucliden in ventilatielucht. In afvalwater zijn het splijtingsproducten, zoals <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs en activeringsproducten, zoals <sup>54</sup>Mn en <sup>60</sup>Co. De kerncentrale Dodewaard levert sinds maart 1997 geen elektriciteit meer. De bestraalde splijtstof is sinds april 2003 afgevoerd. Er wordt momenteel gewerkt aan de Veilige Insluiting, waarna 40 jaar gewacht wordt met verdere ontmanteling.

### *Opslag radioactief afval COVRA te Vlissingen*

De COVRA verwerkt vloeibaar radioactief afval en slaat vast radioactief afval op. Ook vindt er verbranding plaats van kadavers van proefdieren. De mogelijk te lozen radionucliden naar lucht zijn voornamelijk  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  en  $^{131}\text{I}$ ; naar water is het afhankelijk van de afvalaanbieder zoals bijvoorbeeld een onderzoeksreactor, een ziekenhuis, een C-lab en dergelijke. Gezien de kosten voor opslag bij de COVRA wachten de aanbieders van radioactief afval eerst het verval van kortlevende radionucliden af. Daardoor zullen er in de regel weinig kortlevende radionucliden door de COVRA verwerkt en geloosd worden.

### *Onderzoeksreactor IRI te Delft*

De Technische Universiteit Delft heeft op haar terrein de Hoger Onderwijs Reactor staan met als doel onderzoek en onderwijs op het gebied van radionucliden, reactorkunde en materiaalonderzoek. Daartoe heeft het de beschikking over een kernreactor van  $2\text{ MW}_{\text{th}}$ , een gepulseerde Van de Graaff elektronenversneller en diverse experimenteerfaciliteiten en laboratoria. Het belangrijkste nuclide dat in lucht geloosd wordt, is  $^{41}\text{Ar}$ .

### *Onderzoekslocatie Petten (OLP)*

Op het terrein van de Onderzoekslocatie Petten (OLP), staan een hoge flux reactor ( $60\text{ MW}_{\text{th}}$ ) en een lage flux reactor ( $30\text{ kW}_{\text{th}}$ ) en een molybdeen-technetium fabriek van Tyco Healthcare, alsook enkele onderzoekslaboratoria. De eigenaar van de HFR is het GCO (Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek van de EU). In 2004 zal de vergunning voor de HFR van GCO naar NRG overgaan. Het afvalwater vanuit OLP wordt gecombineerd geloosd zodat de herkomst van de radionucliden in het afvalwater niet altijd traceerbaar is. De belangrijkste nucliden die in lucht geloosd worden zijn edelgassen en  $^3\text{H}$ . De lozingen in water worden gedomineerd door een verzameling van beta- en gammastralers.

### *Verrijkingsfabriek Urenco*

De verrijkingsfabriek Urenco gebruikt ultracentrifuges om het gehalte van 0,71 gewichtsprocent (%wt)  $^{235}\text{U}$  in natuurlijk uranium zodanig te verhogen (verrijken) tot circa 4 %wt zodat het voor kernsplijting in een kerncentrale als Borssele geschikt is. Hiervoor wordt natuurlijk uranium omgezet in relatief vluchtig uraniumhexafluoride, wat niet in Almelo gebeurt. Het uraniumhexafluoride wordt in containers over zee en via wegtransport naar Almelo vervoerd. De mogelijk te lozen radionucliden naar lucht en water beperken zich hoofdzakelijk tot  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  en enkele kortlevende vervalproducten.

## **3.3 Procesindustrie**

De procesindustrie omvat die bedrijven die onder andere grondstoffen omzetten in halfproducten of eindproducten door middel van chemische of fysische bewerkingen. De stralingsbelasting wordt veroorzaakt door het verwerken en opslaan van natuurlijke bronnen. Hierbij kan lozing en concentratie (ook naar het eindproduct) van radionucliden optreden, bijvoorbeeld door de gebruikte hoge temperaturen. Bij de opslag is de mogelijke radioactiviteit van grondstoffen, afvalstoffen en het eindproduct van belang. Een verdere bron van stralingsbelasting is het gebruik van toestellen en ingekapselde bronnen.

In de voorgaande rapportage is een selectie gemaakt van de vijf ondernemingen die naar verwachting de hoogste bijdrage leveren aan de MID voor de Nederlandse bevolking. Voor de voorliggende rapportage is onderzocht of deze selectie moest worden uitgebreid. Daartoe zijn twee SZW rapporten over werkzaamheden met blootstelling aan natuurlijke straling [35, 36] bestudeerd. Dit leidde tot een selectie van bedrijven die wellicht ook significant zouden kunnen bijdragen aan de MID voor de Nederlandse bevolking. Bij nadere bestudering van de voor die bedrijven relevante processen en de (hoeveelheden) grondstoffen die in deze bedrijven gebruikt worden, bleek dat het grootste deel ervan een dosisbijdrage (MID) ver beneden 1  $\mu\text{Sv}$  voor de Nederlandse bevolking levert.

Van de vijf bedrijven die voor de vorige rapportage geselecteerd werden zijn er eind 1999 en begin 2000 twee gesloten, namelijk Hydro Agri en Kemira. Deze bedrijven worden hier niet meer beschouwd, behalve ten behoeve van overzichten over het laatste decennium. De voor dit rapport onderzochte bedrijven zijn Corus, Eggerding en ThermPhos. Per geselecteerd bedrijf wordt in het volgende een korte beschrijving gegeven van de voor dit rapport relevante gegevens.

#### *ThermPhos (Vlissingen)*

ThermPhos (voorheen Hoechst) produceert elementair fosfor uit fosfaaterts. Dit fosfor wordt gedeeltelijk gebruikt voor de productie van fosforzuur en andere fosforhoudende chemicaliën. De emissies bestaan vooral uit  $^{210}\text{Pb}$  en  $^{210}\text{Po}$ , dat vrijkomt door de hoge procestemperatuur. Deze lozingen vinden zowel plaats in het oppervlaktewater als in de lucht. Verder zijn er emissies door opslag van radioactief afvalstof en het gebruik van kunstmatige bronnen, waarvan een deel in de ovenwand is ingebouwd en gedeeltelijk in de afvalslak terecht komt.

#### *Corus (IJmuiden)*

De hier relevante afdeling is Corus Staal B.V. (voorheen Hoogovens Staal), dat ijzer en staal maakt van ijzererts, schroot en steenkool. De emissies vinden voornamelijk plaats via de luchtzijdige lozingen van  $^{210}\text{Pb}$  en  $^{210}\text{Po}$ , nucliden die vrijkomen door de hoge procestemperatuur en door lozingen op het oppervlaktewater van water dat bij gaswassing gebruikt is. Verder worden ingekapselde bronnen en toestellen gebruikt en is er in het verleden radioactief slib opgeslagen.

#### *Eggerding (Amsterdam)*

Dit expeditie- en veembedrijf handelt in minerale zanden, ertsen en mineralen. Er worden grondstoffen op- en overgeslagen. De werkzaamheden bestaan uit het verpakken, malen en zeven van de producten. De stralingsbelasting wordt veroorzaakt door stofemissie uit ventilatiekanalen en door verwaaiing tijdens op- en overslag. Verder vindt er lozing op water plaats door verwaaiing en wordt er bedrijfsafvalwater geloosd. Door de opslag van natuurlijke radioactieve stoffen is er ook een bijdrage door externe straling

### 3.4 Medische instellingen

Van de medische instellingen zijn ziekenhuizen en radiotherapeutische instellingen van belang als het gaat om mogelijke bijdragen aan de blootstelling van de bevolking door ioniserende straling. Hier vinden alle vormen van medische toepassingen met ioniserende straling plaats: radiotherapeutische, radiologische en nucleair geneeskundige verrichtingen. Andere medische instellingen zoals verpleeghuizen, psychiatrische instellingen, e.d., beschikken soms over een eigen röntgentoestel voor diagnostiek maar meestal wordt door deze instellingen gebruik gemaakt van een nabij gelegen ziekenhuis. Privé-klinieken behoren tot een categorie instellingen waarover nog weinig gegevens bekend zijn met betrekking tot het gebruik van ioniserende straling. Verder zijn er nog tandartspraktijken, GGD's en eenheden voor borstkankerscreening die medisch diagnostische onderzoeken uitvoeren waarbij gebruik gemaakt wordt van röntgenapparatuur. Deze instellingen worden in dit rapport niet nader beschouwd, omdat de te verwachten lozingshoeveelheden en dosis aan de terreingrens beperkt zijn.

Ziekenhuizen zijn in te delen in algemene, academische en categorale ziekenhuizen. In 2001 waren er 93 algemene, 8 academische en 7 categorale erkende ziekenhuizen. Daarnaast zijn er 6 zelfstandige radiotherapeutische instellingen.

Radiologie en nucleaire geneeskunde zijn twee belangrijke afdelingen in ziekenhuizen met betrekking tot het toepassen van ioniserende straling. Binnen de radiologie wordt gebruik gemaakt van een diversiteit aan röntgentoestellen ten behoeve van beeldvormende diagnostiek. In Nederland zijn alle 114 instellingen, behorende tot de categorieën van Tabel 1, in het bezit van röntgentoestellen ten behoeve van diagnostiek, het aantal en soort toestellen varieert per instelling. Binnen de nucleaire geneeskunde is een onderscheid te maken tussen diagnostiek en therapie. Diagnostiek maakt in het algemeen gebruik van geringe hoeveelheden activiteit per handeling en waar mogelijk een radionuclide met een geringe halveringstijd ( $^{99m}\text{Tc}$  is het meest gebruikte radionuclide binnen de nucleair geneeskundige diagnostiek). Bij nucleair geneeskundige therapie kan de toegediende hoeveelheid activiteit aanzienlijk zijn en wordt een radionuclide (veelal  $^{131}\text{I}$ ) met een langere halveringstijd toegepast om het effect van de therapie zo groot mogelijk te maken waardoor dit nuclide in vergelijking tot  $^{99m}\text{Tc}$  een grotere milieubelasting kan opleveren. Het aantal instellingen met een afdeling nucleaire geneeskunde is de laatste jaren in aantal toegenomen, van die afdelingen is er ook een toenemend aantal dat therapeutische behandelingen uitvoert. Nucleair geneeskundige diagnostiek vindt plaats in 65 instellingen en therapie wordt uitgevoerd in 53 van deze instellingen (Tabel 1).

Een vergelijking van het aantal instellingen met voorgaande jaren, is niet goed mogelijk gezien het grote aantal fusies binnen ziekenhuizen. Door deze fusies neemt het totaal aantal erkende ziekenhuizen af, terwijl het aantal locaties niet noemenswaardig verandert.

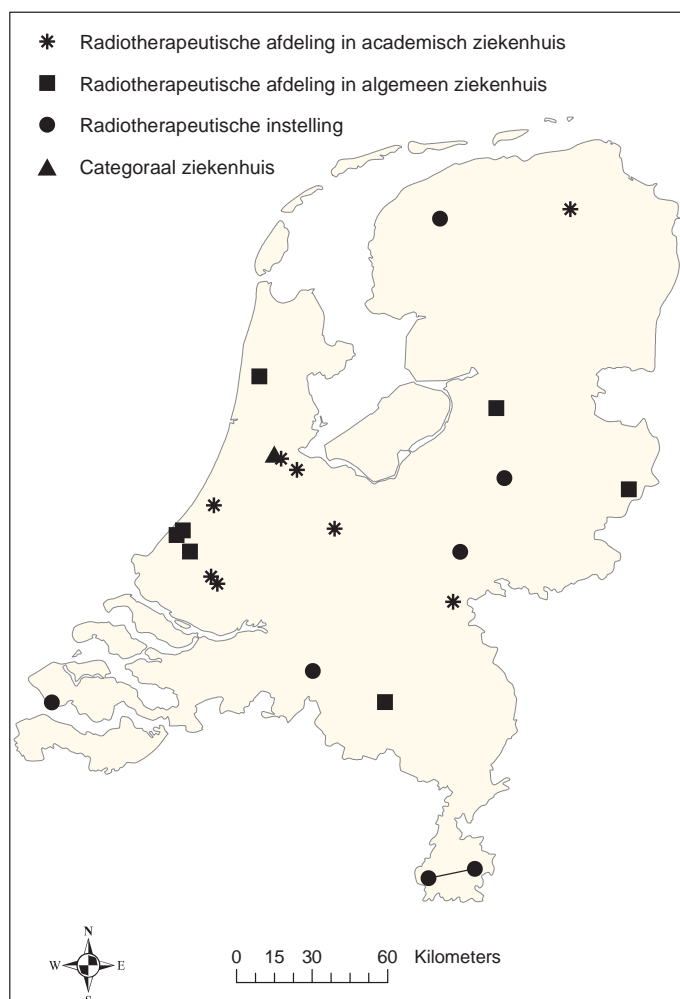
*Tabel 1 Aantal medische instellingen waar radiodiagnostiek, nucleaire geneeskunde en radiotherapie wordt toegepast, per type instelling in 2001. Gegevens afkomstig uit Enquête Jaarcijfer Ziekenhuizen (EJZ), Jaarenquête Beeldvormende Diagnostiek (JBD), Jaarenquête Academische Ziekenhuizen (JAZ) en jaarverslagen. (Voor radiotherapie zijn een academisch ziekenhuis en een radiotherapeutische instelling die samenwerken als één radiotherapeutisch instituut geteld).*

	Radio- diagnostiek	Nucleaire geneeskunde diagnostiek	therapie	Radio- therapie
Algemene ziekenhuizen	93	55	43	7
Academische ziekenhuizen	8	8	8	7
Categorale ziekenhuizen	7	1	1	1
Radiotherapeutische instellingen	6	1	1	6
Totaal	114	65	53	21

Verspreid over Nederland bevinden zich in totaal 21 radiotherapeutische centra op 23 locaties (Figuur 1); 6 zelfstandige radiotherapeutische instituten, 1 categoriaal kankerinstituut, 7 radiotherapeutische afdelingen in academische ziekenhuizen en 7 radiotherapeutische afdelingen in algemene ziekenhuizen [37]. De afdeling radiotherapie van één academisch ziekenhuis heeft een samenwerkingsverband met een radiotherapeutische instelling en samen vormen ze één radiotherapeutisch instituut (2 locaties). In dit rapport wordt dit instituut als zelfstandige radiotherapeutisch instelling aangemerkt (Tabel 1).

Voor dit rapport worden voornamelijk de 21 instellingen beschouwd waar radiotherapie plaatsvindt. Gezien de toepassingen die uitgevoerd worden zullen zij in vergelijking met andere medische instellingen vermoedelijk de hoogste bijdrage leveren aan de dosis voor de bevolking. Deze radiotherapeutische afdelingen of instellingen maken of onderdeel uit van een ziekenhuis of hebben een samenwerkingsverband met een ziekenhuis in de buurt. Deze ziekenhuizen liggen soms op dezelfde locatie als de radiotherapeutische instelling, soms liggen ze verspreid over verschillende locaties, maar dan vallen ze als geheel onder één vergunning. Voor deze ziekenhuizen, die onder dezelfde vergunning als de radiotherapeutische instelling vallen is ook gekeken naar de radiologische en nucleaire geneeskundige verrichtingen die uitgevoerd worden.





*Figuur 1* Overzicht van de 23 locaties van 21 radiotherapeutische instellingen in Nederland.

### 3.5 NDO-bedrijven

In Nederland zijn er bedrijven die niet-destructief onderzoek (NDO) verrichten met behulp van ioniserende straling. Bedrijven die behoefte hebben aan NDO-metingen binnen hun eigen bedrijfsproces kunnen onderzoek laten verrichten a) door eigen medewerkers b) door het onderzoek uit te besteden aan gespecialiseerde bedrijven c) door eigen (routinematige) metingen te combineren met uitbesteding van meer ad-hoc metingen.

Er is een twintigtal bedrijven dat uitsluitend of voornamelijk NDO-handelingen voor derden verricht. Eén van deze bedrijven heeft 70% van de Nederlandse markt [38]. De handelingen kunnen worden omschreven als het uitvoeren van niet-destructief onderzoek in uiteenlopende takken van industrie, te weten scheepsbouw, pijpleidingenbouw, civiele werken, energievoorziening, de petrochemie, lucht- en ruimtevaart. De omvang en stralingsbelasting door deze bedrijven wordt in paragrafen 5.5 en 6.5 toegelicht.

Een overzicht van alle NDO-handelingen die in Nederland worden verricht is gegeven door de Regeling bekendmaking rechtvaardiging gebruik van ioniserende straling [10], en de bijbehorende voorbeelden. Hieronder volgt een daarvan afgeleid overzicht van toepassingen

waarbij zowel een onderverdeling is gemaakt naar de aard van de stralingsbron (open bronnen, toestellen en ingekapselde bronnen) als naar vaste en mobiele opstellingen.

### *Toepassingen met open bronnen*

NDO-handelingen met uitsluitend open bronnen zijn tracermetingen in de industrie ten behoeve van procestechnologisch onderzoek, olie- en gaswinning en voor de karakterisering van procesvoering [39]. Alle andere handelingen worden in het algemeen uitgevoerd met zowel toestellen als ingekapselde bronnen.

### *Toepassingen met toestellen danwel ingekapselde bronnen*

- meet- en regeltechniek binnen diverse productieprocessen. Enkele voorbeelden zijn metingen van dikte, dichtheid, niveau, gramgewicht (massa per oppervlakte: bijv. bandweegmeting), vochtigheid, concentratie, verplaatsing, debiet, samenstelling olie-, gas- en watermengsels [39];
- diverse ijkbronnen voor het testen van diverse apparatuur en stoffen;
- analyse van bepaalde stoffen en materialen: bijvoorbeeld gaschromatografie, elementanalyse met behulp van neutronenactivering, stofmonitoring, stofemissiemeting, röntgenfluorescentie-analyse, bètascoop (bepaling dikte dunne metaallagen, tot vijf atoomlagen);
- het verkrijgen van inzicht in de kwaliteit van een te onderzoeken object (controle), bijvoorbeeld transmissie en backscatter, gammagrafie, neutronenactivering, neutronenradiografie;
- procestechnologisch onderzoek voor de karakterisering en opsporing van storingen in chemische processen (ook *on stream* of *troubleshooting* in procesapparatuur zoals in vergunningen ook beschreven wordt), bijv. gammatransmissie, gammabackscatter en neutronenbackscatter met mobiele bronnen, het opsporen van verstoppingen in leidingen, het onderzoeken van de werking van destillatiebronnen, het meten van aangroeiing in procesapparaten en van depositie in leidingen;
- exploratie onderzoek voor de verhoging van het rendement van olie- en gasvelden en betere benutting van energievoorraden (ook *logging* genoemd); bijvoorbeeld gammabackscatter ten behoeve van dichtheidsmetingen van gesteenten in gas- en olievelden via boorputten, en neutronenbackscatter voor het opsporen van bovengenoemde velden.

Er worden ook worden andere *logging operations* verricht. Bijvoorbeeld geofysische metingen zoals dichtheidsmetingen van de grond: zowel gamma- als neutronenbronnen worden in boorputten neergelaten [38]. Het betreft in Nederland slechts enkele firma's [38]. Dergelijke neutronenbronnen worden ook gebruikt voor vochtheidsmetingen in de wegenbouw: in NDRIS zijn er in totaal 90 bedrijven, met een totaal van 200 medewerkers, die neutronenbronnen toepassen. Vanwege de lage stralingsbelasting aan de terreingrens worden deze handelingen in dit rapport niet verder toegelicht.

- analyse en onderzoek, zoals fluorescentieanalyses, met behulp van röntgendiffractie-apparaten, röntgenspectrografen, en deeltjesversnellers;
- industriële radiografie, röntgenografie, opsporing van wapens en drugs, doorlichten van bagage, en met behulp van deeltjesversnellers containers in havens en op vliegvelden controleren.

Voor de schatting van de stralingsbelasting wordt onderscheid gemaakt tussen mobiele en vaste opstellingen.

### *Mobiele en vaste opstellingen*

Alle bovengenoemde handelingen kunnen worden uitgevoerd zowel in mobiele als vaste opstellingen. Een vaste opstelling wordt gekarakteriseerd door een gesloten apparaat in/of speciaal afgeschermdes ruimtes (de zogenaamde stralingsbunkers) waarin de NDO-handeling plaats vindt waardoor de stralingsbelasting voor de bevolking drastisch wordt beperkt. Dit is bijvoorbeeld het geval voor röntgenapparaten voor het controleren van de bagage van vliegtuigpassagiers, röntgenfluorescentie metingen en deeltjesversnellers.

De handelingen die met mobiele units op wisselende plaatsen in Nederland uitgevoerd worden leveren potentieel de hoogste dosis op. Röntgentoestellen met een buisspanning van maximaal 320 kV en <sup>192</sup>Ir-bronnen, soms zelfs <sup>60</sup>Co-bronnen, kunnen worden ingezet op locaties waar de afscherming per geval geregeld moet worden. Hierbij is het niet altijd mogelijk om maatregelen voor het beperken van de dosis te treffen (zoals het richten van de bundel naar de grond, naar zand- of betonwallen, of naar verrijdbare loodschotten). Bovendien wordt het begrenzen van lekstraling beperkt door de wens om de apparaten niet onnodig te verzwaren.

## **3.6 Overige ondernemers en stralingsbronnen**

Tot de groep van ‘overige ondernemers’ behoren die ondernemers waarvoor nog weinig gedetailleerde gegevens zijn verzameld of die in de totale emissie vermoedelijk een minder relevante rol spelen. In Tabel 2 zijn de categorieën ondernemers geplaatst naast de codes die in NDRIS voor werkgevers worden toegepast. De eerste vier categorieën ondernemers zijn in de paragrafen hiervoor aan de orde geweest. Het totaalbeeld van de emissies en stralingsbelasting voor de twee categorieën ‘industrie’ en ‘onderwijsinstellingen en onderzoeksinstituten’ is nu nog onvoldoende uitgewerkt.

Van de overige stralingsbronnen die hiervoor nog niet zijn genoemd, maar die vanuit stralingsbeschermingsoogpunt toch van belang zijn, wordt in de rest van dit rapport alleen ‘gebruiksartikelen’ nader beschouwd. Voor de beschrijving van andere stralingsbronnen zoals bouwmaterialen, de patiëntendosis door medische diagnostiek, fallout en dergelijke wordt verwezen naar [40].

### *Gebruiksartikelen*

Met gebruiksartikelen worden in dit rapport ‘producten of toestellen of diverse bronnen waarin bewust radioactieve stoffen zijn verwerkt en die zonder speciaal toezicht aan leden van de bevolking kunnen worden aangeboden’ bedoeld. Deze definitie is afkomstig uit een EU-rapport [41] en luidt in het Engels ‘*manufactured products or appliances or miscellaneous sources in which radionuclides have been intentionally incorporated and which can be supplied to members of the public without special surveillance*’. De categorie ondernemers die voor gebruiksartikelen van belang is, omvat voornamelijk de producenten, leveranciers en verkopers van deze producten. Recent onderzoek over dit onderwerp is beschreven in twee RIVM-rapporten [42, 43].

*Tabel 2 Categorieën ondernemers die in dit rapport worden gehanteerd versus de codes voor werkgevers in NDRIS en vice versa.*

ondernemers-categorie	NDRIS-codes voor werkgevers
nucleaire installaties	07, 08
procesindustrie	09
medische instellingen	01, 02, 03, 05
NDO-bedrijven	09
industrie (excl. procesindustrie en NDO-bedrijven)	09
onderwijsinstellingen en onderzoeksinstituten (excl. ac. ziekenhuizen)	06, 10
overige ondernemers	04, 11, 12, 13

NDRIS-code	werkgever
01	ziekenhuizen (niet-universitair) en (bedrijfs-) geneeskundige diensten
02	ziekenhuizen (uitsluitend universitair)
03	tandheelkundige praktijken/centra
04	diergeneeskundige praktijken/centra
05	diverse particuliere praktijken
06	universiteiten (excl. ziekenhuizen en reactoren)
07	researchreactoren
08	kernenergiecentrales
09	industrie/bedrijfsleven
10	openbare diensten en bedrijven/semi-overheidsinstellingen en onderwijsinstellingen
11	overheden/inspecties
12	defensie
13	niet in te passen

## 4 Vergunningen

### 4.1 Inleiding

Volgens de Kernenergiewet is het verboden om zonder vergunning radioactieve stoffen voorhanden te hebben, te gebruiken of er zich van te ontdoen, behoudens een aantal nader gedefinieerde uitzonderingen. Naast deze vergunningsplicht bestaat er voor sommige handelingen en werkzaamheden een meldingsplicht. Met de invoering van het Besluit stralingsbescherming wordt de meldingsplicht meer dan voorheen toegepast.

De vergunningen worden door de nationale overheid verleend, meestal krachtens een van de besluiten (zie paragraaf 2.2). Vanwege de aard van de toepassingen van radioactieve stoffen en straling zijn de ministers van SZW en VROM bevoegd gezag. Bij medische toepassingen wordt de beschikking mede in overeenstemming met de minister van VWS genomen. Voor nucleaire installaties zijn de ministers van VROM, SZW en EZ bevoegd tot het nemen van een beslissing op een aanvraag. In het geval dat er lozingen in lucht en/of oppervlaktewater plaatsvinden, dienen ook de ministers van V&W en LNV te worden betrokken. De afdeling Beschikkingen van het ministerie van SZW is verantwoordelijk voor het administratief afhandelen van de vergunningverlening en fungeert als centraal postadres.

Hierna wordt eerst ingegaan op de soorten vergunningen en de activiteiten van de afdeling Beschikkingen. Vervolgens wordt aanvullend op het voorgaande hoofdstuk nader op het algemene en het voor elke categorie ondernemers specifieke vergunningverleningsbeleid ingegaan. Dit hoofdstuk besluit met enkele overzichten van vergunningen en andere beschikkingen die de afgelopen jaren zijn verstrekt.

### 4.2 Soorten vergunningen

De Kernenergiewet bevat de volgende algemene artikelen over de vergunningsplicht.

- |                  |   |
|------------------|---|
| Art. 15, onder a | Het is verboden zonder vergunning <i>splijtstoffen of ertsen</i> voorhanden te hebben, dan wel zich daarvan te ontdoen.   |
| Art. 15, onder b | Het is verboden zonder vergunning een <i>inrichting</i> , waarin kernenergie kan worden vrijgemaakt, splijtstoffen kunnen worden vervaardigd, bewerkt of verwerkt, dan wel splijtstoffen worden opgeslagen, op te richten, in werking te brengen of te houden of te wijzigen. |
| Art. 29          | Het is verboden zonder vergunning <i>radioactieve stoffen</i> te bereiden, te vervoeren, voorhanden te hebben, toe te passen, binnen Nederlands grondgebied te brengen of te doen brengen, dan wel zich daarvan te ontdoen.   |
| Art. 34          | Bij algemene maatregel van bestuur kunnen met het oog op de bescherming van mensen, dieren planten en goederen regelen worden gesteld betreffende <i>ioniserende stralen uitzendende toestellen</i> .   |

Een vergunning in het kader van artikel 15, onder b, is een integrale inrichtingsvergunning. Dat wil zeggen dat hierin ook radioactieve stoffen en toestellen meegenomen worden, alsmede de conventionele milieuaspecten die anders in een Wet milieubeheer-vergunning opgenomen worden.

Aanvullend is er in de algemene maatregelen van bestuur een aantal relevante artikelen opgenomen, zoals de artikelen 4 (vierde en vijfde lid), 23, 24 en 25 van het Besluit

stralingsbescherming over gevallen waarin een vergunning is vereist bij handelingen met radioactieve stoffen en toestellen. Uit het Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen en radioactieve stoffen zijn de artikelen 2, 23 en 26 van belang en uit het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen de artikelen 41 tot en met 44 betreffende vrijstellingen voor het voorhanden hebben en het zich ontdoen van splijtstoffen en ertsen.

Als gevolg van het 'één vergunning per inrichting' beleid worden stralingstoepassingen in het kader van artikel 29 en 34 zoveel mogelijk in één vergunning opgenomen. In 'Vereiste informatie bij een aanvraag om vergunning voor handelingen ingevolge artikel 29 en 34 Kernenergiewet' [44] wordt voor een vergunning voor één inrichting onderscheid gemaakt tussen diverse typen: een enkelvoudige vergunning, een verzamelvergunning of een complexvergunning.

In het vervolg van dit hoofdstuk wordt de term beschikking gehanteerd, waarmee een besluit door een bewindspersoon wordt aangeduid en waartegen een beroep mogelijk is. Een beschikking kan het verlenen van een vergunning, een wijziging van een bestaande vergunning of een beëindiging van de behandeling van een aanvraag zijn, maar ook een ontvankelijkverklaring of een intrekking van een vergunning inhouden (zie verder paragraaf 4.5).

### 4.3 Rolverdeling

De afdeling Beschikkingen van het ministerie van SZW is verantwoordelijk voor de afhandeling van de vergunningverlening krachtens de artikelen 29 (radioactieve stoffen) en 34 (toestellen) van de Kernenergiewet. In het archief van de afdeling Beschikkingen worden alle vergunningen opgeslagen die onder de artikelen 29 en 34 Kew uitgereikt zijn. Naast vergunningen bevat het archief ook aanvragen, advies van de inspectie, meldingen en bezwaarprocedures. In het kader van de vergunningverlening met betrekking tot de Kernenergiewet, artikel 15, onder b (nucleaire installaties) was het ministerie van EZ penvoerder en daarna het ministerie van VROM. Derhalve zijn die vergunningen niet in het archief van de afdeling Beschikkingen opgenomen. Naast beschikkingen die op radioactieve stoffen en toestellen betrekking hebben, bevat het archief beschikkingen (die overigens wel door het ministerie van VROM worden verstrekt) voor invoer en vervoer van radioactieve stoffen en voor rookmelders [2].

Tijdens de pilotstudie is een grove schatting van het aantal vigerende vergunningen in het archief gemaakt: 1500 voor ingekapselde bronnen, 400 voor open bronnen en 1500 voor toestellen. Totaal waren er daarmee naar schatting zo'n 3400 vergunningen. Bijna de helft bestaat uit vergunningen voor de industrie (exclusief de procesindustrie), bijna een kwart voor medische instellingen, ongeveer 15% voor onderwijsinstellingen en onderzoeksinstituten, 10 % voor de procesindustrie en 3% voor de NDO-bedrijven. Doordat de laatste jaren meer vergunningen voor de hele inrichting worden verleend verandert het aantal en de samenstelling snel.

## 4.4 Vergunningverleningsbeleid

### 4.4.1 Algemeen

In 1993 is een aantal veranderingen van het vergunningverleningsbeleid in de toenmalige beleidsstandpunten opgenomen, waarvan hier enkele belangrijke zijn vermeld [45].

In het verleden is het Nederlandse beleid gebaseerd geweest op risicogetallen, waarbij een risicofactor van 2,5% per sievert werd gehanteerd [46]. Een risiconiveau per bron van  $10^{-6}$  per jaar kwam daardoor overeen met een dosis van  $0,04 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ . Dit maximum is geruime tijd bij de vergunningverlening gebruikt. Met de komst van het BsK96 is deze zogenaamde locatielimiet (destijds bronlimiet genoemd) op  $0,1 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$  gebracht. In de vergunningen die sinds 1996 zijn verleend zijn in enkele gevallen hogere waarden dan  $0,04 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$  terug te vinden.

In het nieuwe Bs zijn de grenzen voor lozingen van radioactieve stoffen, waarboven een vergunning hiervoor aangevraagd moet worden, gesteld in de vorm van radiotoxiciteits-equivalenten ( $Re$ ). Hierdoor worden ook de maximaal toegestane lozingen van radioactieve stoffen vergund in  $Re$ 's. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt voor lozingen in lucht en in water. Voor lozingen in lucht wordt het radiotoxiciteitsequivalent voor inhalatie ( $Re_{inh}$ ) gebruikt. Voor lozingen in water wordt het radiotoxiciteitsequivalent voor ingestie ( $Re_{ing}$ ) toegepast. Bij de toetsing van de belasting van het milieu wordt met de vervaltijd van de radionucliden rekening gehouden door middel van correctiefactoren voor de  $Re$ 's. In het Bs wordt hierbij gesproken over 'te toetsen aantal  $Re$ '. In vergunningen wordt over het algemeen gebruik gemaakt van de term 'gewogen  $Re$ '.

Zoals eerder opgemerkt, wordt er gestreefd naar het combineren van een aantal vergunningen voor één bedrijf tot één vergunning voor de gehele locatie [21]. Voor een enkele toepassing wordt een enkelvoudige vergunning verstrekt. Voor die gevallen dat er binnen één bedrijf meer vergunningen zijn die ongeveer dezelfde inhoud hebben, kan een zogenaamde verzamelvergunning verleend worden. Doel van dit alles is om het overzicht te verbeteren van alle handelingen en werkzaamheden, en de daarmee samenhangende milieubelasting, binnen één bedrijf. Naast het verkregen overzicht is het voordeel dat bepaalde veranderingen in het bedrijf kunnen worden doorgevoerd zonder veranderingen aan de vergunning. Dit geeft aan de vergunninghouder meer vrijheid. Bij een variatie in toepassingen en tegelijkertijd een grote omvang kan een complexvergunning worden afgegeven.

Een derde ontwikkeling is het steeds meer toepassen van standaard- of modelvergunningen die weer uit standaardmodules zijn opgebouwd. Daarmee is de onderlinge vergelijkbaarheid tussen vergunningen sterk toegenomen.

In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op specifiek vergunningverleningsbeleid gericht op nucleaire installaties, procesindustrie, medische instellingen en NDO-bedrijven.

### 4.4.2 Nucleaire installaties

Bij een aanvraag voor een vergunning voor een nucleaire installatie kan in sommige gevallen de aanvrager verplicht worden een Milieu Effect Rapport (MER) op te stellen. Hierin worden de lozingen naar lucht en water, en het externe stralingsniveau aan de terreingrens zo

realistisch mogelijk ingeschat en wordt een beoordeling van mogelijke milieuvriendelijke alternatieven gemaakt. In Nederland is een procedure voor een MER wettelijk verplicht voor grote projecten, zoals de aanleg van spoorlijnen, wegen, woonwijken, bedrijventerreinen, elektriciteitscentrales en afvalverbrandingsinstallaties. Elke 10 jaar dient een meer omvangrijke evaluatie van de veiligheid van de nucleaire installatie plaats te vinden.

Periodiek zal de vergunninghouder de technische, organisatorische, personele en administratieve voorzieningen evalueren met betrekking tot de nucleaire veiligheid en de stralingsbescherming, en maatregelen treffen om eventuele tekortkomingen ongedaan te maken, tenzij het treffen van maatregelen redelijkerwijs niet kan worden uitgevoerd. Elke twee jaar dienen de voorzieningen beoordeeld te worden in het licht van de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de van kracht zijnde vergunning.

#### **4.4.3 Procesindustrie**

De volgende onderdelen van de modelvergunning voor de procesindustrie zijn relevant voor het schatten van de gevolgen voor het milieu.

- Zodra de helft van de jaarlijks toegestane hoeveelheid radioactieve stoffen is geloosd, moet dat aan de VROM-Inspectie worden gemeld.
- Er moet in het eerste kwartaal een jaarrapportage over de activiteiten in het voorgaande jaar worden opgesteld. Deze moet worden gestuurd naar zowel de vergunninghouder als naar de Arbeidsinspectie. De rapportage moet onder andere een onderbouwde schatting van de totale stralingsbelasting geven. Dit betreft zowel de externe straling als de lozingen. Ook moet een schatting van de dosis voor de blootgestelde werknemers worden gegeven.

In de praktijk wijken deze vergunningen nogal eens af van de modelvergunningen. Verschillen treden bijvoorbeeld op door een andere termijn voor melding aan te houden. Ook komt het voor dat de rapportage niet hoeft te worden verstuurd naar de Arbeidsinspectie, maar ter inzage moet liggen op het hoofdkantoor van de vergunninghouder. Ook de bewaartijd van deze rapportages varieert sterk. In recente vergunningen is zowel 2 als 15 jaar aangetroffen.

Twee ondernemingen in de hier beschouwde selectie, namelijk Corus en Thermphos bezitten een vergunning voor lozingen en stellen jaarlijks een radiologische rapportage op. Eggerding is in het bezit van een vergunning voor lozingen, maar heeft sinds 1995 geen radiologische jaarrapportage meer opgesteld. Dit houdt verband met pogingen de huidige vergunning nietig te laten verklaren. Zolang dat niet is gebeurd en er ook geen nieuwe vergunning (op aanvraag) is uitgegeven, blijft de huidige vergunning gelden en is het bedrijf verplicht elk jaar een radiologische rapportage op te leveren.

#### **4.4.4 Medische instellingen**

De vergunningen van medische instellingen zijn sinds 1990 omvangrijker en meer gedetailleerd geworden. Reeds in de jaren zeventig zijn in de Kew-vergunningen voor radionuclidenlaboratoria lozingslimieten voor water ( $\text{Bq.l}^{-1}$ ) en lucht ( $\text{Bq.m}^{-3}$ ) opgenomen. Om aan de voorschriften van de Kew-vergunningen te voldoen, zijn sindsdien op grote schaal afvalwatertanks geplaatst ten behoeve van radioactief verval. In de nota ORS+ [47] is aangegeven dat er vanuit het beleid geen prioriteit meer was om de risico's verder terug te dringen en dat er kon worden volstaan met eenvoudige controlemaatregelen gericht op de



totale emissie per jaar. Het huidige beleid geeft aan dat indien een tank geplaatst is, daarvan gebruik moet worden gemaakt. Bij nieuwbouw kan de tank achterwege blijven, indien de lozingen lager zijn dan het secundaire niveau van 100  $Re_{ing}$  [3]. De volgens de Richtlijn radionuclidenlaboratoria [21] berekende maximale waterlozingen blijken voor medische instellingen ruim onder het secundaire niveau te blijven. Tegenwoordig behoort de bepaling van de maximale waterlozing te gebeuren met behulp van MR-AGIS.

De grote medische instellingen beschikken momenteel zonder uitzondering over een complexvergunning die de instellingen vrijheid geeft bij het verrichten van handelingen met ioniserende straling, maar tevens eisen stelt aan de organisatie van de stralingsbescherming. Bij de overige medische instellingen is de stralingsbescherming meestal op afdelingsniveau georganiseerd. De meeste kleinere instellingen beschikken over een inrichtingsvergunning of enkele verzamelvergunningen.

Door het grote aantal fusies dat in de afgelopen jaren heeft plaatsgevonden binnen medische instellingen geldt een vergunning vaak voor een aantal ziekenhuizen en/of locaties van een overkoepelende organisatie. Ook de zelfstandige radiotherapeutische instellingen werken vaak samen of zijn gelieerd aan een ziekenhuis of een overkoepelende organisatie. De totale organisatie is dan in bezit van een vergunning waarin de verschillende locaties worden benoemd.

Het Ministerie van SZW heeft in 2002 een handleiding uitgegeven ‘Vereiste informatie bij een aanvraag om vergunning voor handelingen ingevolge artikel 29 en 34 Kernenergiewet’ [44]. Hierin wordt op enkele punten speciaal aandacht gegeven aan zaken betreffende medische instellingen. Er is veel aandacht voor de organisatie van de stralingsbescherming, de deskundigheid van de werknemers, de kwaliteitsborging van de apparatuur, de uitgevoerde werkzaamheden, de patiëntbescherming én de controle, registratie en meldingen. Bij inspecties komen intern toezicht, deskundigheid, administratie en limieten uitgebreid aan de orde. Met betrekking tot medische deskundigheid wordt o.a. verwezen naar hoofdstuk 6 van het Besluit stralingsbescherming (Bs), artikel 54 [5] en naar het GHI-bulletin [24].

#### **4.4.5 NDO-bedrijven**

In het huidige beleid is er voor gekozen dat het NDO-bedrijf ervoor moet zorgen dat zowel de dosis aan de eigen terreingrens als die van de werklocatie, waar het NDO-bedrijf zijn handelingen verricht, worden beperkt. In feite kan de vergunde dosislimiet aan de eigen terreingrens verschillen van die van de werklocatie.

Bij de bepaling van de dosis aan de terreingrens wordt uitgegaan van de functie wonen als de meest beperkende gebruiksoptie. De in dat geval door externe straling veroorzaakte dosis bedraagt ter plaatse van de terreingrens 25% van de ter plekke heersende omgevingsdosis,  $H^*(10)$ .

#### **4.4.6 Overige stralingsbronnen**

Van de overige stralingsbronnen is voor gebruiksartikelen in het algemeen geen vergunning vereist. Zo zijn rookmelders met minder dan 37 kBq  $^{241}\text{Am}$  vrijgesteld van meldings- en vergunningsplicht. Daarvoor bestaat er een lijst met vrijgestelde ionisatierookmelders die bekend wordt gemaakt via de regeling aanwijzing rookmelders in de Staatscourant. Echter,

als een leverancier of verkoper meer dan 50 van deze ionisatierookmelders voorhanden wil hebben, is wel een vergunning nodig.

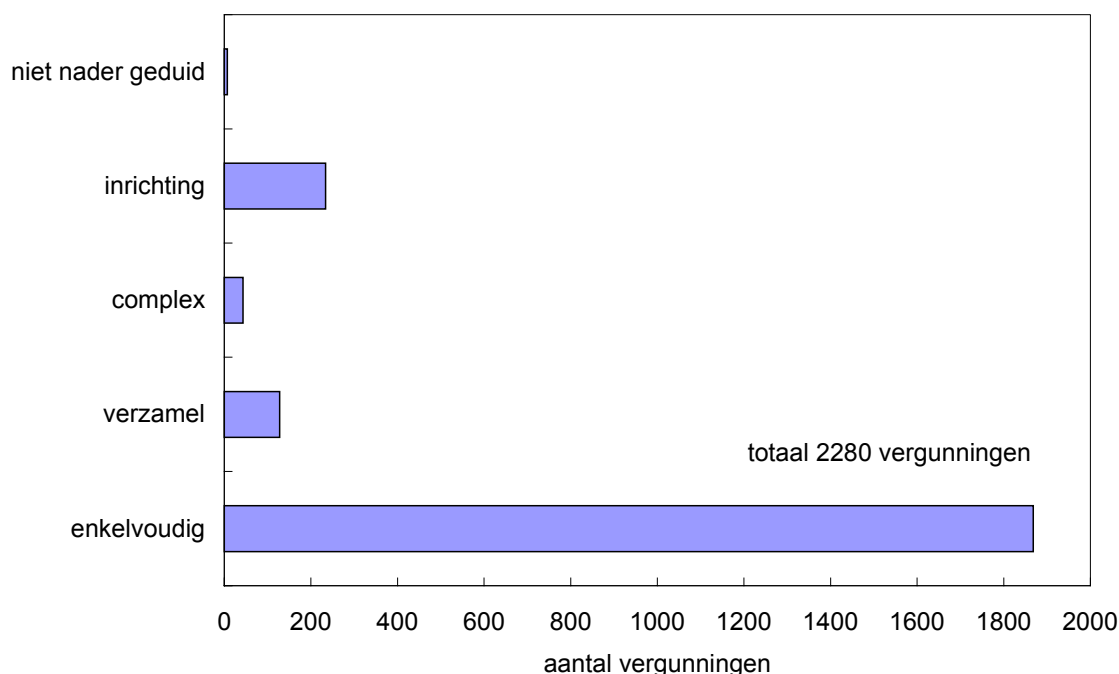
## 4.5 Overzichten vigerende beschikkingen

Voor het overzicht van vigerende beschikkingen is voor deze rapportage, in tegenstelling tot de voorgaande, gebruik gemaakt van de SZW-databank. De gegevens van de databank zijn nu compleet en worden bijgehouden door SZW, waardoor een evaluatie van de verleende beschikkingen op een efficiënte manier kan plaatsvinden. Doordat een evaluatie op 28 augustus 2003 heeft plaatsgevonden, geldt de onderstaande analyse voor informatie die is ingevoerd tot die dag. In de huidige situatie zijn de beschikkingen die door SZW zijn verleend sinds 1996 tevens in digitale vorm beschikbaar aan RIVM gesteld.

Ten behoeve van deze paragraaf is getracht om gegevens uit de bestanden te halen die betrekking hebben op mogelijke blootstelling voor leden van de bevolking.

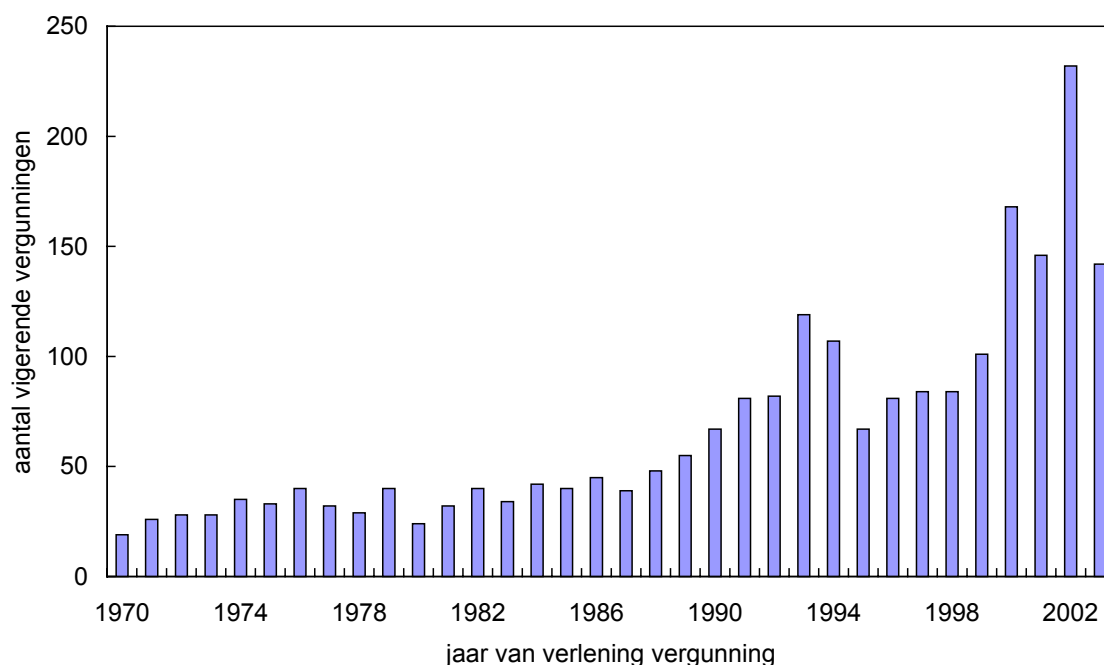
### *Vergunningen ingedeeld naar type*

Het totale aantal vigerende vergunningen in de databank bedroeg 2280 op 28 augustus 2003. In paragraaf 4.2 zijn de typen vergunningen reeds toegelicht. In totaal zijn er 66 tijdelijke vergunningen in de databank weergegeven. Hierbij zij opgemerkt dat de in de databank opgenomen tijdelijke vergunningen metertijd worden verwijderd. Wat dat betreft is het niet direct mogelijk om een compleet overzicht van de verdeling inclusief de tijdelijke vergunningen over een aantal jaren te geven. Bovendien moet worden opgemerkt dat de vergunningen van nucleaire installaties niet in de databank zijn opgenomen, zie paragraaf 4.3. De verdeling over de typen vergunningen staat in Figuur 2.



*Figuur 2 Aantal vigerende vergunningen, per type, verleend door de afdeling Beschikkingen van het ministerie van SZW, zoals aangeduid in de databank.*

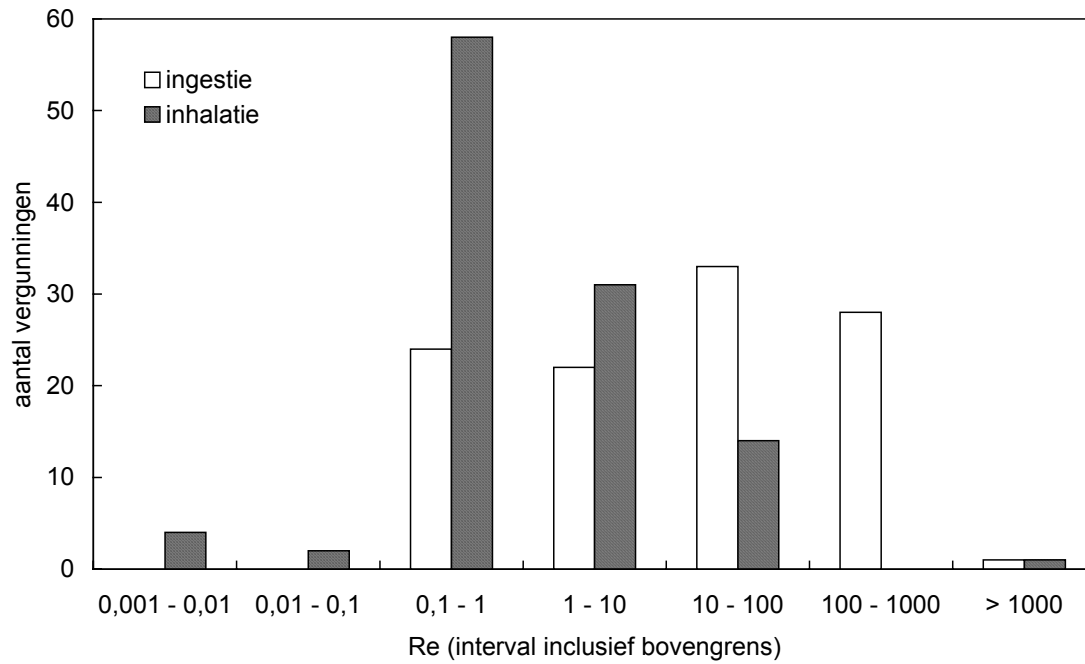
In Figuur 3 is aangegeven hoeveel vigerende vergunningen in een bepaald jaar zijn afgegeven. Daarbij moet worden vermeld dat daar waarin de databank geen vermelding is gedaan van vergunningverleningsdatum, het vergunningsnummer is gehanteerd ter indicatie van het jaar. Het vergunningsnummer, waarin de datum is verwerkt en jaar van vergunning komen in de werkelijkheid niet altijd overeen. Opvallend is dat meer dan 300 vigerende vergunningen uit de jaren zeventig van de vorige eeuw stammen.



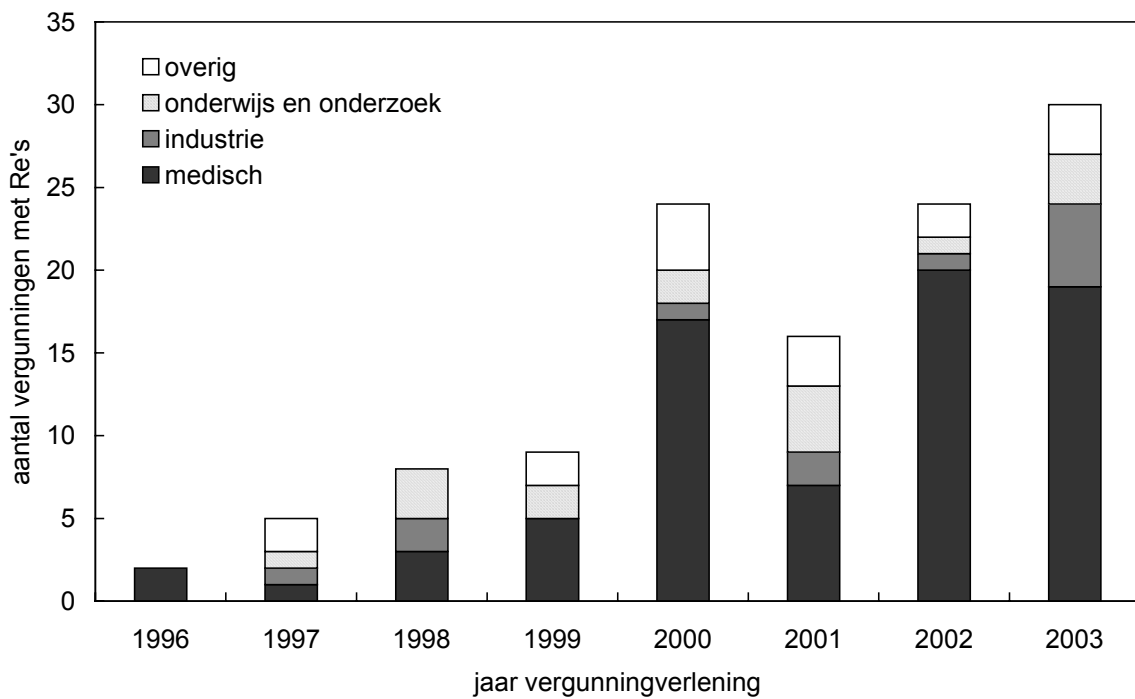
*Figuur 3 Aantal vigerende vergunningen naar jaar van verlening.*

#### *Vergunde hoeveelheden Re's*

In 118 van de 2280 vergunningen worden Re's toegepast om de vergunde hoeveelheden voor lozingen in lucht en/of water weer te geven. In vergunningen van voor 1996 wordt meestal Bq als maat gebruikt voor lozingen in lucht en/of water. In Figuur 4 zijn de aantallen vergunningen uitgezet tegen de hoogte van de vergunde hoeveelheden. Zowel het aantal vergunningen als de verdeling van de vergunningen over de intervallen is vergelijkbaar met die in het vorige rapport. Uit de figuur valt af te lezen dat de meeste ondernemingen met een lozingvergunning zowel een vergunning heeft voor een lozing in water als in lucht. In Figuur 5 is het aantal vergunningen met Re's naar jaar van vergunningverlening getoond. Hier is een afwijking te zien ten opzichte van het vorig rapport. De genoemde afwezigheid van inmiddels ingetrokken tijdelijke vergunningen in de SZW-databank ligt hieraan vermoedelijk ten grondslag.



Figuur 4 Aantal vigerende vergunningen waarin waarden voor de maximaal te lozen  $Re$ 's zijn opgenomen:  $Re_{inhalatie}$  voor lozingen in lucht en  $Re_{ingestie}$  voor lozingen in water.



Figuur 5 Aantal vergunningen die verleend zijn, waarin waarden voor maximaal te lozen hoeveelheden gewogen  $Re$ 's zijn opgenomen. Per jaar wordt de verdeling over de vier categorieën ondernemers gegeven.

## 5 Emissies en externe straling

### 5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat de resultaten van het onderzoek naar de emissies door de categorieën ondernemers die in dit rapport zijn bestudeerd. Met de term emissies worden lozingen in lucht, lozingen in water en externe straling bedoeld. Per categorie worden vergunde en werkelijke emissies met elkaar in verband gebracht.

Vanwege de onderlinge vergelijkbaarheid zijn de activiteiten van de radionucliden die in lucht en water worden geloosd, voor zover mogelijk, omgerekend naar radiotoxiciteitsequivalenten (Re's). Eén Re komt overeen met het aantal Bq dat bij *volledige inname* tot een dosis van één Sv leidt. Let wel dat de lozingen van de nucleaire installaties worden gegeven in figuren met logschalen; de lozingen van de procesindustrie zijn uitgezet met lineaire schalen.

### 5.2 Nucleaire installaties

In dit rapport worden de emissies van IRI buiten beschouwing gelaten. De reden daarvoor is dat in de lozingsopgaven van het IRI de waterlozingen niet nuclidespecifiek gegeven worden. Bovendien betreft het lozingen in water van slechts 1-10 MBq.a<sup>-1</sup>. De lozingen naar lucht worden niet gerapporteerd.

In het algemeen zijn de vergunde lozingen in Re.a<sup>-1</sup> berekend door de vergunde lozing in Bq.a<sup>-1</sup> te vermenigvuldigen met de DC in Sv.Bq<sup>-1</sup> van het bedoelde nuclide. Daar waar een groep radionucliden in de vergunning is aangegeven is een benadering gemaakt van de meest waarschijnlijk geloosde radionucliden. Op basis daarvan is de vergunde lozing in Re.a<sup>-1</sup> berekend. De groep radionucliden draagt overigens beperkt bij aan de totale hoeveelheid geloosde Re.a<sup>-1</sup> (<<1 promille in geval van lozingen van edelgassen door KCB).

Voor edelgassen is een DC gebruikt op basis van externe straling als gevolg van submersie. De eenheid is Sv.a<sup>-1</sup> per Bq.m<sup>-3</sup>, en is dus direct afhankelijk van de activiteitsconcentratie. Om aan die activiteitsconcentratie te komen is de jaarlozing in Bq.a<sup>-1</sup> gedeeld door het lozingsdebiet in m<sup>3</sup>.a<sup>-1</sup> van de betreffende installatie. Er is dus voor een edelgas geen Re te berekenen in Sv per Bq, zoals bij inhalatie en ingestie wel het geval is, maar alleen in Sv.a<sup>-1</sup> per Bq.m<sup>-3</sup>. Hiermee wordt de edelgas-Re afhankelijk van de lozingscondities van de betreffende nucleaire installatie.

Tabel 3 bevat de vergunde lozingen en Tabel 4 de werkelijke lozingen in lucht, uitgedrukt in Re<sub>inh</sub>.a<sup>-1</sup>, van vijf nucleaire installaties. Hierbij is uitgegaan van de vigerende vergunningen in 2002.

Tabel 3 Vergunde lozingen in lucht voor vijf nucleaire installaties (in  $Re_{inh}\cdot a^{-1}$ ) in het jaar 2002.

	KCB	KCD	COVRA	OLP	Urenco
Edelgassen	2,4	2	0,01		
$^3H$	520	520	300		
$^{14}C$	1740	2900	5800		
$^{131}I$	8	2			
Overige halogenen		29			
Aerosolen	16	31			
Beta / gamma			19		9
Totaal- $\alpha$			16		98
Som	2286	3484	6137	205*	107

\* opgebouwd uit: HFR 100, LFR 5, HCL 60, WSF 20, chemie en materiaalkunde 5, DWT 10, en overige laboratoria 5  $Re\cdot a^{-1}$ . De Hoge Flux Reactor valt onder vergunninghouder GCO.

Tabel 4 Werkelijke lozingen in lucht voor vijf nucleaire installaties ( $Re_{inh}\cdot a^{-1}$ ) in het jaar 2002.

	KCB	KCD	COVRA	OLP	Urenco
Edelgassen	0,05			11	
$^3H$	68	0,13	10,7	5,4	
$^{14}C$	713	2,0	22,9		
$^{131}I$	0,05			0,04	
Overige halogenen		0,01			
Aerosolen	0,03	0,03			
Beta / gamma					0,005
Totaal- $\alpha$			0,24		3,27
Som (afgerond)	781	2	34	16	3,3

Uit Tabel 4 blijkt dat bij de luchtlozingen van KCB en COVRA de radionucliden  $^3H$  en  $^{14}C$  verantwoordelijk zijn voor vrijwel de gehele lozing, als deze in  $Re$ 's wordt uitgedrukt. Om te komen tot een schatting van de lozing in  $Re$ 's is  $^{131}I$  gekozen als (het enige) halogeen voor de overige halogenen, aangezien deze de hoogste DC heeft van de halogenen. In de nuclidengroep aerosolen is bij KCD  $^{60}Co$  gekozen als beta/gammastraler met de hoogste DC. In de nuclidengroep totaal- $\alpha$  is gekozen voor de inhalatie-DC van  $^{241}Am$ . De KCD-data voor halogenen en aerosolen zijn afgeleid uit de detectiegrenzen. De reële lozingen zijn immers onbekend en liggen onder de hier gegeven waarden. Bij de opgave van OLP (ECN) voor edelgassen is het getal uit de jaarrapportage van ECN overgenomen. Bij Urenco is gekozen voor de DC's van  $^{234}U$ ,  $^{235}U$  en  $^{238}U$ .

Tabel 5 geeft een overzicht van de vergunde en Tabel 6 van de werkelijke lozingen in water voor de vijf nucleaire installaties.

Tabel 5 Vergunde lozingen in water voor vijf nucleaire installaties ( $Re_{ing} \cdot a^{-1}$ ).  
Situatie 2002.

	KCB	KCD	COVRA	OLP	Urenco
$^3H$	540	36	36		
$^{14}C$			1160		
Beta / gamma	800	580	1250		0,4
Totaal- $\alpha$	40	10	16		0,9
Som	1380	626	2462	2000	1,3

Bij het omrekenen van de vergunde emissies naar Re's zijn de volgende aannamen gemaakt. Bij de nuclidengroep beta/gamma zijn de waarden berekend bij KCB uit de DC's van een zevental representatieve radionucliden ( $^{55}Fe$ ,  $^{58}Co$ ,  $^{60}Co$ ,  $^{63}Ni$ ,  $^{131}I$ ,  $^{134}Cs$  en  $^{137}Cs$ ), gewogen naar voorkomen; bij KCD uit de radionucliden  $^{60}Co$  en  $^{137}Cs$ , gewogen naar voorkomen; en bij de COVRA uit een rekenkundig gemiddelde van de radionucliden (alsof ze allen evenveel voorkomen)  $^{57}Co$ ,  $^{60}Co$ ,  $^{106}Ru$ ,  $^{124}Sb$ ,  $^{134}Cs$  en  $^{137}Cs$ . Bij Urenco is uitgegaan van de gemiddelde DC van  $^{234}Th$  en  $^{234}Pa$ . In de nuclidegroep totaal- $\alpha$  is gekozen voor de ingestie-DC van  $^{241}Am$ . Bij Urenco is gekozen voor de DC's van  $^{234}U$ ,  $^{235}U$  en  $^{238}U$ .

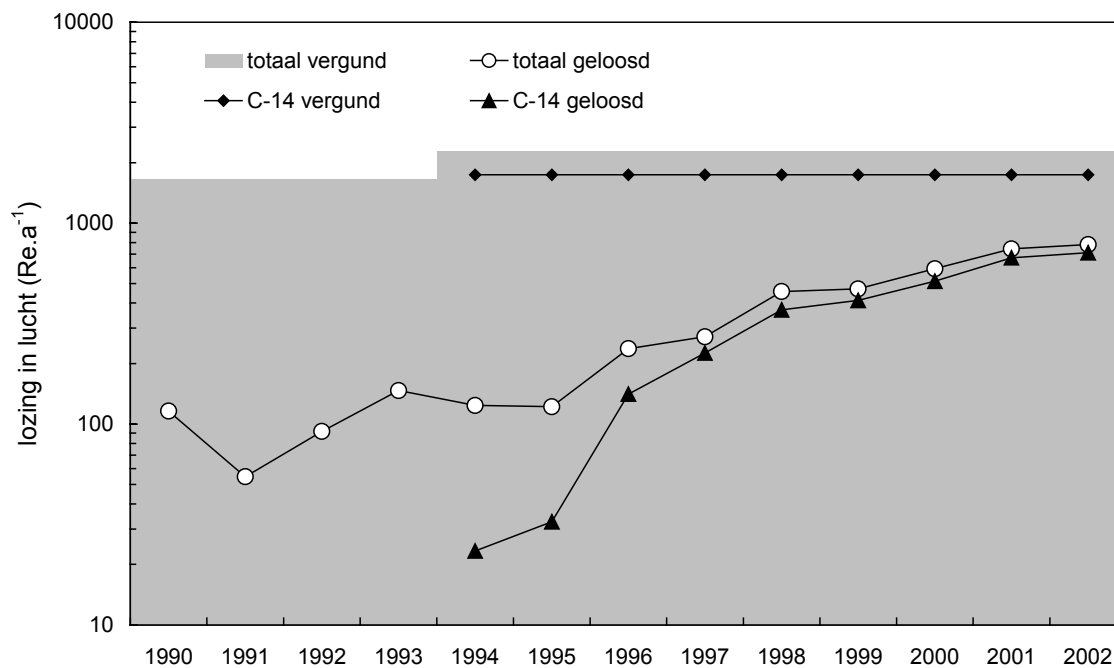
Tabel 6 Werkelijke lozingen in water voor vijf nucleaire installaties ( $Re_{ing} \cdot a^{-1}$ ).  
Situatie 2002.

	KCB	KCD	COVRA	OLP	Urenco
$^3H$	138	0,005	1,0	3,7	
$^{14}C$			0,08		
Beta / gamma	1,1	4,6	4,3	453	0,01
Totaal- $\alpha$	0	0,02	0,23	0,25	0,22
Som (afgerond)	139	5	5,6	457	0,2

Uit de tabel blijkt duidelijk dat voor KCB  $^3H$  het belangrijkste nuclide is dat in water wordt geloosd, terwijl voor COVRA, KCD en vooral OLP de beta- en gammastralers de belangrijkste bijdrage leveren. De lozingen van Urenco zijn behalve die van totaal- $\alpha$ , in verhouding met de lozingen van de andere nucleaire installaties naar water gering.

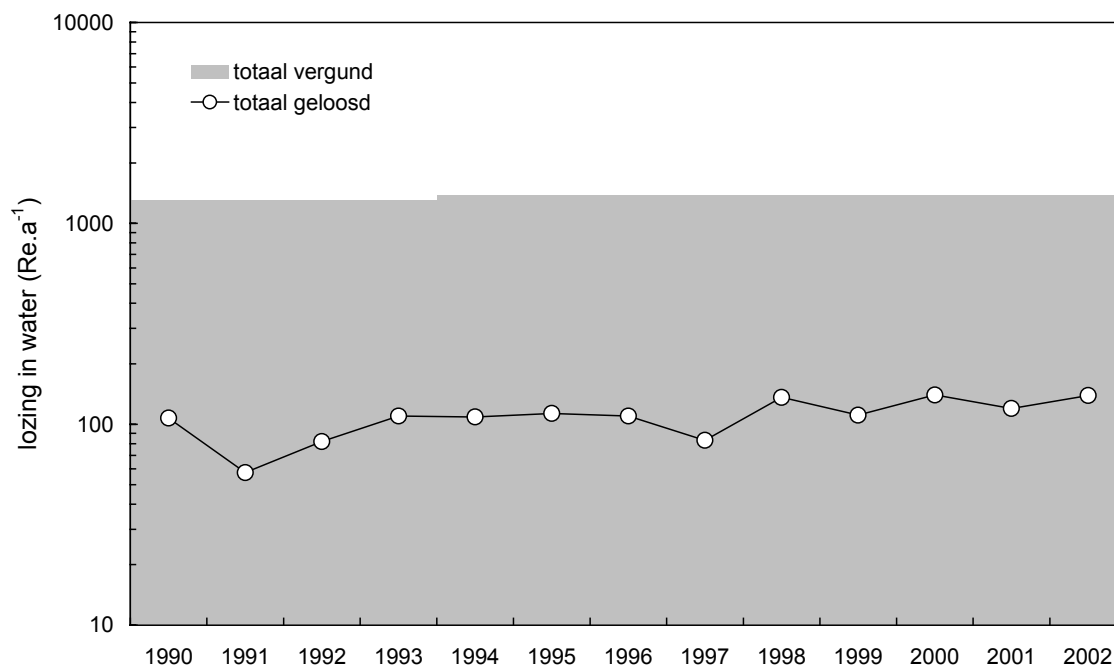
#### Kerncentrale Borssele (KCB)

In Figuur 6 en in Figuur 7 worden de werkelijke lozingen van KCB in lucht en water vergeleken met de vergunde lozingen. De stap in de vergunde limieten naar lucht wordt veroorzaakt door de vergunning van 1994 waarin een lozingslimiet voor  $^{14}C$  in lucht is vermeld, terwijl dat daarvoor niet het geval was. Het totaal aan geloosde Re's wordt vrijwel geheel veroorzaakt door  $^3H$  en  $^{14}C$ . De hogere waarden in 1998 - 2002 worden veroorzaakt door een toename van geloosd  $^{14}C$  in lucht, of door een verbeterde meettechniek van  $^{14}C$ .



Figuur 6 Vergunde en werkelijke lozingen in lucht door KCB in de jaren 1990 – 2002.

In de bovenstaande figuur is duidelijk te zien dat <sup>14</sup>C verreweg de grootste bijdrage levert aan de luchtlozingen.



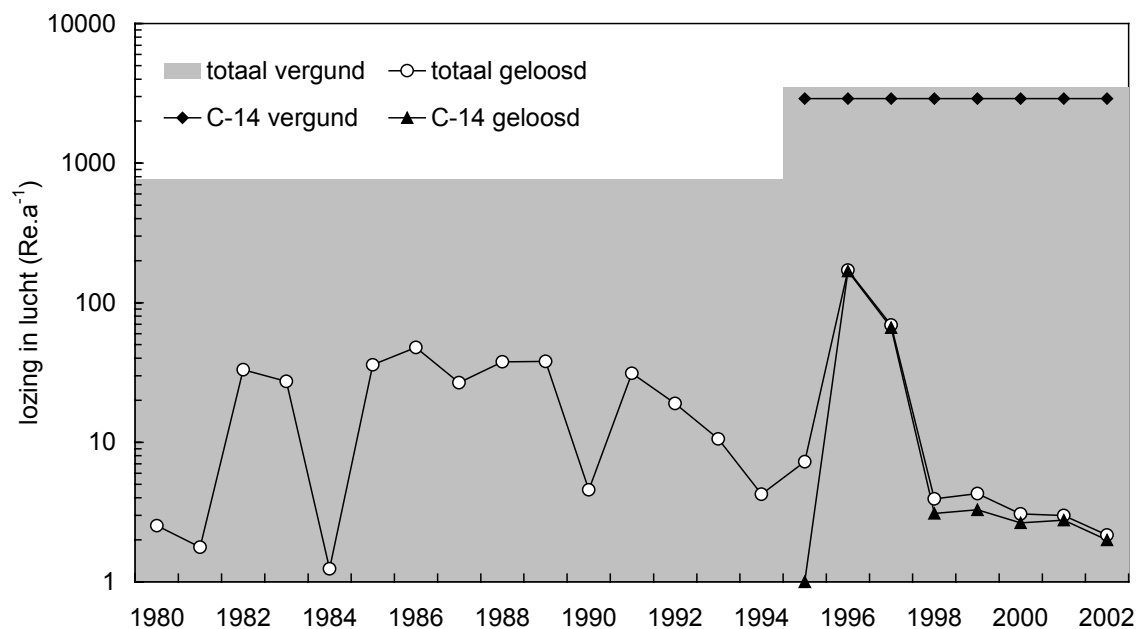
Figuur 7 Vergunde en werkelijke lozingen in water door KCB in de jaren 1990 – 2002.

De kleine stap in de vergunde lozingen in water bij 1994 wordt veroorzaakt door een afronding naar boven bij een omrekening van de lozing van <sup>3</sup>H van curie (Ci) naar Bq. De jaarlozing van <sup>3</sup>H naar water is doorgaans 20-30 % van de vergunde limiet. Aangezien de productie van deze radionucliden inherent aan energieopwekking in een kernenergie reactor is, kan de lozing van dit radionuclide alleen met zeer grote inspanning worden vermindert.

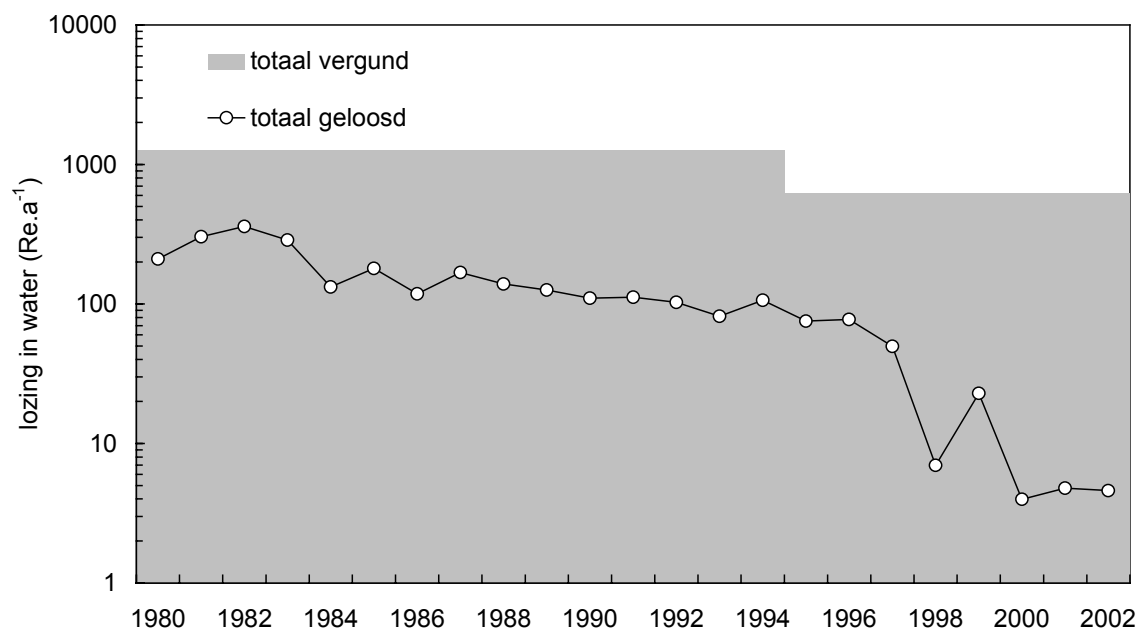


*Kerncentrale Dodewaard (KCD)*

Evenals bij de luchtlozingen van KCB wordt de knik in de vergunde limieten naar lucht veroorzaakt door een apart opgenomen limiet voor  $^{14}\text{C}$ , hetgeen in de daarvoor geldende vergunningen niet het geval was. Het meten van  $^{14}\text{C}$  lozingen in lucht vindt plaats vanaf 1995. Daarvoor zijn de lozingen van  $^{14}\text{C}$  onbekend.



Figuur 8 Vergunde en werkelijke lozingen in lucht door KCD in de jaren 1980 – 2002.

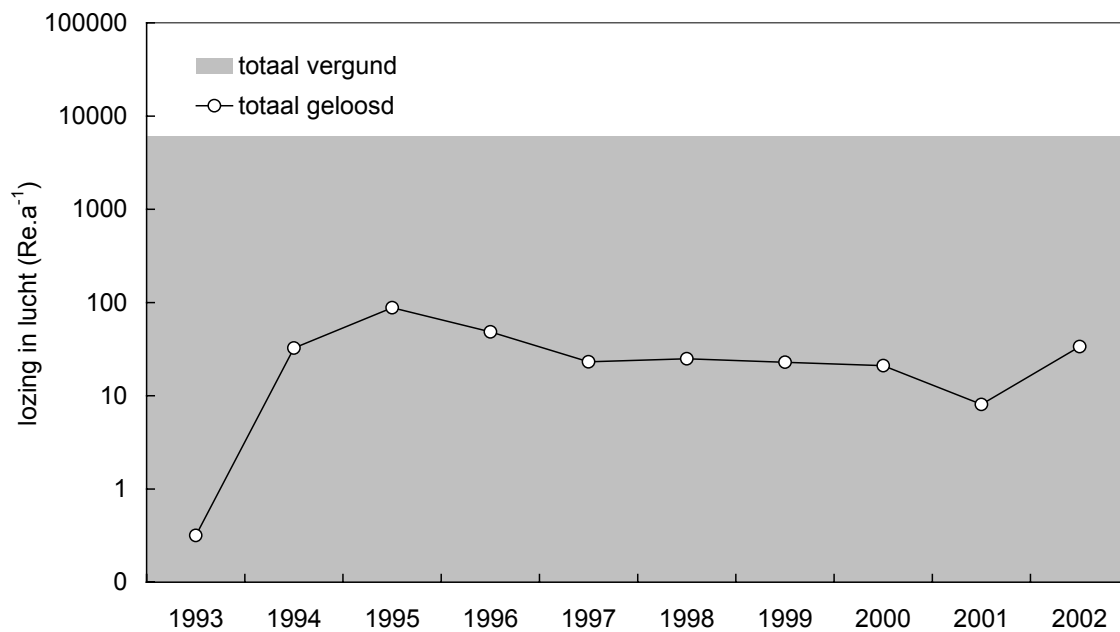


Figuur 9 Vergunde en werkelijke lozingen in water door KCD in de jaren 1980 – 2002.

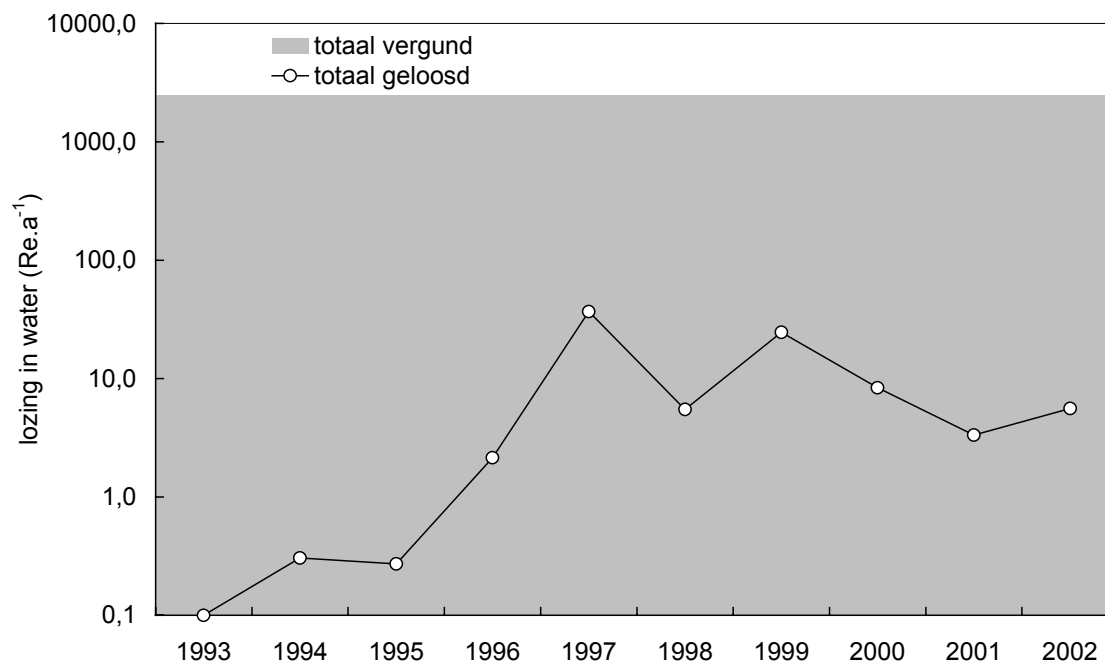
Tot en met 1995 nemen beta- en gammastralers in water meer dan 90% van de totaal geloosde Re's voor hun rekening. Na 1995 vormen de beta- en gammastralers in water samen met  $^3\text{H}$  en  $^{14}\text{C}$  in lucht vrijwel het totaal aan geloosde Re's. Na de sluiting eind maart 1997 vindt er vrijwel geen lozing meer in lucht plaats. Er resteert nog een klein aantal waterlozingen. De verlaging van de vergunningslimiet in 1995 komt door een vermindering van de toegestane tritiumlozingen.

#### *COVRA lucht- en waterlozingen*

Circa 80 % van de vergunde limiet in lucht is afkomstig van  $^{14}\text{C}$ . De radionucliden  $^3\text{H}$  en  $^{14}\text{C}$  nemen het grootste deel van de luchtlozingen, uitgedrukt in Re, voor hun rekening.



*Figuur 10 Vergunde en werkelijke lozingen in lucht door COVRA in de jaren 1993 – 2002.*



Figuur 11 Vergunde en werkelijke lozingen in water door COVRA in de jaren 1993 – 2002.

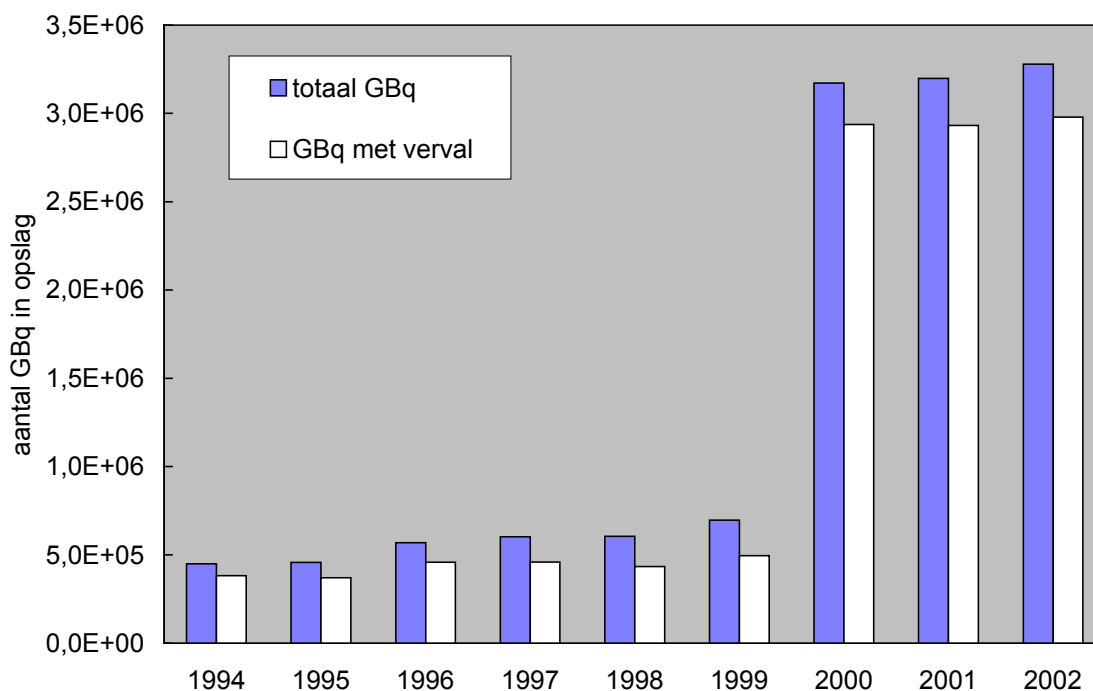
De lozing naar water in 1993 bedraagt  $10^{-3}$  Re. Om wille van de presentatie is de waarde van 0,1 Re ingevoerd. In de waterlozingen worden beta- en gammastralers zowel gerapporteerd bij 'gamma' als bij 'overig beta'. De COVRA corrigeert hier niet voor, waardoor een overschatting van de waterlozingen het gevolg is.

#### *COVRA opslag radioactief afval*

In februari 1999 zijn bouwvergunningen verleend voor het Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslaggebouw (HABOG) en voor het Container Opslag Gebouw (COG) voor radioactief afval afkomstig uit de ertsverwerkende industrie. In juni 1999 is daadwerkelijk met de bouw begonnen. In het begin van 2001 zijn volgens verwachting de eerste containers met radioactief calcinaat, afkomstig van fosfaatertsverwerking, in het COG opgeslagen.

Het HABOG is sinds oktober 2003 operationeel. In de vergunning van 1999 is de tijdelijke opslag toegestaan van bestraalde splijtstofelementen van onderzoeksreactoren in speciale transport- en opslagcontainers in de bestaande COVRA-gebouwen voor laag- en middelactief afval. De aangevraagde transportvergunning is begin 2000 door het bevoegd gezag verleend. Een viertal MTR2-containers met bestraalde splijtstofelementen van de onderzoeksreactor Petten is in de tweede helft van 2000 naar de COVRA getransporteerd en opgeslagen in het Laag- en middelradioactief afval Opslag Gebouw (LOG). Nu het HABOG gereed is worden de MTR2-containers daarheen gebracht. In het HABOG zullen de splijtstofelementen met behulp van op afstand bedienbare manipulatoren uit de MTR2-containers gehaald worden. Vervolgens zullen de elementen in een speciale bus worden geplaatst die kan worden opgeslagen. Insluiting en afscherming worden dan door het HABOG gewaarborgd in plaats van door de MTR2-container.

In Figuur 12 staat een totaal aan opgeslagen GBq bij de COVRA. De toename in 2000-2002 is geheel toe te wijzen aan de MTR2-containers. Het verval in de figuur wordt verklaard door de afname van activiteit vanaf de dag van opslag.

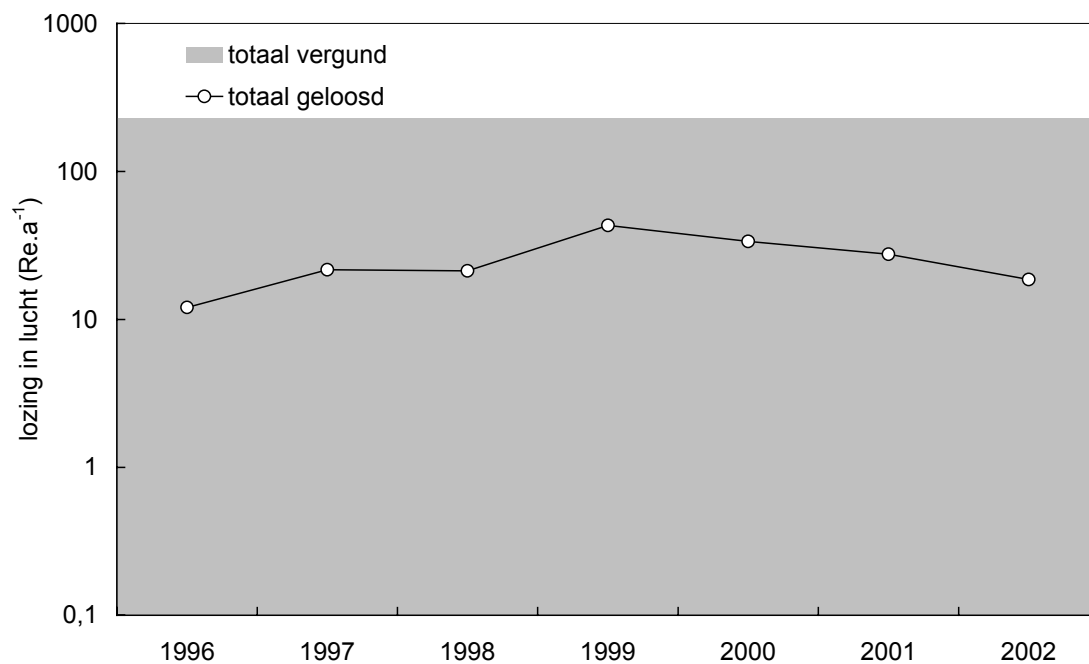


*Figuur 12 Aantal GBq radioactief afval opgeslagen bij COVRA.*

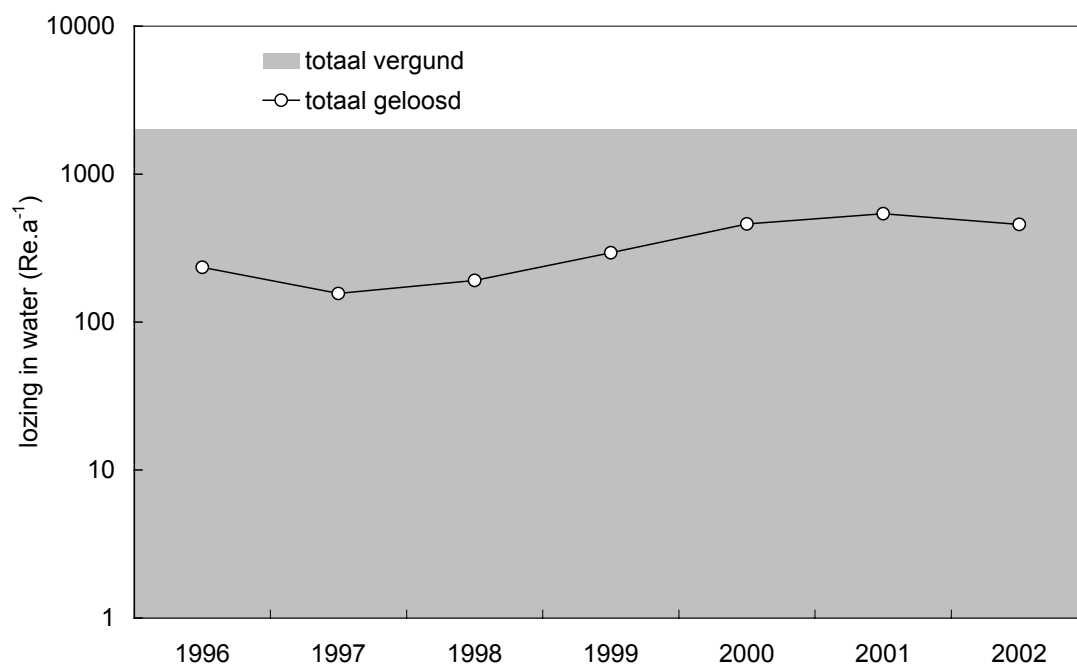
De COVRA heeft een grote hoeveelheid aan radionucliden in opslag. De manier van opslaan bij de COVRA maakt deze radionucliden (vrijwel) niet beschikbaar voor de belastingpaden inhalatie en ingestie. Daarom is ervoor gekozen om de opslag bij de COVRA weer te geven in GBq in plaats van  $Re_{inh}$  en  $Re_{ing}$ .

#### *Onderzoekslocatie Petten (OLP)*

Bij de opgave van NRG, voor de Onderzoekslocatie Petten, van de lozingen van edelgassen is het getal uit de jaarrapportage van NRG overgenomen. NRG berekent echter de concentratie aan edelgassen door uit te gaan van een theoretische jaarlozing in een half-oneindige bol met een straal van 100 m. Het volume hiervan is circa 100 maal kleiner dan het volume dat jaarlijks de lozingsschoorsteen verlaat. Het aantal geloosde  $Re$ 's is afhankelijk van de concentratie, zodat NRG een overschatting voor edelgassen geeft van circa een factor 100.



Figuur 13 Vergunde en werkelijke lozingen in lucht door OLP in de jaren 1996 – 2002.

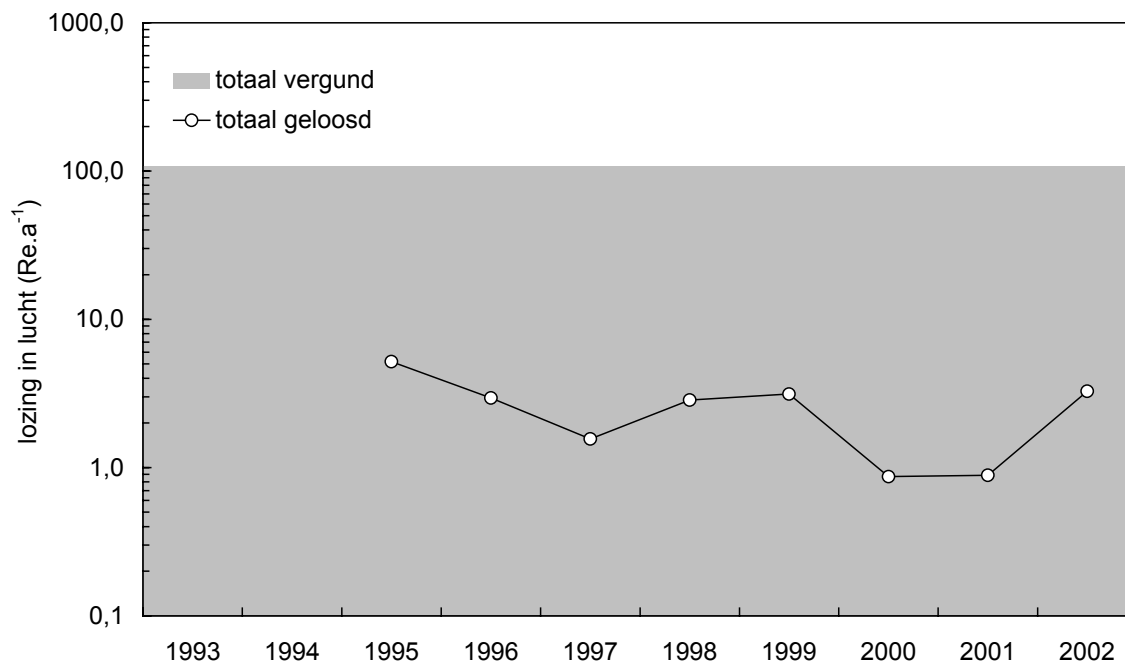


Figuur 14 Vergunde en werkelijke lozingen in water door OLP in de jaren 1996 – 2002.

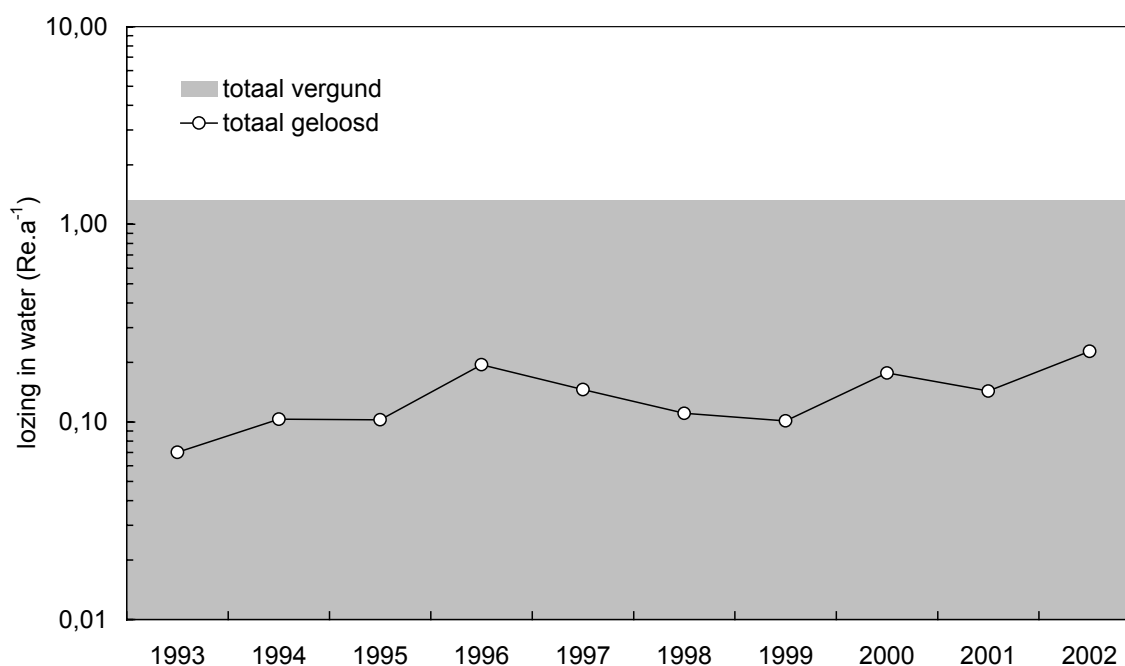
Circa 90% van de geloosde activiteit in afvalwater wordt veroorzaakt door beta- en gammastralers. De toename in activiteit in vergelijking met 1999 kan voor een deel toegeschreven worden aan activiteiten van HFR/GCO. Het totaal aan geloosde Re's in 2002 is circa 23 % van de jaarlijkse lozingslimiet.

### Verrijkingfabriek Urenco

Een belangrijk deel van de geloosde Re's vindt plaats naar lucht. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het gesommeerde ventilatie-debiet van vijf fabrieken (CSB, SP2, SP3, SP4, SP5) circa  $2 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$  bedraagt. De door Urenco gerapporteerde jaarlozingen liggen in de orde van 0,2 tot  $1 \text{ MBq} \cdot \text{a}^{-1}$  in lucht en 1,5 tot  $15 \text{ MBq} \cdot \text{a}^{-1}$  in water. Dit betekent dat er gemiddeld minder dan  $0,5 \text{ mBq} \cdot \text{m}^{-3}$  in lucht wordt geloosd, hetgeen in praktijk dicht bij de detectiegrens ligt. Gezien de altijd aanwezige totaal- $\alpha$  en totaal- $\beta$  achtergrond in lucht is die detectiegrens nauwelijks te verlagen. Van 1993 en 1994 zijn geen gegevens over lozingen in lucht bekend.



Figuur 15 Vergunde en werkelijke lozingen in lucht door Urenco in de jaren 1995 – 2002.



Figuur 16 Vergunde en werkelijke lozingen in water door Urenco in de jaren 1993 – 2002.

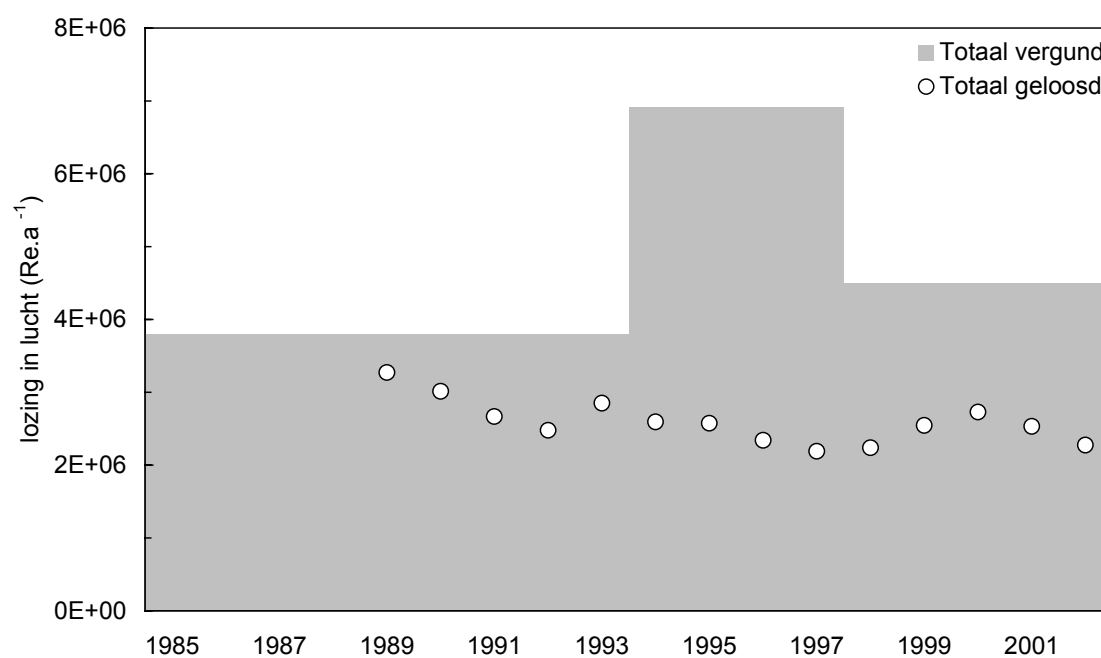
### 5.3 Procesindustrie

Bij het verwerken en opslaan van natuurlijke radioactieve stoffen, zoals ertsen, vindt lozing van radionucliden plaats. Bij opslag van grondstoffen, reststoffen en afvalstoffen en mogelijk ook het eindproduct kan tevens externe straling van belang zijn. Hieronder worden gegevens hierover gepresenteerd.

Wegens het ontbreken van recente en accurate data van Eggerding, worden nieuwe gegevens slechts voor de andere twee bedrijven uit de selectie, te weten Corus en ThermPhos weergegeven. Voor Eggerding worden de resultaten conform de meest recente jaarrapportages uit 1994 en 1995 gegeven. De lozingsgegevens van Hydro Agri en Kemira zijn in dit hoofdstuk niet apart toegelicht, aangezien beide bedrijven zijn gesloten. Wel komen die lozingen van die bedrijven, afkomstig uit de eerste rapportage [2], aan bod als de lozingen van de verschillende categorieën met elkaar worden vergeleken.

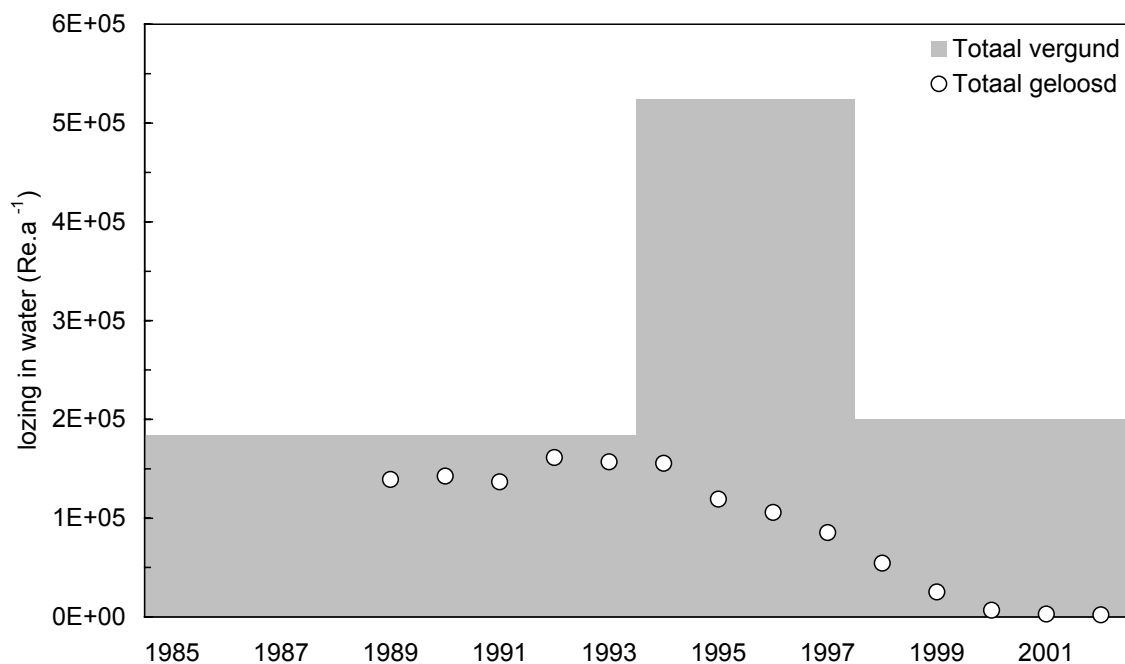
#### *ThermPhos*

Een overzicht van de luchtlozingen en de vergunde waarden is weergegeven in Figuur 17. In 1994 zijn de lozingslimieten verhoogd, aangezien ze regelmatig werden overschreden voor specifieke radionucliden, terwijl het destijds gehanteerde Actuele Individuele Risico onder de  $10^{-6}$  bleef (overeenkomend met een AID van  $40 \mu\text{Sv}$ ). In 1998 zijn de limieten weer verlaagd.



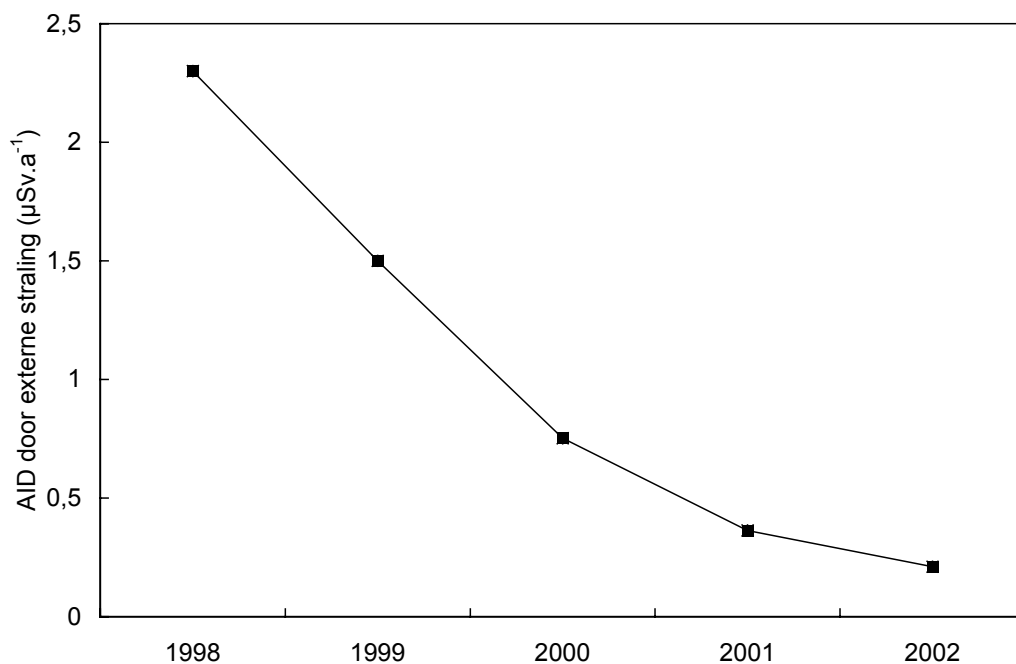
*Figuur 17 Vergunde en werkelijke lozingen in lucht door ThermPhos. De data zijn weergegeven als een lopend drie-jaars gemiddelde, zoals voorgeschreven in de vergunningen vanaf 1994.*

Een overzicht van de waterlozingen en de vergunde waarden is weergegeven in Figuur 18. In 1994 zijn de lozingslimieten verhoogd na aanvraag door ThermPhos, aangezien die in 1992 voor  $^{210}\text{Po}$  werden overschreden. Bovendien bleek dat de risico's van de lozingen in het verleden waren overschat. In 1998 zijn de lozingslimieten weer verlaagd in verband met verbeteringen aan de gaswasinstallaties, waardoor vooral de waterlozingen sterk afnamen.



Figuur 18 Vergunde en werkelijke lozingen in water door ThermPhos. De data zijn weergegeven als een lopend drie-jaars gemiddelde, zoals voorgeschreven in de vergunningen vanaf 1994.

Afgezien van de eis aan de AID, wordt er geen aparte limiet gegeven voor de hoeveelheid vergunde externe straling. Vóór 1998 hoefde er niet over te worden gerapporteerd en dat gebeurde ook niet. Vanaf 1998 moet het externe stralingsniveau wel worden gerapporteerd. De waarden voor de door ThermPhos berekende AID door externe straling staan in Figuur 19.



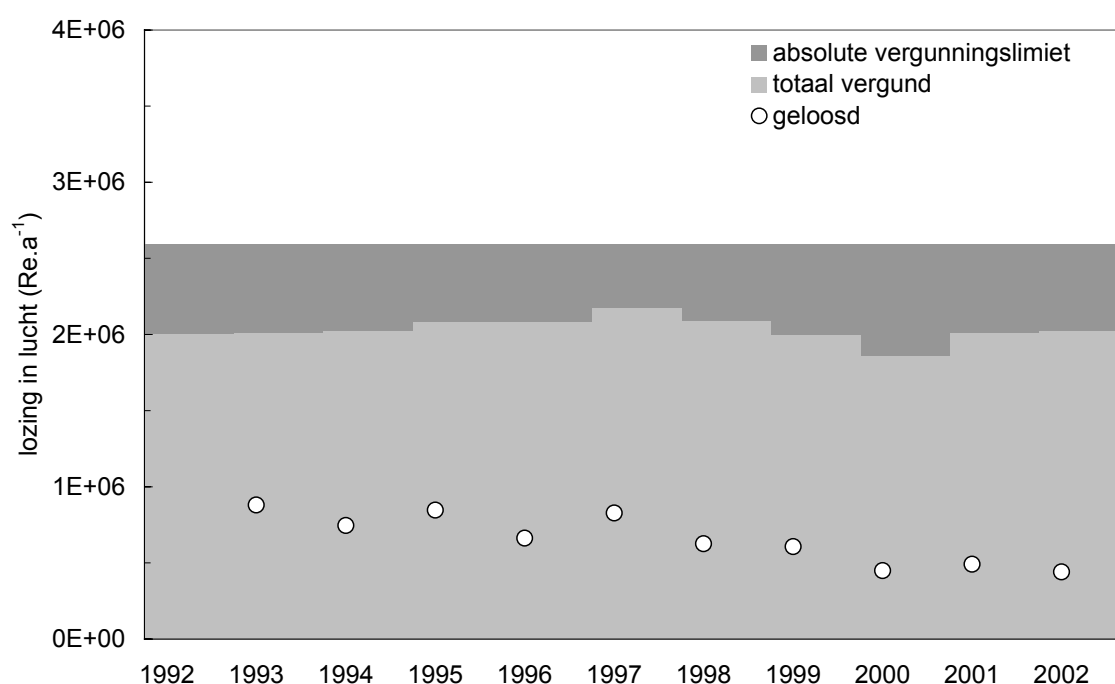
Figuur 19 ThermPhos: gerapporteerde AID (μSv.a<sup>-1</sup>) door externe straling.



### Corus (IJmuiden)

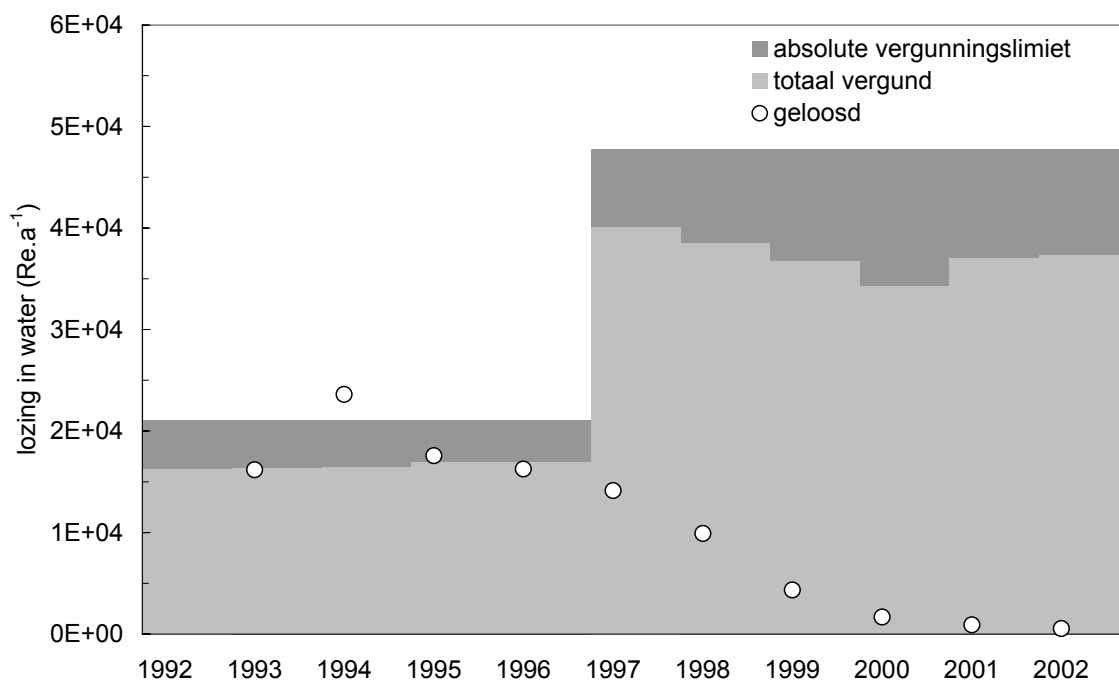
In de vergunning van 1992 [48] wordt voorgeschreven dat de lozingen per 2000 dusdanig moeten worden beperkt dat de door de lozingen veroorzaakte individuele dosis maximaal  $4 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  is. In de vergunningen van 1997 [49] en 1998 [50, 51] wordt geëist dat de MID lager dan  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  moet zijn.

In Figuur 20 zijn de lozingen in lucht weergegeven. Opgemerkt moet worden dat de lozingen op twee manieren worden beperkt: enerzijds is er een maximale lozing per ton geproduceerd staal, anderzijds is er een maximaal toegestane lozingshoeveelheid per jaar, gebaseerd op de jaarlijkse staalproductie, hier de absolute vergunningslimiet genoemd. Tot nu toe wordt die maximale productie niet gehaald. In Figuur 20 is vanaf 1998 een lichte afname van de lozingen zichtbaar. Deze is deels het gevolg van de ingebruikname en voortschrijdende optimalisatie van een rookgasreinigingsinstallatie voor de sinterfabriek.



Figuur 20 Vergunde en werkelijke lozingen in lucht door Corus.

In Figuur 21 zijn de waterlozingen weergegeven. Ook hier worden de lozingen op twee manieren beperkt: enerzijds is er een maximale lozing per ton geproduceerd staal, anderzijds is er een maximaal toegestane staalproductie met een daarbij horende vergunningslimiet. In 1997 zijn de lozingslimieten verhoogd na aanvraag door Corus [52]. De redenen hiervoor zijn dat deze limiet in voorgaande jaren regelmatig werd overschreden. Tevens werd duidelijk dat de stralingsbelasting door de lozingen in water lager was dan voorheen werd aangenomen en dat er door Corus gewerkt werd aan het verlagen van de waterlozingen. Inmiddels heeft Corus de volgende maatregelen daartoe genomen: (1) halverwege 1999 is de waterreiniging van de pelletfabriek in gebruik genomen en (2) eind 2000 is gestart met biologische reiniging (BIO-2000) van de emissies naar water van de sinterfabriek en de hoogovens. Het is onduidelijk wat er met de resterende activiteit in de afvalstromen gebeurt.



Figuur 21 Vergunde en werkelijke lozingen in water door Corus.

In de complexvergunning voor de bronnen en toestellen uit 1998 [53] wordt als eis aan het gebruik van deze bronnen en toestellen gesteld dat de bijdrage hiervan aan de MID maximaal  $0,4 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  mag zijn. Een onderbouwde schatting van deze bijdrage dient ieder jaar te worden gerapporteerd. De door Corus gerapporteerde bijdrage aan de MID in 1997 en 1998 is  $0,26 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

#### Eggerding (Amsterdam)

Eggerding heeft in 1994 een vergunning gekregen [54], die nog steeds geldig is, hoewel er sinds 1997 aan een vernieuwde vergunning wordt gewerkt. De volgende zaken zijn in de vergunning geregeld. De activiteit die maximaal voorhanden mag zijn, bedraagt 2000 GBq voor de totale activiteit van de  $^{232}\text{Th}$ -reeks, 300 GBq voor de totale  $^{235}\text{U}$ -reeks en 8000 GBq voor de totale  $^{238}\text{U}$ -reeks. De limieten voor lozingen in lucht bedragen  $0,3 \text{ GBq}\cdot\text{a}^{-1}$  voor  $\alpha$ -stralers via lozingskanalen,  $0,24 \text{ GBq}\cdot\text{a}^{-1}$  voor  $\beta$ -stralers via lozingskanalen,  $0,4 \text{ GBq}\cdot\text{a}^{-1}$  voor  $\alpha$ -stralers via diffuse verspreiding en  $0,3 \text{ GBq}\cdot\text{a}^{-1}$  voor  $\beta$ -stralers via diffuse verspreiding. De limieten voor lozingen in water bedragen  $4 \text{ GBq}\cdot\text{a}^{-1}$  voor  $\alpha$ -stralers en  $3 \text{ GBq}\cdot\text{a}^{-1}$  voor  $\beta$ -stralers. Bovendien moet de stofconcentratie bij de lozingskanalen naar lucht lager dan  $10 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  zijn en mag de actuele individuele dosis buiten de terreingrens maximaal  $40 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  bedragen.

Een vergelijking met de werkelijke lozingen in water en lucht is niet mogelijk, aangezien die niet gerapporteerd zijn. Wel worden in de radiologische rapportage gegevens over de dosis aan de terreingrens voor 1994 en 1995 gegeven, zie Tabel 7. De waarden in deze tabel zijn de gemiddelden over de vier metingen die per jaar zijn uitgevoerd, en gemiddeld over de locatie indien er op meer punten is gemeten (per locatie). Het blijkt dat zowel in 1994 als in 1995 op alle plaatsen de ID de waarde van  $40 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  overschrijdt. AID-waarden zijn bepaald met de ABC-factoren zoals die zijn opgenomen in het jaarrapport over 1994 [55]. De AID overschrijdt in 1994 op drie plaatsen de  $40 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ , terwijl dat in 1995 op nog één punt het

geval is. De hoogst gemeten waarde voor de ID in 1994 was  $10 \text{ mSv.a}^{-1}$  op een meetpunt aan de oostzijde van de loodsen op pier Amerika en in 1995 was dat  $15 \text{ mSv.a}^{-1}$ , op dezelfde plaats. Deze waarden liggen deels boven de vergunde limieten.

*Tabel 7 Gemiddelde stralingsniveau's (in  $\mu\text{Sv.a}^{-1}$ ) aan de terreingrens van Eggerding. AID-waarden zijn bepaald met ABC-factoren uit [55].*

Plaats	1994	1994	1995	1995
	ID	AID	ID	AID
oostzijde loodsen pier Amerika	1901	380	2797	559
noordeinde pier Amerika	479	5	382	4
westzijde pier Amerika	299	60	108	22
oostzijde Westerhoofd	306	61	135	27
zuidzijde Westerhoofd	140	28	199	40
noord/west einde Westerhoofd	502	5	414	4
westzijde Westerhoofd	439	4	324	3

## 5.4 Medische instellingen

De medische instellingen worden besproken aan de hand van de toepassingen open bronnen, ingekapselde bronnen, röntgentoestellen en versnellers.

### *Open bronnen*

Vóór 1995 hing de vergunde voorraad open stoffen van medische instellingen af van de aanwezigheid van B- of C-laboratoria [56]. In vergunningen van na 1995 wordt voor de berekening van de vergunde voorraad open radioactieve stoffen meestal verwezen naar bijlage 2 van de Richtlijn radionuclidenlaboratoria [21]. In een groot deel van de vergunningen van medische instellingen wordt aangegeven hoeveel B, C, en D radionuclidenlaboratoria per instelling vergund zijn. Daarnaast wordt meestal aangegeven wat de maximale activiteit per handeling per patiënt mag zijn. In een complexvergunning wordt dit meestal niet specifiek vermeld maar wordt verwezen naar aanbevelingen van de beroepsgroep. In Tabel 8 is een overzicht te zien van de vergunde limieten van de 21 instellingen met radiotherapie. Er hebben zich geen grote wijzigingen voorgedaan ten opzichte van voorgaande jaren.

Berekening van de limieten voor lozingen in lucht en water geschiedt volgens de in MR-AGIS [3] of in Richtlijn radionuclidenlaboratoria [21] voorgeschreven rekenregels. Zowel in de keuze van de parameterwaarden als in de berekeningswijze van de theoretisch maximale lozing in water (MLW) verschillen de medische instellingen onderling. Sommige instellingen voeren een generieke berekening uit waarbij de inkoop voor de gehele instelling wordt gebruikt, andere delen de inkoop in naar handeling en voeren daarna de berekening uit met voor die handeling specifieke parameterwaarden. Daarna worden de resultaten voor de verschillende handelingen gesommeerd. Analoog aan de berekening van de MLW worden er ook verschillende benaderingswijzen bij de berekening van de theoretisch maximale lozing in lucht (MLL) gehanteerd. De verschillende keuzes voor de parameterwaarden kunnen in theorie leiden tot een factor  $10^7$  verschil in MLL bij verschillende ziekenhuizen met eenzelfde inkoop! Daarnaast bestaat nog de keuze om de berekening uit te voeren met de

gehele inkoop aan radioactieve stoffen dan wel deze te beperken tot alleen de vluchtige verbindingen. Door de grote verschillen in benaderingswijze zijn de door de instellingen opgegeven MLW's en MLL's moeilijk onderling te vergelijken.

*Tabel 8 Overzicht van de vergunde 'voorraad' en lozingslimieten naar lucht en water en de dosislimiet aan de terreingrens voor de 21 instellingen met een complex-, inrichting- of verzamelvergunning.*

Medische instelling	Jaar van vergunning	'Voorraad' $Re_{inh}$	Lozingslimiet lucht gewogen* $Re_{inh}$	Lozingslimiet water gewogen* $Re_{ing}$	Dosislimiet aan de terreingrens $\mu Sv \cdot a^{-1}$
Academisch ziekenhuis	2003	10.000	20	200	20
Academisch ziekenhuis	2002	1.500	-	500	40
Academisch ziekenhuis	2003	1.500	5	500	10
Academisch ziekenhuis	2001	1.000	20	200	10
Academisch ziekenhuis	2002	16.000	100	500	10
Academisch ziekenhuis	1997	2.000	30	100	40
Academisch ziekenhuis	1996	15.000	5	500	80
Categoriaal ziekenhuis	2003	1.500	4	200	20
Radioth. instelling	2002	155	55	500	10
Radioth. instelling	2003	120	-	-	20
Radioth. instelling	2003	2.000	-	300	10
Radioth. instelling	2002	150	0,5	60	40
Radioth. instelling	2002	300	-	-	20
Radioth. instelling	1997	3.000	12	180	10
Algemeen ziekenhuis	2002	150	-	500	10
Algemeen ziekenhuis	2002	400	2	115	20
Algemeen ziekenhuis	2003	300	-	250	25
Algemeen ziekenhuis	2003	200	6	10	15
Algemeen ziekenhuis	2002	150	-	-	10
Algemeen ziekenhuis	2003	100	-	-	10
Algemeen ziekenhuis	02/03	215	-	-	10

- niet vermeld

\* voor een beschrijving van gewogen Re, zie paragraaf 4.4.1

Op basis van inkoop gegevens van een instelling kan enig inzicht verkregen worden in het gebruik van verschillende radionucliden. Hier is gekeken naar  $^{131}I$  en  $^{99}Mo$ . Deze twee nucliden maken een groot deel van de totale inkoop uit. Gemiddeld wordt er door de instellingen  $4,7 \cdot 10^6$  MBq per jaar aan radioactieve stoffen ingekocht [2].

Therapie met  $^{131}I$  wordt relatief veel toegepast. In 2001 voerden 53 instellingen (zie paragraaf 3.4) nucleair geneeskundige therapie uit. Uit een publicatie uit 1990 [57] blijkt dat meer dan de helft van de patiënten die behandeld werden met  $^{131}I$  minder dan 400 MBq kregen toegediend. Het is mogelijk dat de laatste jaren de percentages uit Tabel 9 enigszins gewijzigd zijn. Voor de bepaling van de lozingshoeveelheden is aangenomen dat er bij de behandeling van een carcinoom, struma of MIBG altijd meer dan 400 MBq wordt toegediend. Volgens recente gegevens wordt tegenwoordig voor een carcinoom behandeling gemiddeld 3,7 tot 7,4 GBq toegediend en voor hyperthyroïdie behandeling 150 tot 1000 MBq  $^{131}I$  [58]. Verder is aangenomen dat patiënten die <400 MBq krijgen toegediend gemiddeld ongeveer 150 MBq in het lichaam hebben. De overige patiënten krijgen meer dan 400 MBq toegediend en verblijven één of meer dagen in het ziekenhuis. De hoeveelheid in het lichaam

bij ontslag bedraagt ruwweg 400 MBq. De hoeveelheid die door deze patiënten na ontslag nog wordt uitgescheiden, bedraagt 6% van de bij ontslag aanwezige hoeveelheid [59]. Het totaal aantal therapieën is een schatting op basis van gegevens uit de EJZ, JAZ en de JBD van 2001.

*Tabel 9 Schatting van de totale hoeveelheid  $^{131}\text{I}$  die in 2001 is geloosd door patiënten die na een  $^{131}\text{I}$ -therapie zijn ontslagen.*

Aandoening	Toegediend per patiënt MBq	Aantal therapieën	Geloosd per patiënt MBq	Totaal geloosd MBq	Totaal geloosd Re <sub>ing</sub>
Hyperthyroïdie	< 400	2.680	150	402.000	
Hyperthyroïdie	> 400	1.580	24	37.920	
Carcinoom/struma/MIBG	> 400	530	24	12.720	
Totaal				452.640	9.958

Een belangrijke ontwikkeling in de nucleaire geneeskunde is de toenemende belangstelling voor Positron Emissie Tomografie (PET). Hierbij wordt gebruik gemaakt van de radionucliden  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$  en  $^{15}\text{O}$ . Een aantal van de 21 instellingen beschikt reeds over een eigen PET-camera en enkele instellingen maken gebruik van een mobiele PET-camera die op het eigen terrein van de instelling is gestationeerd. De komende jaren zal het aantal PET-faciliteiten verder toenemen en hiervoor dus de benodigde radionucliden. De radionucliden voor PET-onderzoek worden gemaakt in een cyclotron. Twee van de 21 instellingen zijn in het bezit van een cyclotron en een andere instelling is bezig met de procedure om een cyclotron te plaatsen.

#### *Ingekapselde bronnen*

Medische instellingen zijn over het algemeen in het bezit van een heel scala aan ingekapselde bronnen. Dit zijn bijvoorbeeld bronnen om apparatuur te ijken, te kalibreren, kwaliteitscontroles van apparatuur uit te voeren, patiënten te positioneren, bloedcellen te bestralen en ook bronnen voor therapeutische doeleinden. De activiteit van deze bronnen kan variëren van een aantal kBq (ijkbronnen) tot enkele tientallen TBq (bloedbestraling). In een aantal grote instellingen zijn meer dan 200 bronnen aanwezig.  $^{60}\text{Co}$ -bronnen die gebruikt worden in een telecurie apparaat (voorloper van de versneller), worden niet meer gebruikt om patiënten te bestralen. Twee ziekenhuizen hebben nog een vergunning voor deze bron, die dateert van enkele jaren geleden, maar volgens gegevens uit jaarverslagen van meer recente jaren worden er geen behandelingen meer mee uitgevoerd. Een andere instelling die tot voor kort nog wel bestralingen hiermee heeft uitgevoerd, heeft deze bron begin 2003 afgevoerd. Een andere grote ingekapselde bron die in de instellingen gebruikt wordt is  $^{137}\text{Cs}$  (oplopend tot een maximum van ongeveer 70 TBq). Deze bronnen worden gebruikt voor bloedbestraling en behoren vaak toe aan een bloedbank. In een aantal gevallen valt deze bron onder de vergunning van één van de 21 instellingen omdat de bron aanwezig is op het terrein van deze instelling.

In de vergunning van een instelling wordt aangegeven wat de maximale activiteit van één ingekapselde bron mag zijn en wat de maximale activiteit van de bronnen samen mag zijn. De totale maximale activiteit is altijd minder dan de som van de maximale activiteit van de afzonderlijke bronnen. De toegestane hoeveelheden variëren per instelling.

Recente veranderingen van de toepassingen met de ingekapselde bronnen zijn bijvoorbeeld:  $^{103}\text{Pd}$  ter vervanging van  $^{125}\text{I}$  in zaadjes voor de behandeling van prostaatkanker en  $^{106}\text{Ru}$  ter vervanging van  $^{90}\text{Sr}$  in oog-applicatoren.

### Röntgentoestellen

Instellingen hebben in de vergunning meestal staan hoeveel toestellen tot een maximum spanning van 150 kV maximaal vergund zijn. Dit aantal is meestal niet in overeenstemming met het aantal dat werkelijk in gebruik is. Gemiddeld zijn er 32 toestellen minder aanwezig dan in de vergunning is toegestaan.

*Tabel 10 Het aantal in de vergunning omschreven diagnostische en therapeutische röntgentoestellen in de 21 geselecteerde instellingen (inclusief samenwerkend/gelieerd ziekenhuis).*

	Aantal Instellingen	diagnostisch ≤ 150 kV	therapeutisch	
			< 100 kV	≥ 100 kV
Alg. Ziekenhuizen	7	195	5	1
Acad. Ziekenhuizen	7	605	2	15
Kankerkliniek	1	20	0	5
Radiotherap. Instellingen	6	165	2	1
Totaal	21	985	9	22

### Versnellers

De eerste versnellers voor medische toepassingen zijn eind jaren zestig in categorale en academische ziekenhuizen geplaatst. De plaatsing van versnellers in algemene ziekenhuizen kwam pas vanaf het begin van de jaren tachtig op gang. Vaak dienden versnellers als vervanging van bestaande  $^{60}\text{Co}$  telecurie-apparatuur.

De capaciteit van de 21 radiotherapeutische centra zal de komende jaren sterk moeten toenemen om aan de vraag naar radiotherapie te kunnen blijven voldoen. Volgens het planningsbesluit radiotherapie 2000 zal de capaciteit uitgebreid worden met 42 bestralingsruimten tot aan 2010, dit is een toename van ongeveer 60% ten opzichte van 2000 [37]. Door de hiermee samenhangende aanvragen is er op dit moment verschil in het aantal vergunde en de werkelijk in gebruik zijnde versnellers, dit komt vooral door het tijdsverschil tussen vergunningverlening en het in gebruik nemen van een versneller. In 2001 waren er 78 versnellers in gebruik en uit een overzicht van meest recente vergunningen blijkt dat er voor 91 versnellers vergunningen zijn afgegeven.

## 5.5 NDO-bedrijven

Bij NDO-bedrijven is het beter om van vergunde doses of dosistempi te spreken dan van vergunde emissies. De blootstelling door toestellen (in bedrijf) en ingekapselde bronnen vindt immers plaats via externe bestraling. Het vergunde aantal toestellen of ingekapselde bronnen (veelal volgens aanvraag) is dan ook niet gekoppeld aan een emissiebeperking. In de diverse vergunningen worden wel eisen gesteld aan de maximaal te produceren dosis buiten de terreingrens en zijn veelal aanvullende eisen gesteld aan de dosistempi bij de opslag van radioactieve bronnen.

De vergunde dosis(tempi) zijn onder te brengen in vijf eisen [60]:

- 1 Bij de werkzaamheden met zowel ingekapselde bronnen als toestellen mag voor een persoon de ontvangen dosis aan de rand van de benodigde afzetting niet meer bedragen dan  $10 \mu\text{Sv}$  in enig uur. Indien dit niet haalbaar is wordt, onder voorwaarden, ter plaatse van de afzetting een dosistempo van  $40 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  toegestaan.
- 2 Voor toestellen geldt dat buiten de ruimte (maar binnen de inrichting), waarin het betreffende toestel wordt toegepast en tijdens gebruik van het toestel, op betreedbare plaatsen de effectieve dosis niet meer dan  $1 \text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$  mag bedragen.
- 3 Voor opslagplaatsen van ingekapselde bronnen dient de effectieve dosis aan de buitenzijde van de opslag zo laag te zijn als redelijkerwijs mogelijk, maar in ieder geval mag het dosistempo nergens op 0,1 m van het oppervlak van de opslag meer dan  $1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  bedragen.
- 4 De door de vergunninghouder veroorzaakte bijdrage aan de actuele danwel multifunctionele individuele dosis buiten de terreingrens van de eigen inrichting, de zogenaamde milieubelasting, dient zo laag te zijn als redelijkerwijs mogelijk. In de meeste vergunningen voor NDO-bedrijven wordt er echter een maximum gesteld van  $40 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .
- 5 De door de vergunninghouder veroorzaakte bijdrage aan de individuele dosis buiten locaties van derden. Deze is in vergunningen veelal niet nader gespecificeerd. Wel moet voldaan worden aan de locatielimiet van  $0,1 \text{mSv}$  per jaar voor leden van de bevolking.

De eerste eis ( $10 \mu\text{Sv}$  in enig uur) leidt nog tot een afgeleide eis, namelijk dat een aantal van 3300 opnamen per jaar (met ingekapselde bron of toestel) tot de locatielimiet ( $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ ) kan leiden [38]. NDO-bedrijven zijn dan ook bij wet verplicht om voor die locaties waar het vermoeden bestaat dat het aantal opnamen de 3300 zal overschrijden of overschrijdt, dit te melden bij het ministerie van VROM. Hiervoor is een formulier ontwikkeld waarop tevens een onderbouwde schatting van de specifiek rond deze locatie te verwachten dosis voor de bevolking dient te worden vermeld.

Een deel van de hiervoor genoemde eisen ligt niet in de wet vast, maar in de vergunning. Het gaat dan vooral om de dosistempi bij afzettingen, de blootstelling aan straling uit toestellen en ingekapselde bronnen op betreedbare plaatsen en het dosistempo bij opslagen.

Opnamen, ofwel radiografische handelingen zijn goed beschreven in Jonkers [61], waar onderscheid wordt gemaakt tussen vaste en mobiele opstellingen. De laatste zijn verder verdeeld in:

- radiografie op afwisselende plekken buiten werkuren en in de afwezigheid van mensen
- mobiele radiografie, waar werkers, die niet onder 'blootgestelde werknemers' vallen, en leden van de bevolking zich kunnen bevinden. Voor deze situaties is de meeste aandacht nodig. Een afzetting wordt gebruikt om het bestraalde oppervlak te markeren en om leden van de bevolking te beschermen tegen exposie [60].

Zowel ingekapselde bronnen als toestellen worden gebruikt.

*Inventarisatie bronnen en opnamen in Nederland*

In 1990 [61] is een schatting gemaakt van het aantal gesloten bronnen dat in gebruik is in Nederland voor gammagrafie: 500 bronnen met een totaal van 370 TBq [62]. Vijfhonderd bronnen zijn, volgens [63], 11% van het totaal aantal industriële bronnen (en 67% van de totale activiteit van alle industriële bronnen\*). Hierbij zij opgemerkt dat in 2001 door één bedrijf 247 <sup>192</sup>Ir-bronnen zijn aangeschaft. Vandaar dat gammagrafie hier nader wordt toegelicht.

Voor opnamen van betonvloeren worden gewoonlijk <sup>192</sup>Ir (tot een betondikte van 20 cm) en, voor dikkere vloeren, <sup>60</sup>Co (tot een dikte van 40 cm) gebruikt. Als meerdere opnamen in korte tijd nodig zijn, worden <sup>60</sup>Co-bronnen ook voor dunnere vloeren ingezet. Bovendien wordt de keuze voor het type bron door bereikbaarheid bepaald: een <sup>192</sup>Ir-bron kan met de hand vervoerd worden, omdat de bijbehorende afscherming en collimator voor opnamen in het algemeen minder dan 20 kg wegen, terwijl een <sup>60</sup>Co-bron vraagt om de verplaatsing van ongeveer 200 kg afscherming. In het algemeen liggen de kosten van opnamen met <sup>60</sup>Co hoger, maar omdat de <sup>60</sup>Co-bron verder van het object geplaatst kan worden is er het voordeel van verminderde geometrische vervorming van de opname.

Sinds kort wordt ook <sup>75</sup>Se gebruikt, die voorkeur boven <sup>192</sup>Ir krijgt voor het bestralen van staal van 5-30 mm dikte, vanwege het zachtere spectrum en de langere halveringstijd [64]. Eén NDO-bedrijf in Nederland heeft vergunning voor <sup>75</sup>Se-bronnen en heeft er één in gebruik in 2003. Omdat selenium in elementaire vorm zeer vluchtig en chemisch reactief is, is het gebruik ervan in sommige landen niet toegestaan [64].

Bij NDO-handelingen worden ook bronnen gebruikt voor röntgenfluorescentieanalyse voor zogenaamde 'Positieve Materiaal Identificatie'-testen (PMI). Voor deze handelingen worden gammazenders met lage energieën gebruikt: mogelijk vallen deze handelingen onder spectroscopie volgens Bs.

Een overzicht van bronnen en apparaten gebruikt door de zes grootste NDO-bedrijven, en hun maximale vermelde activiteit, is in Tabel 11 weergegeven.

---

\* Dit is exclusief de activiteit van de ingekapselde <sup>60</sup>Co bronnen ingezet door de enige industriële doorstraler in Nederland, waaraan in 2002 vergunning is verleend voor een gezamenlijke activiteit van maximaal 185 en 148 PBq in de twee locaties (Etten-Leur AI/CK/B/KEW No. 2002/72925 en Ede AI/CK/B/KEW No. 2002/83399).



Tabel 11 Overzicht van aantal bronnen en apparaten in Nederland gebruikt door de grotere NDO bedrijven (representatief voor het jaar 2002 of momentopname van midden 2003, op basis van gegevens afkomstig van de beschikbare Jaarverslagen Milieu en Veiligheid of direct verstrekt aan RIVM door de bedrijven)\*.

	Aantal toestellen			Aantal en maximale activiteit <sup>60</sup> Co, <sup>63</sup> Ni, <sup>75</sup> Se, <sup>192</sup> Ir, <sup>137</sup> Cs bronnen	
	≤ 200 kV	≤ 320 kV	≥ 400 kV		
RTD		350		≈250	( <sup>60</sup> Co, <sup>192</sup> Ir max 1 TBq)
SGS		34		21	<sup>192</sup> Ir ≤ 3,7 TBq
				2	<sup>60</sup> Co 740 GBq
				20	<sup>63</sup> Ni ≤ 555 MBq
					(stationair in bunker)
MME	9	11		10	<sup>192</sup> Ir 1,8 GBq
				1	<sup>60</sup> Co 173 TBq
				1	<sup>137</sup> Cs 3 MBq
AIB-Vinçotte	19			27	<sup>92</sup> Ir 1,4 TBq
				1	<sup>75</sup> Se 2,9 TBq
Stork		4	1 (bunker)	2	<sup>192</sup> Ir 1,4 TBq
				1	<sup>60</sup> Co 1,8 TBq
KLM		6		2	<sup>192</sup> Ir 3,7 TBq

\*<sup>109</sup>Cd en <sup>55</sup>Fe zijn niet opgenomen in de tabel, aangezien deze radionucliden een lage stralingsbelasting veroorzaken.

Tabel 12 laat een overzicht zien van het totaal geschatte aantal opnamen in Nederland, gebaseerd op gegevens van gebruikte films verstrekt door de opgenomen bedrijven. Het aantal films is een goede benadering van het aantal gemaakte opnamen, met uitzondering van sommige technieken (bijvoorbeeld bij panoramische opnamen) waar meerdere films tijdens één belichting worden belicht. Een verdere onnauwkeurigheid verschuilt zich in de manier waarmee de schattingen van gebruikte films in Tabel 12 zijn verkregen. Soms is de schatting gebaseerd op het aantal ingekochte films en soms op het aantal opnamen die aan de klant worden doorgerekend. In dit geval kan een geschatte 6% van opnieuw opgevoerde belichtingen - die niet aan de klant worden doorgerekend - erbij opgeteld worden. De schommelingen in de verschillende jaren zijn voornamelijk het gevolg van de periodieke *turnarounds* (bedrijfsstops waarin aan de pijpleidingen gewerkt mag worden) in de petrochemie. In totaal worden er in Nederland gemiddeld ongeveer een miljoen NDO-opnamen per jaar gemaakt. Per bedrijf worden hieronder enkele opvallende zaken besproken rondom de bronnen en opnamen.

De maximale activiteit van <sup>192</sup>Ir-bronnen aangekocht door RTD is gedaald in het jaar 2000 van 1,7 TBq naar 1 TBq.

SGS heeft zeven apparaten voor Positieve Materiaal Identificatie.

MME heeft drie vaste en 17 mobiele (waarvan 4 panoramisch) röntgenunits. Ook is er een *alloy-analyzer* met 50 MBq <sup>109</sup>Cd en 1,4 GBq <sup>55</sup>Fe aanwezig. De helft van de ongeveer 100.000 per jaar gemaakte opnamen zijn over vijf locaties verdeeld. De overige opnamen worden met mobiele units op diverse locaties door heel Nederland gemaakt, met gemiddeld 61 opnamen per klant.

De gemiddelde activiteit van de  $^{192}\text{Ir}$ -bronnen van AIB-Vinçotte schommelt tussen de 350 en 700 GBq, de totale activiteit tussen 9 en 19 TBq. De gemiddelde ingekochte activiteit is in de laatste tien jaar ongeveer een kwart gedaald als gevolg van interne ALARA-afspraken. In 2003 is er een  $^{75}\text{Se}$ -bron aangeschaft die wordt gebruikt ter vervanging van röntgentoestellen, om de omgevingsdosis te beperken.

Stork beschikt ook over 185 MBq  $^{109}\text{Cd}$  en 1,7 GBq  $^{55}\text{Fe}$  (ten behoeve van een *alloy-analyzer*). Stork maakt 1.200 opnamen per jaar op verschillende locaties in Nederland.

KLM beschikt over een alloy-analyzer met 185 MBq  $^{109}\text{Cd}$  en 1,7 GBq  $^{55}\text{Fe}$  en een röntgenspectrograaf. Beide zijn opgesteld, of voornamelijk ingezet, binnen een chemisch/fysisch laboratorium. Er worden respectievelijk ongeveer 500 en 150 analyses per jaar mee uitgevoerd. Ongeveer 350 opnamen per jaar worden gemaakt in diverse hangars op Schiphol-Oost.

Tabel 12 Overzicht aantal opnamen in Nederland door de grotere NDO bedrijven.

	1999	2000	2001	2002	Jaarlijks gemiddelde
RTD	481.938*	468.364*	494.491*	439.727*	471.130
SGS			160.000	215.000	187.500
MME				105.000	105.000
AIB-Vinçotte		71.268	88.458	93.644	84.457
Stork (waarvan NIET in stralingsbunker)				23.700 (3.700)	23.700 (3.700)
KLM (waarvan NIET in stralingsbunker)				3.500 (350)	3.500 (350)
Totaal				880.571	875.287

\* Deze getallen eigenlijk niet voor de aangegeven jaren bekend, maar voor de fiscale jaren 1999/2000 [65], 2000/01, 2001/02 en 2002/03 respectievelijk.

## 5.6 Overige stralingsbronnen

Radon exhalatie vanuit bouwmaterialen is een voorbeeld van emissie door overige stralingsbronnen. Voor een recente beschrijving van externe straling afkomstig van bouwmaterialen, gebruiksartikelen en medisch diagnostische apparatuur zij men verwezen naar [40, 66].

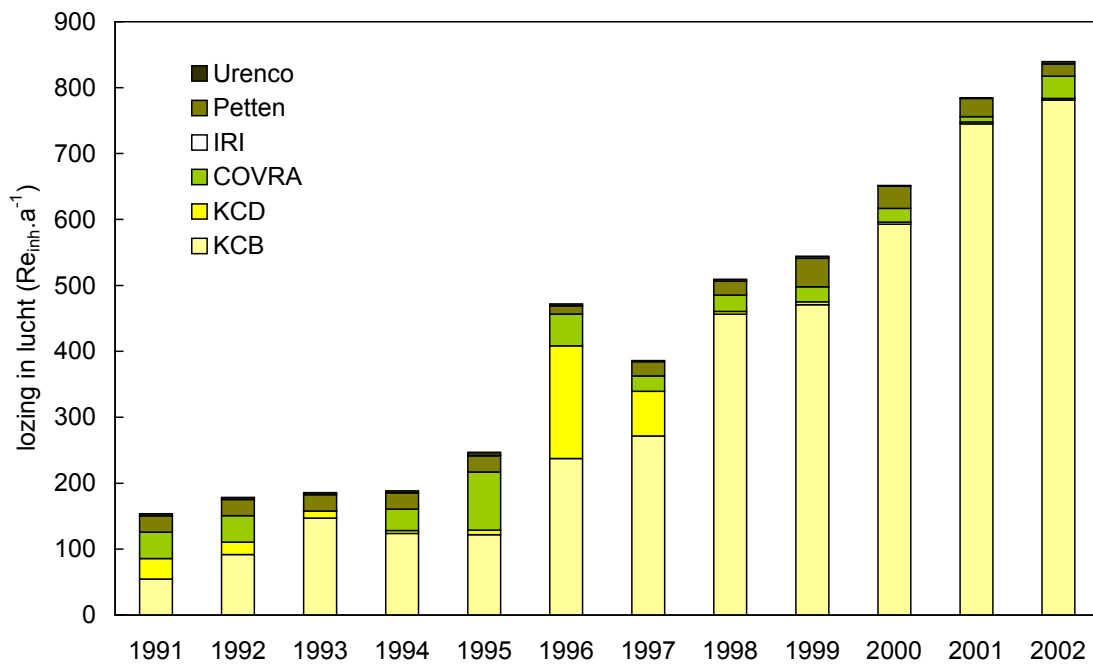
## 5.7 Onderlinge vergelijking van emissies door de verschillende categorieën

In de voorgaande paragrafen zijn de afzonderlijke categorieën behandeld. In deze paragraaf worden de categorieën onderling vergeleken. Voor de presentatie van de lozingen in lucht en water is gekozen voor een viertal figuren (Figuur 22 tot en met Figuur 25), aangezien de verschillen tussen de categorieën te groot zijn om de lozingen in één of twee figuren te plaatsen. De lozingen in lucht door de medische instellingen zijn niet afgebeeld in een figuur, aangezien die reeds relatief klein zijn ten opzichte van die van de nucleaire installaties.

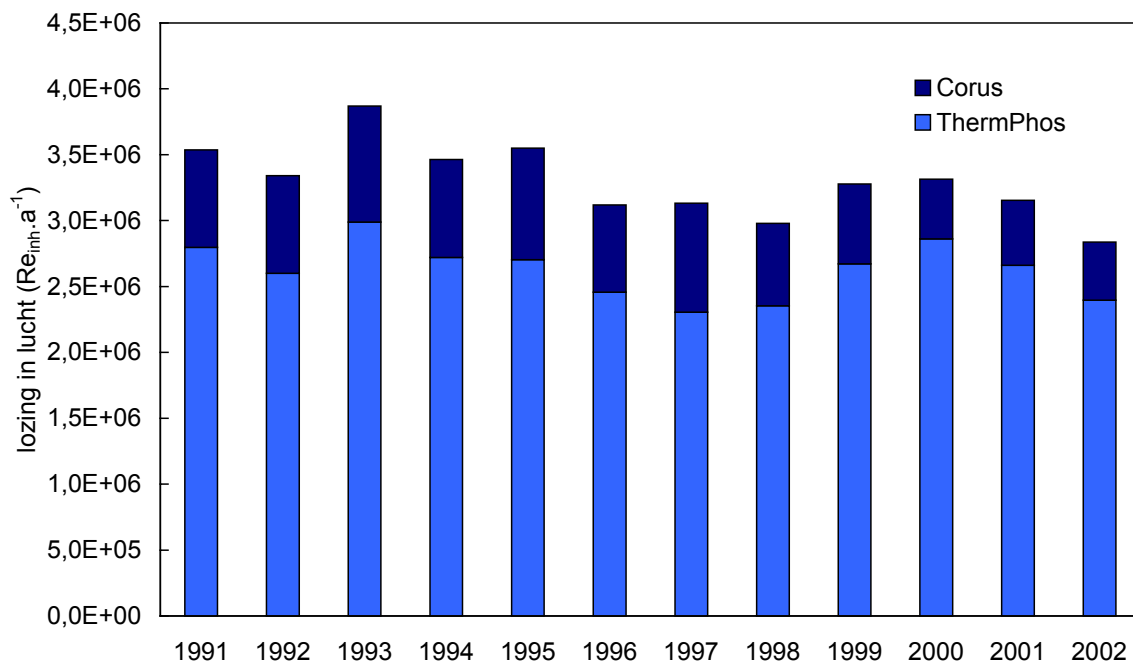
Afgaande op de lozingslimieten in water van medische instellingen is het de verwachting dat ook die lozingen relatief laag zijn vergeleken met die van de nucleaire installaties. De NDO-bedrijven hebben geen lozingen in lucht en water.

Als Figuur 22 wordt vergeleken met Figuur 23 dan valt op dat de totale lozing in lucht door de procesindustrie uitgedrukt in Re's ongeveer een factor 5000 groter is dan die door de nucleaire installaties in de laatste jaren. Verder blijkt dat de lozingen in lucht door de nucleaire installaties toenemen en worden gedomineerd door (de toegenomen òf beter gemeten  $^{14}\text{C}$ -lozingen van) KCB. In Figuur 23 zijn de lozingen in lucht van Corus en Hydro Agri niet opgenomen, aangezien deze minder dan een promille bedragen van het totaal door de andere twee bedrijven.

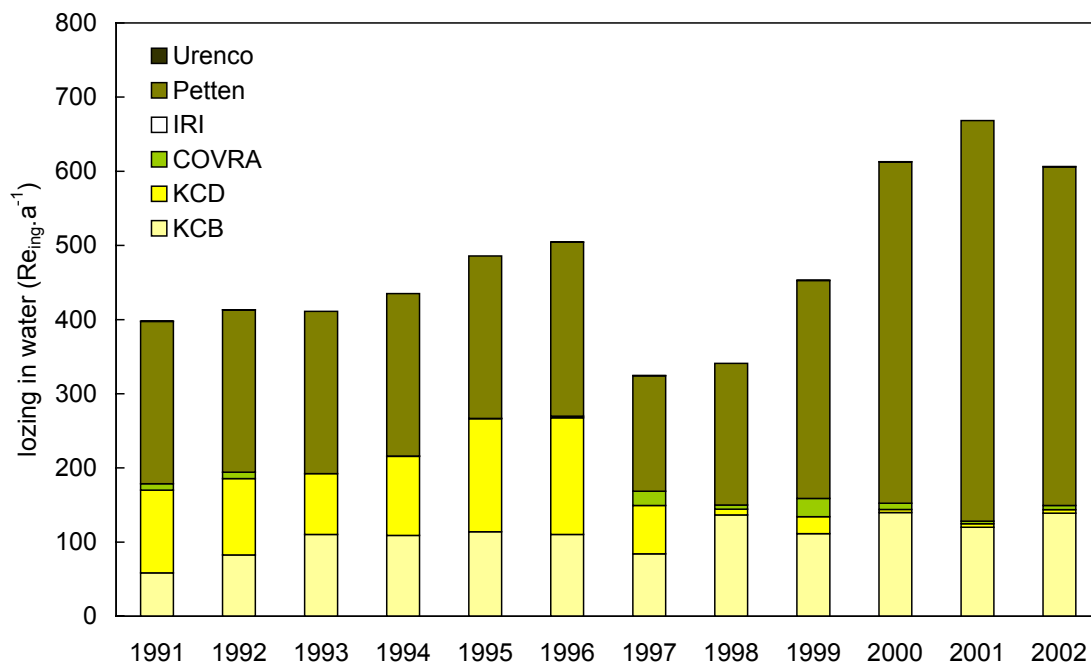
Tot het jaar 2000 zijn ook de lozingen in water in Re's (Figuur 24 en Figuur 25 van de procesindustrie drie ordes van grootte hoger dan die van de nucleaire installaties. Alhoewel de lozingen door de procesindustrie na 1999 sterk zijn afgenomen, zijn ze nog een factor 5 hoger dan die van de nucleaire installaties. Opvallend is verder dat de geschatte lozingen in water door met  $^{131}\text{I}$  behandelde patiënten in Re's, zie paragraaf 5.4, een factor 4 hoger zijn dan die van de nucleaire installaties en procesindustrie bij elkaar opgeteld!



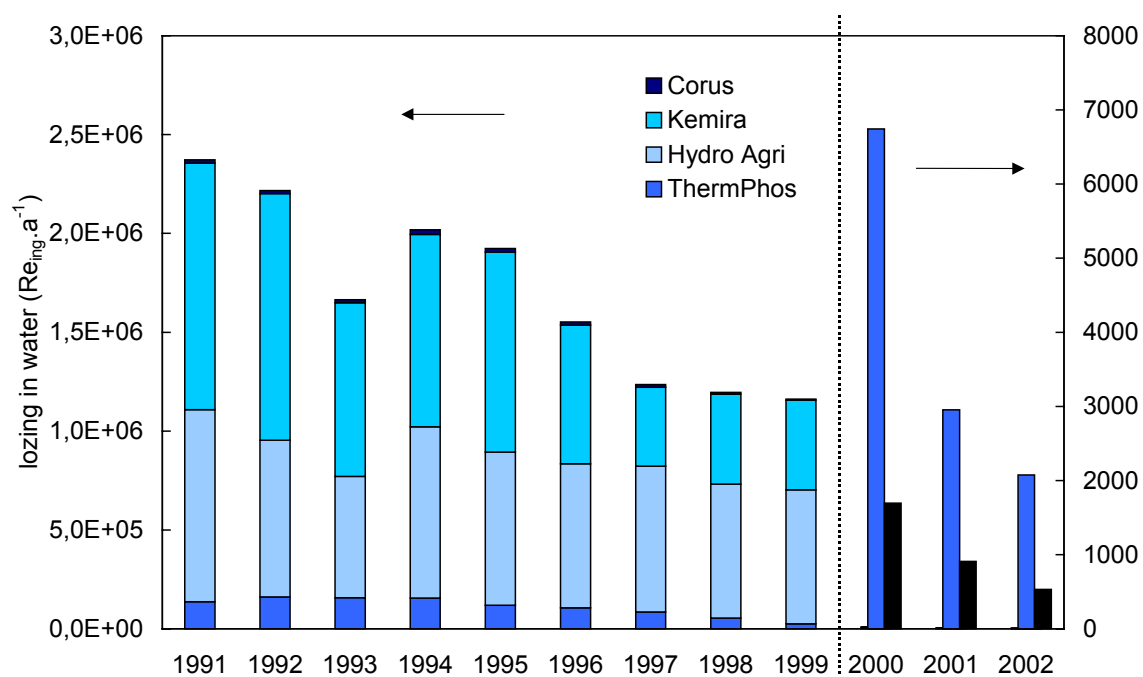
Figuur 22 Lozingen in lucht door de nucleaire installaties.



Figuur 23 Lozingen in lucht door de procesindustrie.



Figuur 24 Lozingen in water door de nucleaire installaties.



Figuur 25 Lozingen in water door de procesindustrie. N.B. de lozingsgegevens voor de jaren 1991 tot en met 1999 zijn weergegeven tegen de linker-as. Voor de andere jaren zijn ze gegeven tegen de rechter-as.



## 6 Stralingsbelasting voor leden van de bevolking

### 6.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat per categorie ondernemer de resultaten van het onderzoek naar de individuele en zo mogelijk de collectieve dosis die het gevolg is van de werkelijke lozingen in lucht en water en/of externe straling.

### 6.2 Nucleaire installaties

Bij normaal bedrijf van de nucleaire installaties bedraagt de stralingsbelasting door de lozingen in water en lucht tussen 0,01 en  $1 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ , afhankelijk van de locatie van de nucleaire installatie [67]. De dosis veroorzaakt door externe straling aan de terreingrens wordt voor een deel bepaald door de ABC-factor. Deze factor brengt het gebruik van het gebied rond de nucleaire installatie in rekening. De totale dosis van enkele  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  blijft minstens een orde van grootte onder de dosis van  $40 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  die volgens de vergunning toegestaan is.

### 6.3 Procesindustrie

In het recente verleden zijn door uiteenlopende instanties rapporten uitgebracht waarin de dosis ten gevolge van de diverse bedrijven is bepaald. Voor dit rapport zijn de dosisschattingen uitgevoerd op een wijze die vergelijkbaar is met die in het rapport van 2002.

#### *ThermPhos (Vlissingen)*

In de vergunningen vanaf 1994 [68, 69] wordt aangegeven dat de AID buiten de terreingrens zo laag dient te zijn als redelijkerwijs mogelijk is en onder de grens van  $40 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  moet blijven. Uit de dosisschattingen in Tabel 13 blijkt dat de dosis als gevolg van de lozingen door ThermPhos voornamelijk wordt veroorzaakt door de luchtlozingen. De dosis door de luchtlozingen is bepaald voor de woonlocatie Nieuwdorp (ruim 3,5 km ten noordoosten van ThermPhos). De waarden in Tabel 13 zijn berekend op dezelfde manier als in het rapport van 2002. In Tabel 14 wordt de 'inhalatiedosis' gegeven, waarbij de luchtconcentratie is bepaald met de immissiemetingen van ThermPhos. Bij deze immissiemetingen wordt uit een meting van de totale hoeveelheid  $\alpha$ - en  $\beta$ -stralers de  $^{210}\text{Po}$ - en  $^{210}\text{Pb}$ -concentratie afgeleid. In de tabel wordt de door ThermPhos gerapporteerde dosis gegeven [70], uitgaande van de door RIVM gehanteerde DC's. De verschillen in dosis tussen de beide tabellen zijn groot en kunnen wellicht verklaard worden door verschillen in gemeten en berekende luchtconcentraties en het al dan niet meenemen van het ingestiepad. Verder speelt de toegepaste AMAD-waarde voor het stof een belangrijke rol [71, 72]. Om tot een betere dosisschatting te komen, is het aan te bevelen om de verschillen nader te onderzoeken.

Tabel 13 Doses in  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  in Nieuwdorp als gevolg van de lozingen door ThermPhos, berekend met de methode uit het NNI-rapport [73]. Uit de waterlozingen is de gemiddelde ID voor de Nederlandse bevolking bepaald en uit de luchtlozingen de lokale MID.

jaar	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02
waterlozing	5,1	3,3	2,9	2,3	2,0	2,7	2,3	2,5	2,0	2,6	1,8	0,7	0,1	0,1	0,1	0,1
luchtlozing	80	128	93	56	96	76	90	72	75	68	58	79	97	76	61	73

Tabel 14 De inhalatiedosis in  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  in Nieuwdorp als gevolg van de lozingen door ThermPhos [74] (berekening gewijzigd t.o.v. [70])

	1998	1999	2000	2001
luchtlozing	25	34	19	17

Er zijn geen ingrijpende wijzigingen geweest ter beperking van de luchtlozingen. De dosis ten gevolge van de waterlozingen is vanaf 1998 duidelijk verminderd door de sluiting van het wassysteem van sinterfabriek 1 en 2. De MID aan de terreingrens door externe straling bedraagt enkele tientallen  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  (1998-1999). Het is de bedoeling om de opgeslagen hoeveelheid radioactief calcinaat te verminderen door het af te voeren naar de COVRA. Hiermee is in 2001 een begin gemaakt.

#### Corus (IJmuiden)

De MID door gebruik van bronnen en toestellen aan de terreingrens bedroeg in 1997  $0,26 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ . Aangezien er verder geen ingrijpende wijzigingen in aantallen bronnen zijn geweest, zal de externe stralingsdosis door bronnen en toestellen in de periode 1994-1998 van dezelfde orde van grootte zijn geweest.

De dosisbijdrage via het ingestiepad van de luchtlozingen door de Sinterfabriek is verwaarloosbaar (2%) ten opzichte van de inhalatiedosis, bij de Pelletfabriek is die bijdrage groter (10%) [75]. De bijdrage door overslag is een factor 10 of meer lager dan de thermische emissie voor de woonlocaties Velsen-Noord en Beverwijk [73]. Ook de bijdrage door de waterlozingen is aanzienlijk lager dan voor de luchtlozingen [73]. In het NNI-rapport is als dosisbijdrage van deze luchtlozingen een waarde van  $8 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  gegeven voor Velsen-Noord in 1990. Schattingen voor andere jaren zijn slechts mogelijk na uitgebreide dosisberekeningen.

#### Eggerding (Amsterdam)

Naast de dosis door de opslag van de ertsen, die in het vorige hoofdstuk is beschreven, is er nog een bijdrage door de stofuitstoot van de maalmolens. In een rapport van de Environmental Radioactivity Research and Consultancy Group [76] wordt de daardoor veroorzaakte MID berekend met de DC's uit het RIBRON-rapport. De grootste bijdrage ( $4,7 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ ) wordt veroorzaakt door inhalatie, terwijl depositie en ingestie een bijdrage leveren van respectievelijk  $0,8$  en  $0,15 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ . Mede gezien de zeer beperkte beschikbaarheid van de gegevens van dit bedrijf (sinds 1995 worden geen jaarrapportages meer opgesteld), is de variatie van de dosis in de tijd niet nader onderzocht.



## 6.4 Medische instellingen

In de voorgaande rapportage [2] is vastgesteld dat de dosis die leden van de bevolking (niet patiënten) ontvangen, als gevolg van handelingen in medische instellingen, gering is. Hieronder volgt een korte toelichting.

### *Luchtlozing*

Een schatting van de dosis als gevolg van luchtlozingen is alleen mogelijk aan de hand van de door de instellingen berekende MLL's. Er zijn geen metingen van de werkelijke lozingen bekend. De lozingen in lucht worden in het algemeen berekend op basis van inkoopgegevens van radionucliden. Ten opzicht van de vorige rapportage zijn geen nieuwe of aanvullende gegevens die het aannemelijk maken dat er een wijziging in de situatie is opgetreden. Er is toen een dosisschatting voor lozingen in lucht gemaakt met de veronderstelling dat alleen <sup>131</sup>I door de medische instellingen wordt geloosd. Dit gaf een individuele dosis van 0,1 µSv per jaar.

### *Waterlozing*

In de voorgaande rapportage [2] is een schatting gemaakt van de individuele dosis als gevolg van waterlozingen door medische instellingen over een periode van 11 jaar. Dit leverde een gemiddelde individuele dosis van  $3,0 \cdot 10^{-6}$  µSv per jaar op. Met de beperkte aanvullende gegevens zijn geen nieuwe berekeningen uitgevoerd. De inkoopgegevens van verschillende instellingen zijn niet overduidelijk gewijzigd en hierdoor zullen de lozingen ook geen opmerkelijke veranderingen laten zien. De maximale lozingen die instellingen zelf opgeven variëren door verschillend gebruik van de verschillende variabelen en zijn hierdoor moeilijk vergelijkbaar of te sommeren. Instellingen maken berekeningen op basis van inkoop- of verbruikgegevens van radionucliden. Sommige instellingen houden hierbij rekening met de verval tanks die in gebruik zijn, andere doen dit niet.

Gebruikmakend van de parameters van Pruppers en Blaauboer voor het rioolwatermodel [77] wordt het dosisgevolg van lozingen door met <sup>131</sup>I behandelde patiënten op minder dan 0,1 µSv per jaar geschat.

### *Externe straling*

Door medische instellingen worden in diverse documenten externe-stralingsberekeningen gepresenteerd. Vanouds worden voor een nieuw te installeren versneller dosisberekeningen uitgevoerd voor relevante plaatsen, zoals de buitenzijde van de bestralingsruimte en het labrynt. Later is daar de dosis buiten de terreingrens aan toegevoegd. Bij de aanvraag van een vergunning worden tegenwoordig voor alle binnen de instelling relevante toepassingen dosisberekeningen uitgevoerd. De externe stralingsbelasting aan de terreingrens wordt bij medische instellingen voornamelijk veroorzaakt door lineaire versnellers, brachytherapiebronnen of <sup>131</sup>I-therapie.

Een aantal instellingen heeft naar aanleiding van de berekeningen maatregelen genomen ter beperking van de MID of de AID, bijvoorbeeld door de afscherming te vergroten door het plaatsen van loden of ijzeren beplating of door het verdikken van de betonwand. Bij andere instellingen is de terreingrens aangepast of is een convenant gesloten met een aangrenzende medische instelling om de toegang voor het publiek te beperken en zo de ABC-factor aan te

passen. Voor bescherming van de werkers zijn binnen ziekenhuizen soms maatregelen genomen ter beperking van de toegang tot het dak of de kruipruimte.

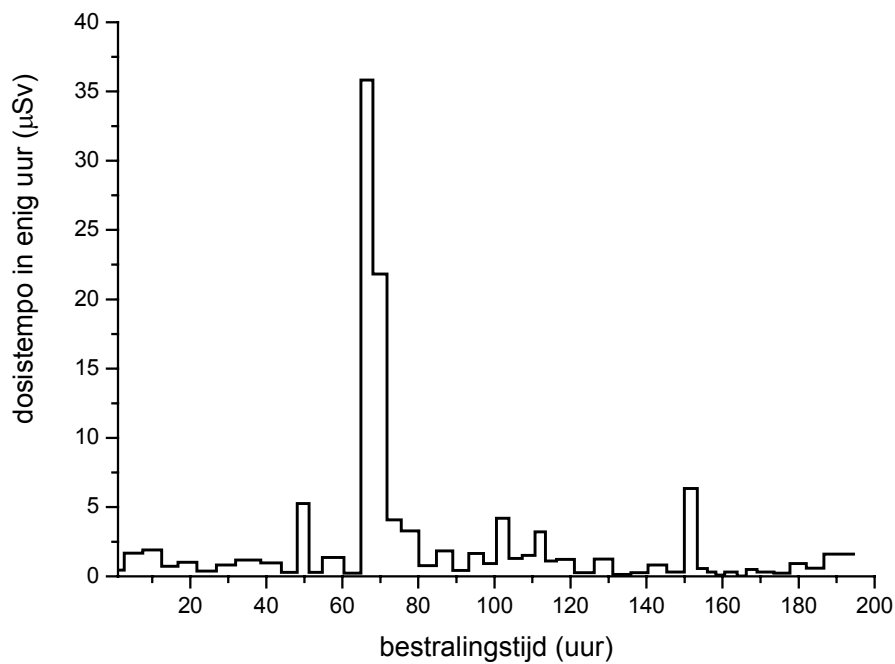
In de eerste jaarrapportage is een schatting gemaakt van de blootstelling van de bevolking door externe straling als gevolg van het gebruik van lineaire versnellers. Dit resulteerde in een schatting voor de collectieve dosis van  $0,04 \text{ mensSv.a}^{-1}$ . Gezien de sterke groei van het aantal versnellers en de bijbehorende bouw en verbouwingen die nu plaatsvinden is het zinvol om over enkele jaren de resultaten van dit proces te bezien.

## 6.5 NDO-bedrijven

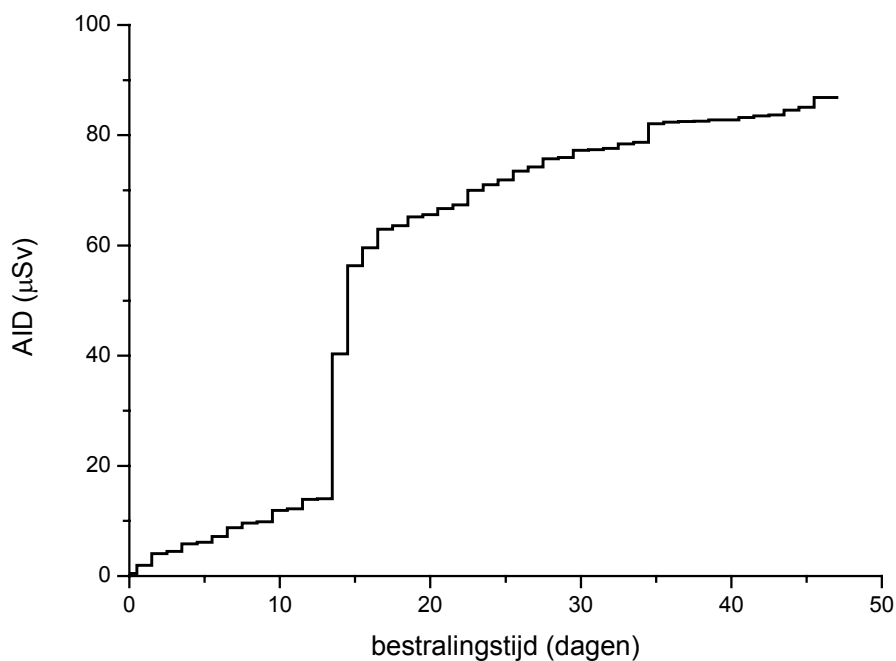
In het eerste rapport 'Beleidsmonitoring straling' [2] was de bepaling van stralingsbelasting op locatie gebaseerd op de door de modelvergunning voorgeschreven dosisschatting. Daarbij wordt uitgegaan van de aanname dat 3300 opnamen kunnen leiden tot een stralingsbelasting van  $0,1 \text{ mSv}$  aan de terreingrens.

Mede naar aanleiding van een RIVM-briefrapport [78] is het vermoeden gerezen dat de bovenstaande schatting niet realistisch conservatief is. In het RIVM-briefrapport [78] zijn er meetgegevens te vinden van de individuele dosis(tempo) aan de terreingrens van een bedrijf waar NDO-handelingen uitgevoerd zijn. Figuur 26 laat het dosistempo per uur zien. De figuur laat zien dat het dosistempo bij de afzetting (in dit geval de terreingrens) groter kan zijn dan de maximaal toelaatbare  $10 \mu\text{Sv}$  in enig uur. Opnieuw zij opgemerkt dat  $40 \mu\text{Sv}$  per uur onder speciale omstandigheden wordt toegestaan. In Figuur 27 wordt de AID cumulatief aan de terreingrens weergegeven. Deze is afgeleid van de resultaten van het RIVM-briefrapport. Verder moet worden vermeld dat de metingen vermoedelijk een onderschatting zijn van de werkelijke waarden, omdat er gebruik is gemaakt van meetinstrumenten die door hun correctie van dode tijd niet ideaal zijn voor dit type metingen [78].

Om een indicatie te krijgen van de werkelijke stralingsbelasting wordt hieronder een dosisschatting met behulp van vuistregels geleverd voor een standaard situatie met een toestel en een bron.



*Figuur 26 Dosistempo in  $\mu\text{Sv}$  in enig uur gemeten door een Genitron aan de terreingrens van een bedrijf waar NDO-handelingen plaatsvonden, over 104 dagen, alléén tijdens periodes van verhoogde netto dosistempo.*



*Figuur 27 Cumulatieve AID gemeten aan de terreingrens van een bedrijf waar NDO-handelingen plaatsvonden, over 104 dagen, alléén tijdens periodes van verhoogde netto dosistempo.*

### *Dosis door toestellen*

Eerst worden de aannamen besproken van een typische NDO-handeling. Zo wordt een standaard situatie doorgerekend met dito röntgenbuizen en een handeling-terreingrens afstand van 25 m.

De keuze van belichting met röntgenapparaat of met bron wordt beschreven in onderzoeksprocedures van de NDO-bedrijven. In het algemeen zal een cobalt-bron voor staaldiktes boven de 60 mm worden gebruikt, en een Ir-bron voor diktes tussen 40 en 60 mm. Onder de 40 mm dikte worden er in het algemeen röntgenapparaten gebruikt, met toenemende buisspanning voor dikkere objecten. Het te bestralen object, de gewenste resolutie en contrast, samen met het gebruikte filmtypen bepalen de belichting. Voor 20 mm staal zal de gebruikte belichting voor 260 kV tot 10 mA.min bedragen, voor 20 mm aluminium zal de belichting voor 110 kV variëren tussen 1 en 15 mA.min, afhankelijk van de gevoeligheid van de film. Hier wordt 6 mA.min als referentie-waarde gehanteerd voor de buisspanningen 100, 200 en 300 kVp.

In het Advies van de NDO-werkgroep [38] wordt geadviseerd om 3 minuten te hanteren als schatting van de duur van een opname. Dit is in overeenstemming met schattingen in de literatuur van de duur van een opname; 1,7 min [61] (het gemiddelde over een database van  $5 \cdot 10^4$  opnamen, voor 17 opnamen per dag) en 2 minuten, voor 4 radiografieopnamen per uur [79]. Voor de dosisschatting in dit rapport wordt uitgegaan van 3 minuten per opname. Op basis van vuistregelmethoden wordt nu de stralingsbelasting opgedeeld in a) de primaire bundel, b) strooistraling, c) lekstraling en d) skyshine.

#### *a) primaire bundel*

Vanuit een geschat dosistempo voor de meest gebruikte röntgenbuizen kan de dosis van een opname voor leden van de bevolking worden berekend.

De dosis door röntgenbuizen is afhankelijk van de spanningsgenerator, de toegepaste filtratie en de belichting (mA.min). Als indicatie-waarde wordt het (uittree)kerma van röntgenbuizen van 100 en 200 kVp (met wolfram trefplaat en 2 mm Al-filtratie) gebruikt uit ICRP-rapport 33 [80]. Voor de vertaling naar sieverts is de conversiefactor 0,7 Sv/Gy gebruikt. Omdat de ICRP-waarden gelden voor diagnostische röntgenbuizen, wordt er in de tabel ook een bereik gegeven van gebruikelijke waarden van röntgenbuizen van 100 à 300 kVp die specifiek zijn gebruikt voor NDO [81]. Inmiddels zijn röntgenbuizen van 320 kVp op de markt gekomen: daarvoor worden DIN normen toegepast om te komen tot de gebruikelijke effectieve dosis zoals aangegeven in [82].

Voor de **onafgeschermd**e bundel geldt dan:

<b>kVp (kV)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>320/300</b>
filter (mm)	(0,5-3 Al/Cu) [81]	(0,5-3 Al/Cu) [81]	7 Be[82]/(0,5-3 Cu)[81]
luchtkerma (mGy/(mA.min)@ 1m)	10 [80]	28,7 [80]	
dosis (mSv/(mA.min) @ 1m)	7 (7,6-23,5 / 0,16-2)	20 (26-43 / 4-13)	34 (12-28)
dosis per opname (mSv @ 1m)	42 (1 – 141)	120 (24 – 258)	204 (72 – 170)

Aan de terreingrens op een afstand van 25 m (waar de afzetting zich maximaal zal bevinden voor een kleine locatie van 50x50 m<sup>2</sup>), zal de dosis in de bundel zelf bij de afzetting kleiner zijn dan de dosis op 1 m door:

- een geometrische afstandsfactor ( $1/d^2 = 1,6 \cdot 10^{-3}$ );
- transmissie door lucht (factoren 0,34 – 0,59 – 0,63 voor 100-200-300 kVmax [83]);
- een factor 0,12 in plaats van de richtingsfactor 0,25 van referentie [38]. Als conservatieve waarde voor de uittree-hoek van een röntgenbuis wordt hier  $40^\circ \times 60^\circ$  ( $2\pi/9 \times 2\pi/6$  rad) gebruikt: dit onderspant een fractie 0,116 van de bovengrondse ruimtehoek ( $2\pi$  rad, een halfbol).

<b>kVp (kV)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
Afstandsfactor	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
dosis in bundel ( $\mu\text{Sv}$ ) @ 25m	67	192	326
transmissie in lucht @ 25 m	0,34	0,59	0,63
dosis in bundel ( $\mu\text{Sv}$ ) @ 25m	23	113	205
kans om in bundel te zijn	12%	12%	12%
dosis x kans in bundel ( $\mu\text{Sv}$ )	2,7	14	25

De waarden voor de maximale dosis per opname zijn alleen van toepassing als de bundel niet door een object gaat. Dat zou het geval kunnen zijn als de bundel niet optimaal gecollimeerd is (worst-case). Voor een juiste dosisschatting moeten de lekstraling, stroostraling en skyshine berekend worden.

#### *b) stroostraling*

Voor stroostraling wordt uitgegaan van de verstrooiingscoëfficiënten van DOVIS-B [84] ( $\alpha < 0,02$  voor ijzer), en als verstrooiende oppervlak de projectie (0,840 m<sup>2</sup>) van de maximale uittree op het verstrooiende object op 1 m afstand. In dit geval is stroostraling 1,7% van de primaire bundel: gemakshalve wordt hier 1% van de primaire bundel toegepast, omdat deze waarde afhankelijk is van het verstrooiende materiaal en de verstrooiingshoek. Ook wordt de afstandsfactor en absorptie in lucht toegepast. In onderstaande tabel is te zien dat de hier geschatte waarden redelijk goed overeenkomen met uitkomsten op basis van een formule van Shapiro et al. [85].

<b>KVp (kV)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
Stroostraling ( $\mu\text{Sv}$ )@ 25 m	0,2	1,1	2,0
Shapiro ( $\mu\text{Sv}$ )@ 25m [85]	0,4	1,2*	1,9*

\*geëxtrapoleerde waarde

#### *c) lekstraling*

Volgens de Duitse wet [86] variëren de lekstralingslimieten voor röntgentoestellen tussen 2,5 en is  $10 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$  op 1 m, afhankelijk van de spanning. Dit zijn conservatieve waarden, die gebaseerd zijn op de lekstraling parameters, dat wil zeggen de bedrijfscondities waarvoor de lekstraling het hoogst is. Uitgaande van een belichtingstijd van 3 minuten en transmissiefactoren levert dat:

<b>kVp (kV)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
lekstraling ( $\text{mSv}/\text{h}$ ) @ 1m	2,5	2,5	10
lekstraling ( $\mu\text{Sv}$ ) @ 25m	0,07	0,13	0,5

d) *skyshine*

Voor skyshine verwijst DOVIS-B naar NCRP [87]. Als worst-case wordt uitgegaan van een bundel die naar de zenith gericht is, zonder enige afscherming. De dosis van skyshine naar verhouding met de dosis  $D_0$  op 1 m is dan  $D = 2,5 \cdot 10^{-2} D_0 \Omega^{1,3} / d^2$ , waar  $d$  de afstand en  $\Omega$  de ruimtehoek van de bundel is. Op een afstand van 25 m en een maximale ruimtehoek ( $\Omega$ ) van  $40^\circ \times 60^\circ$  wordt dit:

<b>kVp (kV)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
skyshine dosis ( $\mu\text{Sv}$ ) @ 25 m 'worst-case'	1,1	3,2	5,4
skyshine dosis ( $\mu\text{Sv}$ ) @ 25 m realistisch conservatief	0,11	0,32	0,54

Bij een goed gecollimeerde bundel zal deze dosis kleiner zijn, omdat de ruimtehoek kleiner is, en bij een bundel naar de grond gericht zal skyshine bijna nihil zijn. Daarom is voor een reële schatting een gemiddelde waarde van 10% van het worst-case scenario gehanteerd.

*Totale dosis door toestellen*

De dosis aan de terreingrens is geschat aan de hand van een standaard situatie met röntgenbuizen zoals ze in de praktijk worden toegepast. Daarbij zijn we uitgegaan van een afstand van de NDO-handeling tot aan de terreingrens van **25 m**. Ofwel, de schatting is geldig voor een deel van de kleine locaties. In onderstaande tabel wordt de schatting voor de individuele dosis aan de terreingrens ten gevolge van één NDO-handeling gegeven voor 3 verschillende buisspanningen:

*Tabel 15 Individuele dosis ( $\mu\text{Sv}$ ) aan de terreingrens op 25 m afstand van de bron door één radiografieopname.*

<b>kVp (kV)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
primair (onafgeschermd)	23	113	205
strooi	0,2	1,1	2
lek	0,07	0,13	0,5
skyshine	0,11	0,32	0,54
<b>totaal</b> (stroostraling, lekstraling, skyshine)	0,38	1,55	3,04

De dosis door een onafgeschermd bundel is opgenomen in de tabel om te tonen hoe hoog de dosis aan de terreingrens in een 'worst-case'-situatie is. Deze wordt niet toegepast voor de schatting van de totale dosis.

Voor de MID worden de bovenstaande waarden vermenigvuldigd met 0,25, zie Tabel 16.

*Tabel 16 MID aan de terreingrens op 25 m afstand van de bron door één radiografieopname.*

<b>kVp (kV)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
MID ( $\mu\text{Sv}$ )	0,10	0,39	0,76

De conclusie is dat deze conservatieve dosisschattingen voor röntgenbuizen op basis van vuistregels tot een factor 3 à 25 hoger uitkomen dan de waarde van  $0,03 \mu\text{Sv}$  per opname dat

als uitgangspunt is gehanteerd bij 3300 opnamen per jaar in het Bs [5]. Voor de conservatieve schattingen is uitgegaan van een afgeschermd primaire bundel. De lekstraling, strooistraling en skyshine daarentegen zijn in deze beschouwing niet afgeschermd.

#### *Dosis door ingekapselde bronnen*

Voor een reële dosisschatting van de MID aan de terreingrens kunnen berekeningen die voor de blootstelling van NDO-medewerkers gedaan zijn, ook worden gebruikt. Deze indicatieve berekeningen, gevalideerd door metingen, zijn uitvoerig beschreven door Van Rooijen [88, 89].

Door Van Rooijen wordt een dosisschatting gegeven voor een medewerker tijdens de belichtingsfase. Deze medewerker loopt daarbij van 15 m afstand van de bron naar een afstand van 30 m en dan terug aan het eind van de belichting. Dit is representatief voor de dosis aan een afzetting op 25 m afstand. De berekende dosis per werkdag voor 30 belichtingen varieert van 1,43 tot 17  $\mu\text{Sv}/\text{dag}$  afhankelijk van de gebruikte belichtingsparameters en collimatoren. Per belichting, gebruikmakende van de wooncorrectiefactor, levert dat een MID van 0,01 tot 0,14  $\mu\text{Sv}$ . Hierbij moet worden aangegeven dat lekstraling (het is tenslotte geen toestel dat kan worden uitgezet) en het transport van de bron vanuit bronhouder naar de collimator, een vergelijkbare stralingsbelasting aan de terreingrens oplevert en hierbij niet is meegerekend.

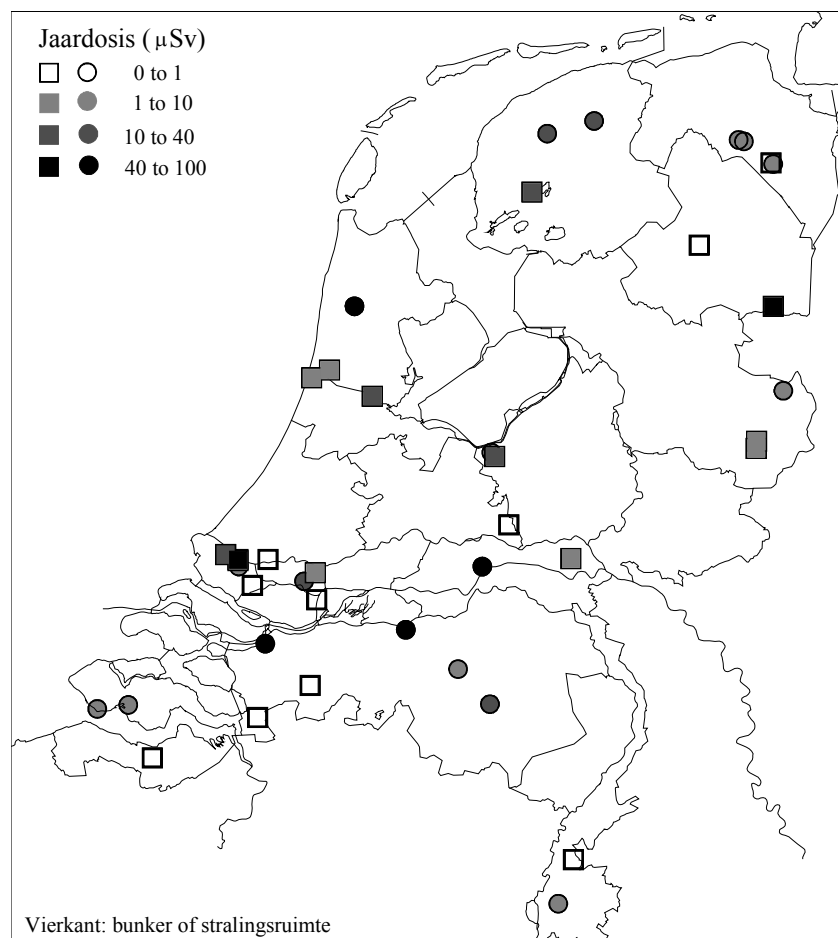
#### **Meldingen van overschrijding van 3300 opnamen per jaar**

Volgens Bs artikel 121 lid 4 moet het NDO-bedrijf onverwijld aangifte doen van het feit dat het te verwachten aantal van 3300 opnamen zal worden overschreden voor een bepaalde locatie. Dat gebeurt door middel van een meldingsformulier aan de Afdeling Vergunningen en Collectieve regelingen van SZW. Afhankelijk van het bedrijf worden de meldingsformulieren op een eigen wijze ingevuld. De AID moet bepaald worden met de ministeriële regeling AGIS (Analyse Gevolgen Ioniserende Straling). Uit de meldingsformulieren blijkt dat hiermee nogal verschillend omgegaan wordt. Soms wordt er überhaupt geen berekening gegeven en géén AID-waarde: dat gebeurt bijvoorbeeld als het terrein groot is en/of de verzwakking voldoende. Ook wordt onder het onderwerp 'status melding' soms de AID per jaar vermeld, soms de mededeling 'éénmalig' of 'geldend voor meerdere jaren vanaf een bepaald jaar'. Er wordt bijgevoegd dat, indien het aantal opnamen in een bepaald jaar 50% hoger is dan het in eerder instantie gemelde aantal, dan zal in het betrokken jaar een nieuwe melding plaatsvinden.

Van de oudere meldingen zonder duidelijke vermelding van de geldigheid wordt er daarom van uitgegaan dat het om een melding voor meerdere jaren gaat. In het algemeen worden de schattingen zekerheidshalve ruim opgegeven, zodat in de praktijk de gemelde schattingen niet overschreden worden. In Figuur 28 worden de locaties gegeven waarvoor een melding is gedaan en een AID is geschat.

Er zijn 26 locaties – waarvan negentien kleine locaties (< 200m x 200m) - waarvoor tot medio 2003 een herziene melding was gegeven. Bij deze meldingen zitten zowel hogere als lagere dosiswaarden, mede door toedoen van het fluctuerend aantal opnamen van jaar tot jaar, maar ook door het al dan niet meerekenen van een afscherming. In totaal zijn in 2003 41 kleine locaties en één grote locatie waar het aantal opnamen groter is dan 3300. Op 24 van

de 41 locaties worden bunkers of stralingscabines gebruikt. Voor de grote locatie was strikt genomen geen dosisberekening noodzakelijk



*Figuur 28 Jaardosis (AID) door NDO aan de terreingrens van locaties waar een vermoeden bestaat dat het aantal van 3300 opnamen in 2003 werd overschreden en de dosis groter dan 0  $\mu\text{Sv}$  werd geschat.*

## 6.6 Overige stralingsbronnen

In de afgelopen jaren zal de individuele dosis ten gevolge van gebruiksartikelen nauwelijks zijn veranderd, aangezien deze bij vergelijkbaar gebruik tot een vergelijkbare dosis zullen leiden. Echter, door veranderend beleid kan het zijn dat sommige gebruiksartikelen worden uitgefaseerd, zoals de ionisatierookmelders [90], of worden verboden. Daarnaast is de industrie voor sommige producten overgestapt naar niet-radioactieve oplossingen. Daardoor zal de collectieve dosis dalen, waarbij is aangenomen dat er geen nieuwe radioactieve gebruiksartikelen op de markt verschijnen.

Voor de gebruiksfase en afvalfase ten gevolge van de meeste gebruiksartikelen wordt geschat dat de dosis door externe straling lager is dan  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  [42]. Uitzonderingsgevallen daarvan zijn de thoriumhoudende gloeikousjes en dito lasstaven, alsmede keramische tegels in de gebruiksfase en sommige cameralenzen als ze zijn uitgesteld in een woonkamer. De dosis ten



gevolge van tritiumlekkage, uit horloges die met tritiumverf zijn behandeld, voor leden van de bevolking is tevens lager dan  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

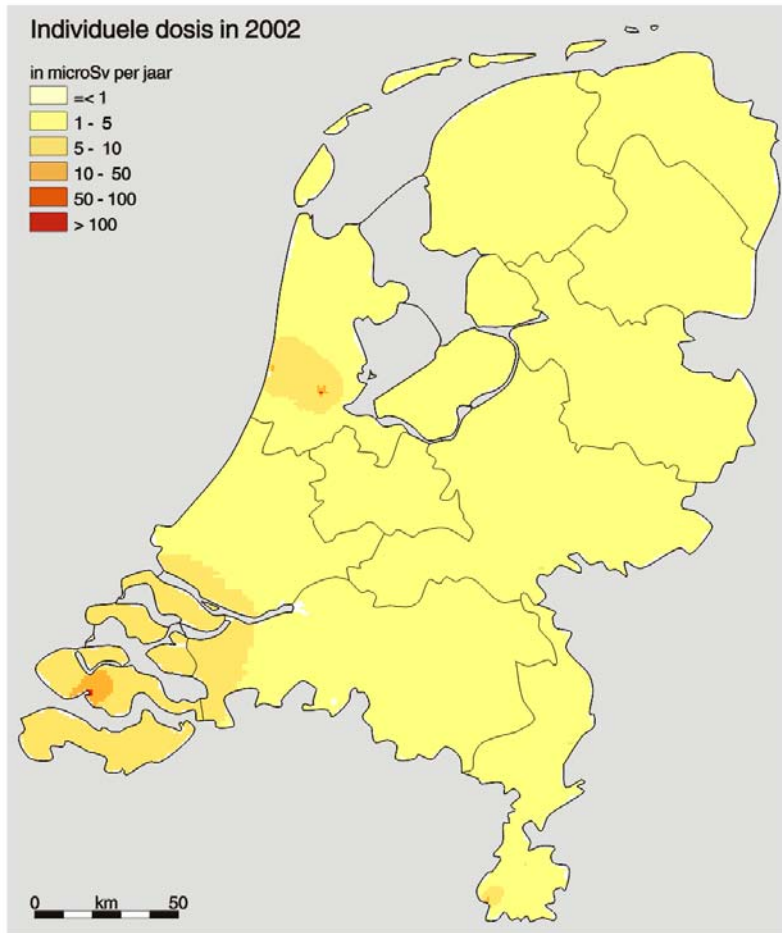
Voor de dosisgevolgen door bouwmaterialen en medisch diagnostisch apparatuur wordt verwezen naar een RIVM-rapport [40].

## 6.7 Dosis door alle bronnen tezamen

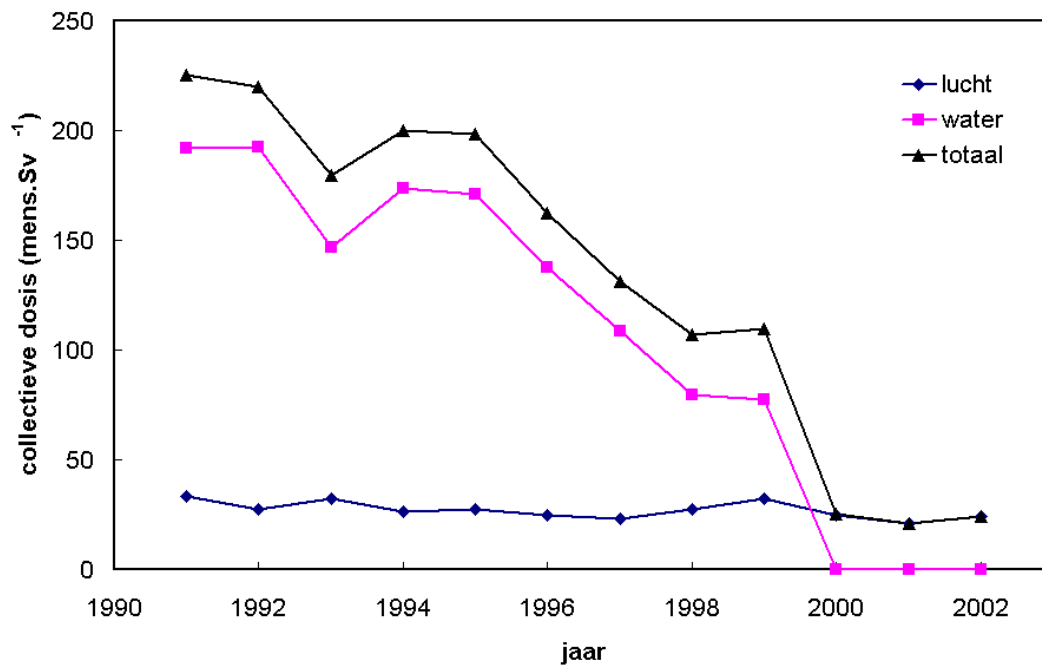
Om een geografische verdeling van de individuele dosis door lozingen in lucht te presenteren is het Ketenmodel Reguliere Emissies KREM ontwikkeld bij het RIVM [91, 92]. In Figuur 29 wordt de stralingsbelasting door lozingen in lucht voor het jaar 2002 van alle bronnen tezamen aangegeven, zoals die is berekend met KREM versie 1.32. Daartoe zijn die ondernemingen geselecteerd ten behoeve van het Milieu- en Natuurcompendium [93]. In de figuur wordt de individuele dosis gedomineerd door de procesindustrie, zie ook Janssen et al. [94] en Eleveld en Pruppers, [95].

De stralingsbelasting uitgedrukt in de collectieve dosis als gevolg van lozingen in water en lucht door alle ondernemers is te zien in Figuur 30. Ook hiervoor geldt dat de collectieve dosis wordt gedomineerd door de procesindustrie. De opvallende daling in de collectieve dosis in 2000 is voornamelijk toe te schrijven aan het beëindigen van de lozingen naar water door Kemira en Hydro Agri.

De stralingsbelasting door externe straling is alleen voor de NDO-bedrijven in kaart gebracht, zie Figuur 28. Voor een volgende beleidsmonitoringrapportage kan worden overwogen om een zo compleet mogelijk beeld van de geografische verdeling van de externe straling te presenteren.



Figuur 29 Stralingsbelasting door alle bronnen tezamen voor het jaar 2002.



Figuur 30 Stralingsbelasting in collectieve dosis door lozingen in lucht en water door alle ondernemers.

## **7 Beroepsmatige blootstelling aan ioniserende straling**

J.W.E. van Dijk, NRG-Arnhem

### **7.1 Inleiding**

Met ingang van 1989 is door het Ministerie voor Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) het Nationaal Dosis Registratie- en Informatie Systeem (NDRIS) ingesteld. Een van de doelstellingen van dit systeem was om vanuit een centraal systeem analyses te kunnen maken van de beroepsmatige blootstelling aan ioniserende straling. Dit naast de hoofddoelstellingen: het garanderen van de wettelijke bewaartermijn voor dosisgegevens (hierbij liep Nederland vooruit op de Europese richtlijn van 1996 [1]) en het door het bij elkaar brengen van alle dosisgegevens van alle radiologische werkers in Nederland, te komen tot een optimale bewaking van beroepshalve ontvangen stralingsdoses conform de Europese richtlijn van 1990 [96]. Voor de bouw en het beheer van het NDRIS heeft het Ministerie indertijd het TNO Centrum voor Stralingsbescherming en Dosimetrie, thans NRG Radiation & Environment, aangewezen. Het NDRIS is wettelijk geregeld in het Besluit Stralingsbescherming [5] en de Regeling Voorzieningen Stralingsbescherming Werknemers [97].

De persoonsdosimetrie voor blootstelling aan externe bestraling wordt in Nederland uitgevoerd door zes instellingen die daartoe door de overheid zijn erkend. Deze instellingen zijn: NRG Arnhem en Petten met 2 erkenningen, Philips Eindhoven, de Technische Universiteit Eindhoven het Nederlands Kanker Instituut en de Vrije Universiteit Amsterdam. Al deze Nederlandse dosimetrische diensten verstrekken thermoluminescentiedosimeters (TLD) als individueel controlemiddel. De erkende dosimetrische diensten zijn ingevolge hun erkenning en ingevolge de Regeling Voorzieningen Stralingsbescherming Werknemers [97] verplicht periodiek de gemeten persoonsdoses te laten opnemen in het NDRIS. De vaststelling van blootstelling door inwendige bestraling wordt gedaan door stralingsdeskundigen van de betrokken instellingen. Ook deze blootstellingen dienen in het NDRIS te worden opgenomen. Hetzelfde geldt voor in het buitenland vastgestelde blootstellingen. Deze laatste worden in het algemeen door middel van het in eerder genoemde regeling [97] vastgestelde Nederlands Stralingspaspoort aan het NDRIS gemeld.

In de paragrafen 7.2 tot en met 7.4 wordt kort ingegaan op algemene kenmerken van de gegevensverzameling, op de dosisgegevens en op de statistische kenmerken van deze gegevens. In de paragraaf 7.5 wordt voor de totale groep en voor verschillende categorieën een overzicht gegeven van de beroepsmatige blootstelling voor de jaren 1993 tot en met 2002. In paragraaf 7.6 wordt een meer gedetailleerde analyse gegeven voor personen werkzaam in het niet-destructief onderzoek (NDO) met ioniserende straling. De werkomstandigheden tijdens het NDO zijn vaak zodanig dat betrekkelijk hoge blootstellingen kunnen voorkomen. De groep personen die actief is in het NDO kent dan ook in veel landen, waaronder Nederland, een betrekkelijk hoog percentage overschrijdingen van 6 mSv, NR<sub>6</sub> (zie bijvoorbeeld UNSCEAR Annex E Tabel 22 [98]).

Sinds de invoering van het Besluit Stralingsbescherming [5] worden de leden van vliegtuigbemanningen ook beschouwd als beroepsmatig blootgestelde personen. In paragraaf 7.7 wordt een korte uiteenzetting gegeven over de wijze waarop de dosis van deze beroepsgroep wordt vastgesteld.

Deze rapportage is een samenvatting van een uitgebreide analyse uitgevoerd in opdracht van het Ministerie voor SZW [99].

## 7.2 De gegevensverzameling

De huidige gegevensverzameling bestaat uit de dosisgegevens van de kernenergiecentrales te Dodewaard en Borssele sinds 1973, van de dosimetrische dienst van NRG in Arnhem (voorheen TNO) sinds 1983 en van de overige hierboven genoemde diensten sinds 1989. Voor het uitvoeren van statistische analyses wordt bij de dosisgegevens een aantal kenmerken opgeslagen. Dit zijn de geboortedatum en het geslacht van de gebruiker met daarbij de aard van de werkzaamheden. Hiertoe zijn bijna 60 categorieën werkzaamheden gedefinieerd. De werkgevers zijn daarnaast ingedeeld in 13 categorieën. Voor het uitvoeren van statistische analyses kunnen deze twee indelingen middels een referentietabel worden gecombineerd tot iedere gewenste indeling.

## 7.3 Dosisgrootheden

Volgens het Besluit Stralingsbescherming [5] moet van de beroepsmatig blootgestelde personen de effectieve dosis [98] worden vastgelegd in het NDRIS. Deze grootheid is evenwel in de praktijk niet met meetinstrumenten vast te stellen. In plaats daarvan wordt met de persoonsdosimeters het persoonlijk dosisequivalent op 10 mm diepte in zacht weefsel gemeten,  $H_p(10)$  [100]. In het algemeen is de  $H_p(10)$  een conservatieve schatter voor de effectieve dosis (zie ook Besluit Stralingsbescherming [5], Bijlage 2).

Effectieve beschermingsmaatregelen bij blootstelling aan röntgenstraling zoals een goed passend loodschort met schildklierbescherming, maken dat de meting met een persoonsdosimeter ofwel een sterke overschatting oplevert als deze buiten de bescherming wordt gedragen ofwel een sterke onderschatting indien zij er onder wordt gedragen.

Tot op heden wordt in principe in het NDRIS de met de dosimeter vastgestelde dosis opgeslagen. Van de personen die interventie röntgenologie, zoals in de cardiologie, bedrijven is echter bekend dat zij veelal adequate bescherming toepassen. De dosimetrische diensten van de Technische Universiteit Eindhoven en de Vrije Universiteit Amsterdam passen dan ook sinds respectievelijk 1993 en 2002 op de buiten het loodschort gemeten dosis een correctiefactor van 0,2 toe voordat deze wordt aangeleverd aan het NDRIS. Deze metingen worden voorzien van een speciale aanduiding. Het lijkt goed om in het kader van een statistische analyse deze correctie van 0,2 toe te passen [101] voor alle personen waarvoor in het NDRIS de soort werkzaamheden cardiologische- en diergeneeskundige röntgenologie is aangegeven. Dit zijn twee groepen personen die veelal in het (strooi)veld van het toestel werken met gebruikmaking van adequate bescherming door een loodschort. De gegevens in deze rapportage zijn alle gebaseerd op deze gecorrigeerde doses.

## 7.4 Kentallen van de dosisverdelingen

Bij de analyse van dosisgegevens zijn een aantal kentallen van nut. Deze aan de UNSCEAR [98] ontleende kentallen zijn opgesomd in Tabel 17.

*Tabel 17 Belangrijkste kentallen gebruikt bij de statistische analyse van beroepsmatige blootstelling.*

<b>Kental</b>	<b>Symbol</b>
Aantal blootgestelde personen in een bepaalde groep	N
Collectieve dosis voor een bepaalde groep (mensSv of mens mSv)	S
Gemiddelde dosis van personen in een bepaalde groep (mSv)	$E_{Avg}$
De fractie van het aantal personen in een groep met een dosis groter dan E	$NR_E$
De fractie van de collectieve dosis voor een groep, bijgedragen door personen met een dosis groter dan E	$SR_E$

Bij de huidige analyse zijn voor E drie waarden gebruikt waardoor 4 dosisgebieden zijn ontstaan: kleiner dan 1 mSv, van 1 tot 6 mSv, van 6 tot 20 mSv en 20 mSv en hoger. Deze waarden zijn ontleend aan de in de regelgeving [5] vastgelegde dosislimieten.

Hoewel de kentallen eenduidig kunnen worden vastgesteld uit de gegevensverzameling zijn zij toch behept met een onzekerheid.

Bronnen van onzekerheid die een uitwerking hebben op de aantallen blootgestelde personen:

1. Indeling in soort werk en categorie werkgever niet altijd (meer) juist;
2. Beginnen of stoppen met radiologische werkzaamheden in de loop van een jaar;
3. Veranderen van soort werk in de loop van een jaar.

Bronnen van onzekerheid die een uitwerking hebben op de collectieve dosis:

4. Meetonzekerheid;
5. Draagdiscipline;
6. Gebruik loodschoort.

Tenslotte veroorzaakt het feit dat één persoon meermaal geregistreerd kan zijn door foutieve opgave van naam of geboortedatum fouten in zowel het aantal blootgestelde personen als de collectieve dosis.

De meetonzekerheid wordt veroorzaakt door:

- a. ruis van de dosismeter en de evaluatieapparatuur,
- b. onzekerheid in de correctie voor de bijdrage van de natuurlijke achtergrondstraling,
- c. onzekerheid als gevolg van de energie- en hoekafhankelijkheid van de respons van de dosimeters en van fading en
- d. onzekerheid in de kalibratie van de gebruikte dosimeters.

Volgens internationale aanbevelingen moet de totale standaard onzekerheid in een jaardosis ter grootte van de dosisjaarlimiet kleiner zijn dan ongeveer 24% [102]. Alle in Nederland erkende dosimetrische systemen kunnen hieraan voldoen maar, met name de bron van meetonzekerheid genoemd onder punt c maakt dat men toch met een standaard onzekerheid van ongeveer 20% rekening moet houden. De onzekerheid in de vaststelling van een dosis als gevolg van neutronenstraling en van een inwendige besmetting zal in veel gevallen

aanzienlijk groter zijn. Deze vormen echter meestal een verwaarloosbare component van de jaardosis zodat mag worden verwacht dat deze bijdrage uiteindelijk gering zal zijn.

Bij een dosismeting met behulp van een TL-dosimeter wordt een bruto signaal gemeten waarvan moet worden afgetrokken het signaal dat de niet bestraalde TLD geeft, het zogenaamde nulsignaal, en een schatting van de dosis als gevolg van de natuurlijke achtergrondstraling. De onzekerheid in bepaling van het nulsignaal en de bijdrage van de natuurlijke achtergrond bepalen in belangrijke mate de detectielimiet van een TLD meting [103]. Doorwerking van deze onzekerheden naar een onzekerheid in de collectieve jaardosis voor alle toepassingen leert dat deze op minimaal 0,050 mensSv moet worden geschat. Hierbij komt dat doordat de collectieve dosis is opgebouwd uit circa 800.000 individuele metingen, uiterst kleine maar systematische veranderingen in de instellingen van de TLD-readers een duidelijk effect kunnen hebben op de collectieve dosis. Bijvoorbeeld, een op zich niet meetbare verandering in de schatting van het nulsignaal van 0,25  $\mu$ Sv gedurende een jaar, resulteert in een verandering van de collectieve jaardosis van ongeveer 0,200 mensSv. Bij het beoordelen van veranderingen in de collectieve dosis moet met dergelijke factoren rekening worden gehouden. Op basis van de gedetailleerde meetgegevens van de dosimetrische dienst van NRG is gepoogd een schatting te maken van de totale onzekerheid in de collectieve dosis.

Een verhoging in de collectieve dosis tussen 1987 en 1988 werd veroorzaakt door de overstap van filmdosimeters naar TL-dosimeters. Filmdosimeters konden de blootstellingen kleiner dan 0,2 mSv per meetperiode niet vaststellen. Door het grote aantal doses in het gebied tussen 0,00 en 0,20 mSv veroorzaakte de overstap op TLD een schijnbare stijging van de collectieve dosis.

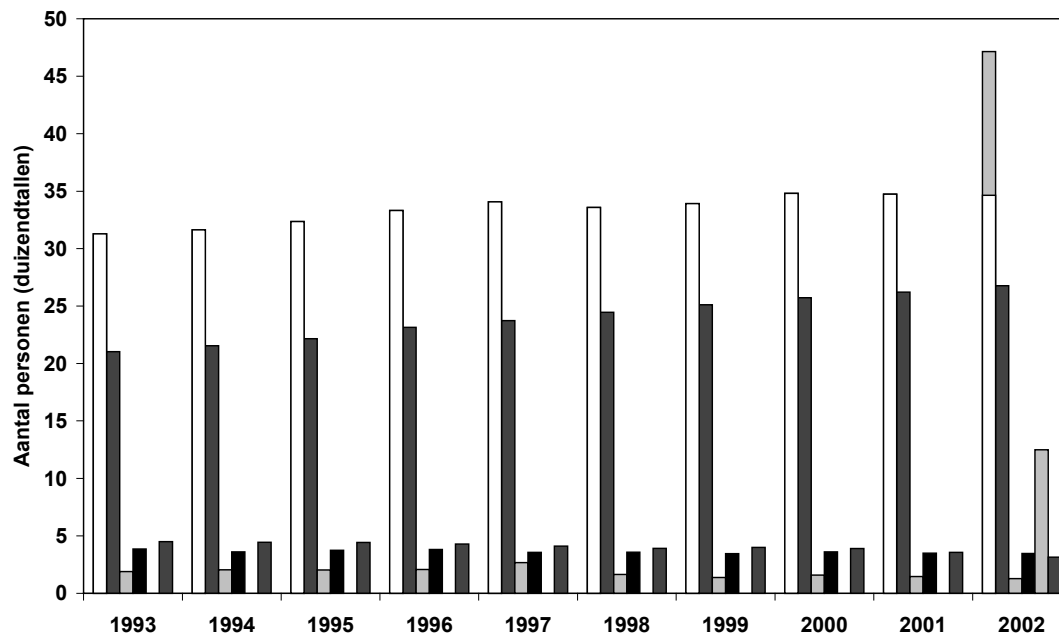
Een gefundeerde schatting van de onzekerheden in de in dit rapport gepresenteerde gegevens is niet te maken. Het lijkt echter niet onaannemelijk dat voor categorieën met een groot aantal personen de onzekerheid in aantallen en collectieve dosis zich zal beperken tot enkele procenten maar dat bij groepen die uit slechts enkele honderden personen bestaan dit snel kan oplopen tot 10 of 20 procent. Het totaal aantal personen dat door kennelijk onjuiste indeling niet kon worden meegenomen in de analyse was voor 2002 189, 0,4% van het totaal, met een collectieve dosis van 0,052 mensSv, 0,2% van het totaal.

In de tabellen van dit hoofdstuk worden de aantallen en doses gegeven zoals berekend met behulp van de voor het NDRIS ontwikkelde software zonder deze af te ronden op het aantal decimalen dat op grond van de onzekerheid relevant is. Deze wijze van presentatie maakt het beter mogelijk, waar gewenst, de gepresenteerde getallen te gebruiken voor verdere analyse.

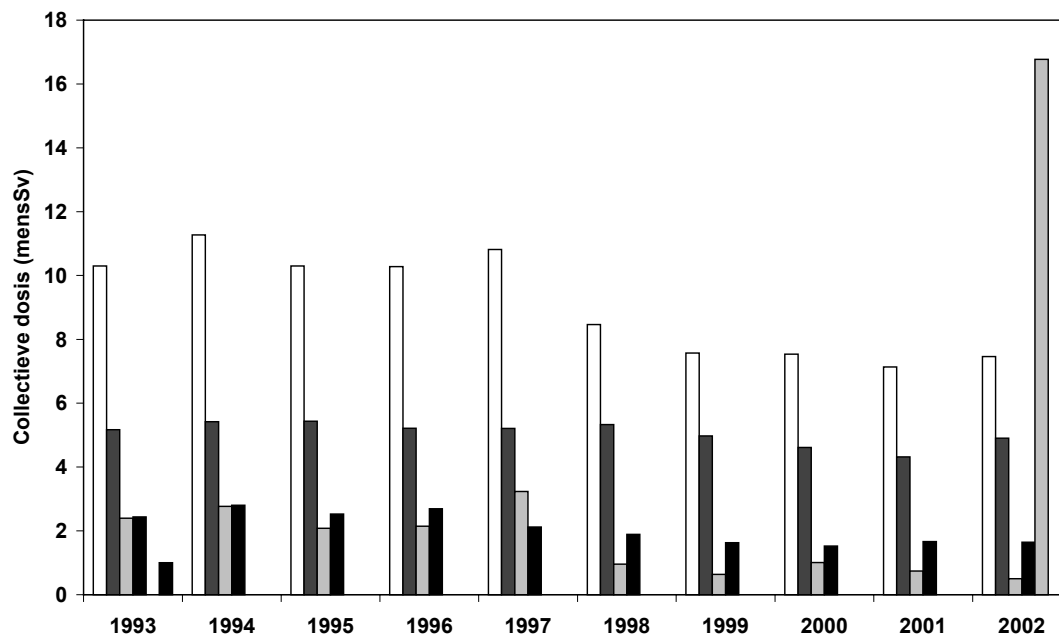
Bij de vergelijking van getallen tussen groepen, maar zelfs ook binnen een groep van jaar tot jaar, treedt een extra complicatie op veroorzaakt door wat men cultuurverschillen zou kunnen noemen. Bij de ene soort instelling of beroepsgroep zal men eerder geneigd zijn een dosimeter te verstrekken aan personen waarvan het niet erg waarschijnlijk is dat ze daadwerkelijk blootgestelde werker zijn dan bij een andere. Argumenten voor het al snel verstrekken van een dosimeter kunnen dan zijn geruststelling van de drager of strikte controle op het naleven van procedures. De kentallen waarin aantallen zijn verwerkt zijn alle gevoelig voor dit aspect, de collectieve dosis in veel mindere mate. Bij het vergelijken van gegevens tussen landen komt hier nog bij dat de centrale dosisregistraties meer of minder compleet kunnen zijn. Zo worden in Groot Brittannië uitsluitend de doses van categorie-A werkers in de centrale dosisregistratie (CIDI) opgenomen.

## 7.5 Samenvattende statistiek

Figuur 31, Figuur 32 en Tabel 18 geven een samenvatting van de beroepsmatige blootstelling aan ioniserende straling in Nederland. Figuur 31 geeft aantallen blootgestelde personen voor de periode 1993 tot en met 2002, zowel totaal als per categorie werkgever. Figuur 32 geeft voor dezelfde categorieën en jaren de collectieve dosis. De figuur geeft een indruk van de substantiële bijdrage die de blootstelling van vliegtuigbemanningen levert nu deze doses sinds 2002 (en voor een deel sinds oktober 2001) ook geregistreerd worden. Tabel 18 geeft enkele kentallen voor alle personen en per categorie werkzaamheden.



*Figuur 31 Aantallen beroepsmatig blootgestelde personen totaal en voor een aantal categorieën voor de jaren 1993 tot en met 2002. De aantallen worden in duizendtallen gegeven door de staven, met van links naar rechts: totaal aantal exclusief luchtvaart (open), totaal aantal inclusief luchtvaart (alleen 2002, lichtgrijs), medische toepassingen (donkergrijs), nucleaire toepassingen (lichtgrijs), industriële toepassingen (zwart), luchtvaart (alleen 2002, lichtgrijs) en overige toepassingen (donkergrijs).*



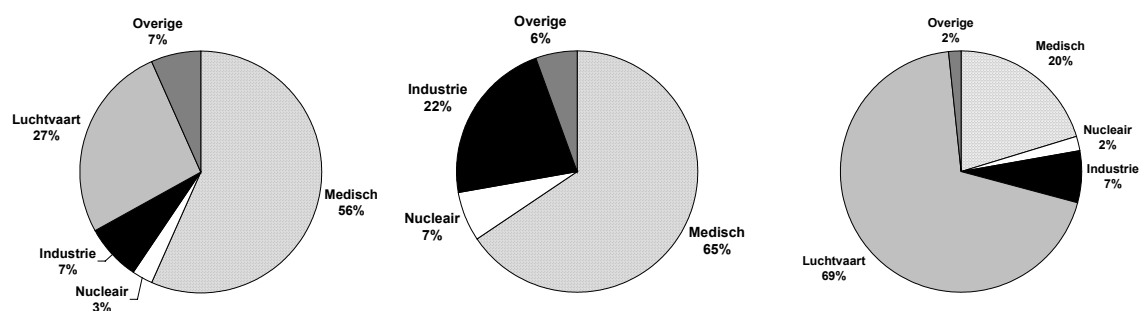
Figuur 32 Collectieve dosis in mensSv totaal en voor een aantal categorieën voor de jaren 1993 tot en met 2002. De collectieve dosis wordt voor de diverse categorieën gegeven: totaal exclusief luchtvaart (open), medische toepassingen (donkergrijs), nucleaire toepassingen (lichtgrijs), industriële toepassingen (zwart), luchtvaart (alleen 2002, lichtgrijs) en overige toepassingen (donkergrijs). De bijdrage van de luchtvaart was voor 2002 17 mensSv.

Tabel 18 Belangrijkste kentallen voor de beroepsmatige blootstelling in Nederland voor 2002. Het aantal personen  $N$ , de collectieve dosis  $S$ , de gemiddelde dosis,  $E_{Avg}$ , en het percentage personen met een jaardosis gelijk aan of groter dan 1 ( $NR_1$ ), 6 ( $NR_6$ ) en 20 mSv ( $NR_{20}$ ).

Toepassing	$N$	$S$ (mensSv)	$E_{Avg}$ (mSv)	$NR_1$ (%)	$NR_6$ (%)	$NR_{20}$ (%)
<b>Alle toepassingen</b>	47439	24,42	0,51	21,7	0,35	0,03
<b>Alle toepassingen excl. luchtvaart</b>	34940	7,64	0,22	4,5	0,48	0,04
<b>Gezondheidszorg totaal</b>	26768	4,90	0,18	3,8	0,38	0,04
Interventie röntgenologie	1560	0,73	0,47	13,3	0,39	0,00
Diergeneeskundige röntgenologie	2913	0,19	0,06	0,4	0,00	0,00
<b>Nucleaire toepassingen</b>	1284	0,50	0,39	11,4	0,00	0,00
<b>Industriële toepassingen totaal</b>	3746	1,82	0,49	10,0	1,60	0,05
NDO vaste opstelling	58	0,00	0,02	0,0	0,00	0,00
NDO mobiele opstelling	899	0,96	1,06	25,3	3,23	0,22
Isotopenproductie	410	0,55	1,34	27,1	7,56	0,00
<b>Luchtvaart</b>	12499	16,77	1,34	69,6	0,00	0,00
<b>Overige toepassingen</b>	3139	0,42	0,13	1,3	0,13	0,00



In Figuur 33 wordt in 3 taartdiagrammen een indruk gegeven van de verdeling van de blootgestelde personen over de categorieën werkgevers en de relatieve bijdrage aan de collectieve dosis.



*Figuur 33 Verdeling van het aantal blootgestelde personen over de categorieën werkgever voor 2002 (links). Verdeling van de collectieve dosis over de categorieën werkgever voor 2002 exclusief de luchtvaart (midden) en inclusief de luchtvaart (rechts).*

Indien de luchtvaart buiten beschouwing wordt gelaten lijkt het aantal blootgestelde personen licht te stijgen en zich misschien de laatste jaren te stabiliseren. In de geanalyseerde periode vertoonde de collectieve dosis een licht dalende trend die zich echter de laatste paar jaar ook lijkt te stabiliseren. Figuur 32 suggereert dat de collectieve dosis na 2001 weer licht stijgt. Deze stijging, even als even grote veranderingen in het verleden, moet echter wel worden gezien in het licht van de onzekerheden van wellicht 0,1 of 0,2 mensSv zoals die zijn bediscussieerd in paragraaf 7.4. Evident blijkt uit de grafiek en tabel dat de luchtvaartsector de grootste bijdrage levert aan de collectieve dosis. In de kolom NR<sub>1</sub> van de tabel vallen de sectoren op waar een relatief hoog percentage van de personen een jaardosis boven de 1 mSv heeft: interventie röntgenologie, nucleaire toepassingen, niet-destructief onderzoek met mobiele opstellingen, isotopen productie en luchtvaart.

## 7.6 Niet destructief onderzoek

Van 957 personen is bij de registratie in het NDRIS voor 2002 aangegeven dat zij in het niet-destructief onderzoek (NDO) werkzaam zijn. Hiervan werken 769 personen bij bedrijven die bij het RIVM bekend staan als bedrijven met NDO als een hoofdactiviteit. Deze groep omvat dus ongeveer 80% van de als NDO-werknemer geregistreerden en is verantwoordelijk voor 86% van de collectieve dosis in de NDO-sector. Het NDRIS kent twee rubrieken voor NDO: 'NDO vaste opstelling' en 'NDO Mobiele opstelling'. De groep die werkt met vaste opstellingen is niet alleen beduidend kleiner maar kent ook een aanmerkelijk geringere blootstelling.

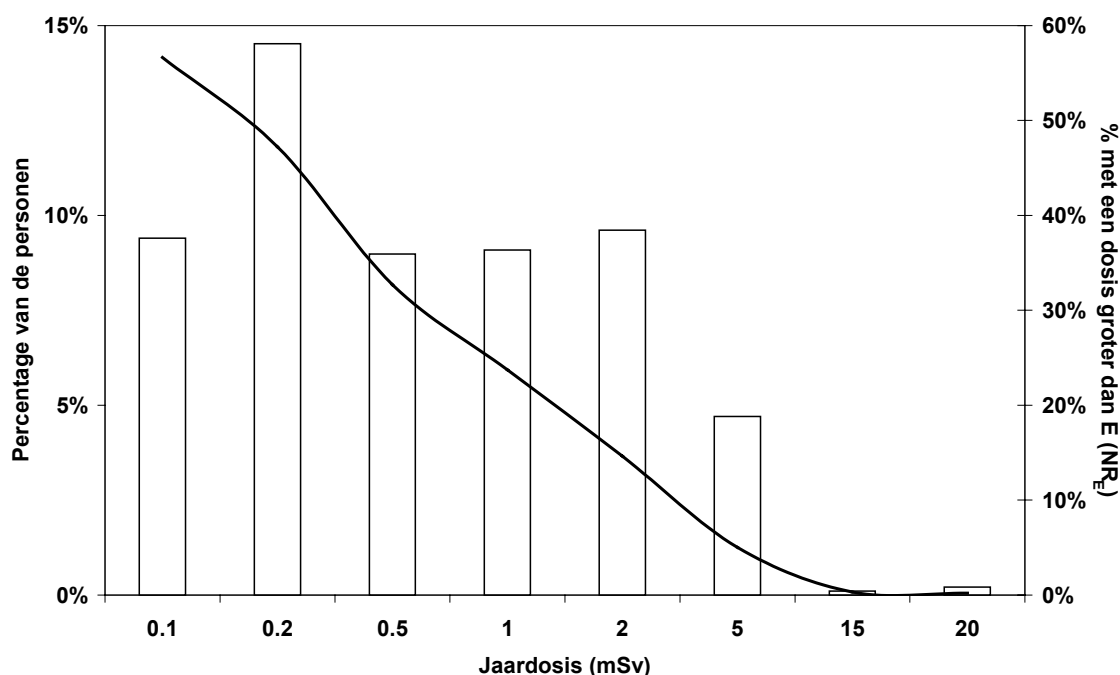
In Tabel 19 en Tabel 20 wordt een statistische analyse gegeven waarbij uitgegaan is van de totale groep waarvoor als soort werkzaamheden NDO is opgegeven. In Tabel 19 staan de aantallen personen waarvan de jaardosis in een dosisklasse valt en het totale aantal. In Tabel 20 staat de gemiddelde jaardosis  $E_{Avg}$  in mSv.

Tabel 19 Aantallen personen werkzaam in de categorie niet-destructief onderzoek (NDO) per dosisklasse in mSv en totaal. In de laatste 3 kolommen de dosisverdeling in percentage van de personen met een dosis hoger dan respectievelijk 1,6 en 20 mSv ( $NR_E$ ).

Dosis Jaar	0,0-1,0	1,0-6,0	6,0-20,0	>20 mSv	Totaal	>1,0	>6,0	>20,0 mSv
1993	692	268	26	2	<b>988</b>	30,0	2,84	0,20
1994	716	270	55	2	<b>1043</b>	31,4	5,47	0,19
1995	764	298	47	2	<b>1111</b>	31,2	4,41	0,18
1996	815	322	68	2	<b>1207</b>	32,5	5,80	0,17
1997	771	255	31	2	<b>1059</b>	27,2	3,12	0,19
1998	779	236	27	2	<b>1044</b>	25,4	2,78	0,19
1999	775	210	22	2	<b>1009</b>	23,2	2,38	0,20
2000	773	187	18	1	<b>979</b>	21,0	1,94	0,10
2001	737	191	23	3	<b>954</b>	22,7	2,73	0,32
2002	730	198	27	2	<b>957</b>	23,7	3,03	0,21

Tabel 20 De collectieve dosis in mensSv per dosisklasse en totaal (kolommen 1 tot en met 6). De gemiddelde jaardosis in mSv (kolom 7) en de collectieve dosisverdeling in percentage van de dosis afkomstig van personen met een dosis hoger dan respectievelijk 1, 6 en 20 mSv ( $SR_E$ ) werkzaam in de categorie niet-destructief onderzoek (NDO) (laatste 3 kolommen).

Dosis Jaar	0,0-1,0	1,0-6,0	6,0-20,0	>20 mSv	Totaal	Gemiddeld (mSv)	>1,0	>6,0	>20,0 mSv
1993	0,10	0,72	0,25	0,05	<b>1,12</b>	1,14	90,8	26,9	4,82
1994	0,10	0,77	0,48	0,05	<b>1,40</b>	1,34	92,6	37,8	3,51
1995	0,11	0,85	0,38	0,08	<b>1,43</b>	1,28	92,4	32,6	5,74
1996	0,12	0,92	0,56	0,14	<b>1,74</b>	1,44	93,0	40,0	7,86
1997	0,10	0,70	0,23	0,16	<b>1,20</b>	1,14	91,5	33,0	13,69
1998	0,12	0,65	0,20	0,07	<b>1,04</b>	1,00	88,8	26,4	6,96
1999	0,10	0,56	0,15	0,06	<b>0,87</b>	0,86	88,2	24,1	6,89
2000	0,12	0,52	0,16	0,07	<b>0,87</b>	0,89	86,2	26,7	8,39
2001	0,14	0,52	0,20	0,13	<b>0,99</b>	1,03	85,8	33,2	12,68
2002	0,13	0,53	0,24	0,06	<b>0,96</b>	1,00	86,1	31,0	6,27



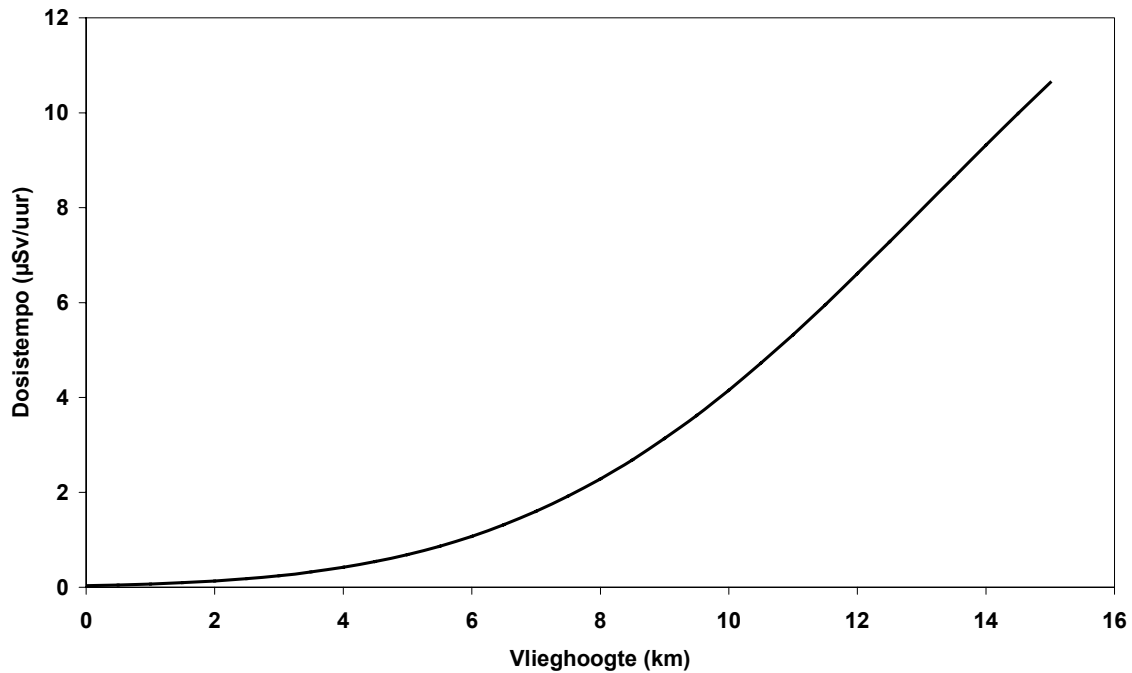
*Figuur 34 Frequentie verdeling van de jaardosis van personen werkzaam in de categorie niet-destructief onderzoek (NDO) (staven en linker as) en het percentage personen in deze groep met een jaardosis groter dan E mSv (NR<sub>E</sub>) (curve en rechter as).*

Een aparte groep binnen het NDO met mobiele opstellingen is het toepassen van neutronenbronnen in de wegenbouw. Deze groep is 200 personen groot doch ontvangt slechts een zeer kleine collectieve dosis van ongeveer 0,03 mensSv. Deze groep is niet meegenomen in bovenstaande analyse.

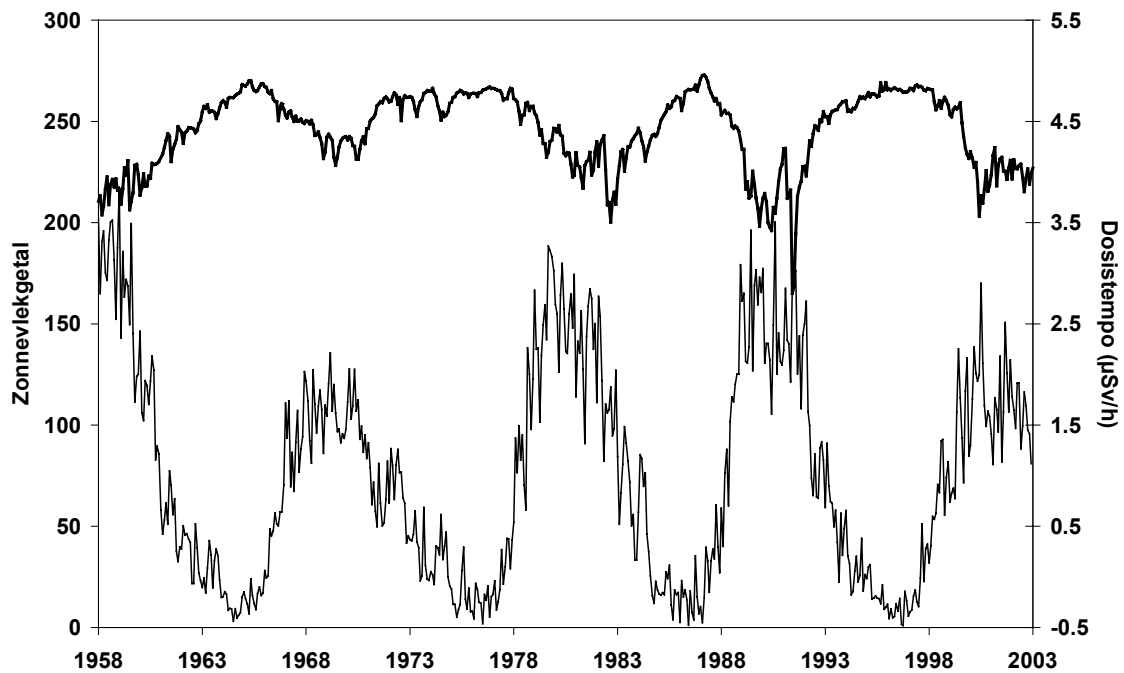
## 7.7 Vliegtuigbemanningen

Bij de implementatie van de Europese Richtlijn van 13 mei 1996 [1] in de Nederlandse regelgeving [5, 97] is vastgelegd dat de stralingsbelasting van vliegtuigbemanningen moet worden vastgesteld en in het NDRIS geregistreerd. In samenwerking met de luchtvaartmaatschappijen en het Ministerie voor SZW is hiertoe door NRG een systeem opgezet dat met behulp van het door de USA Federal Aviation Administration (Civil Aerospace Medical Institute) ondersteunde computer programma CARI, gegevens betreffende gemaakte vluchten en de indeling van bemanningen de persoonsdoses berekent [104, 105]. Dit systeem is operationeel sinds januari 2002.

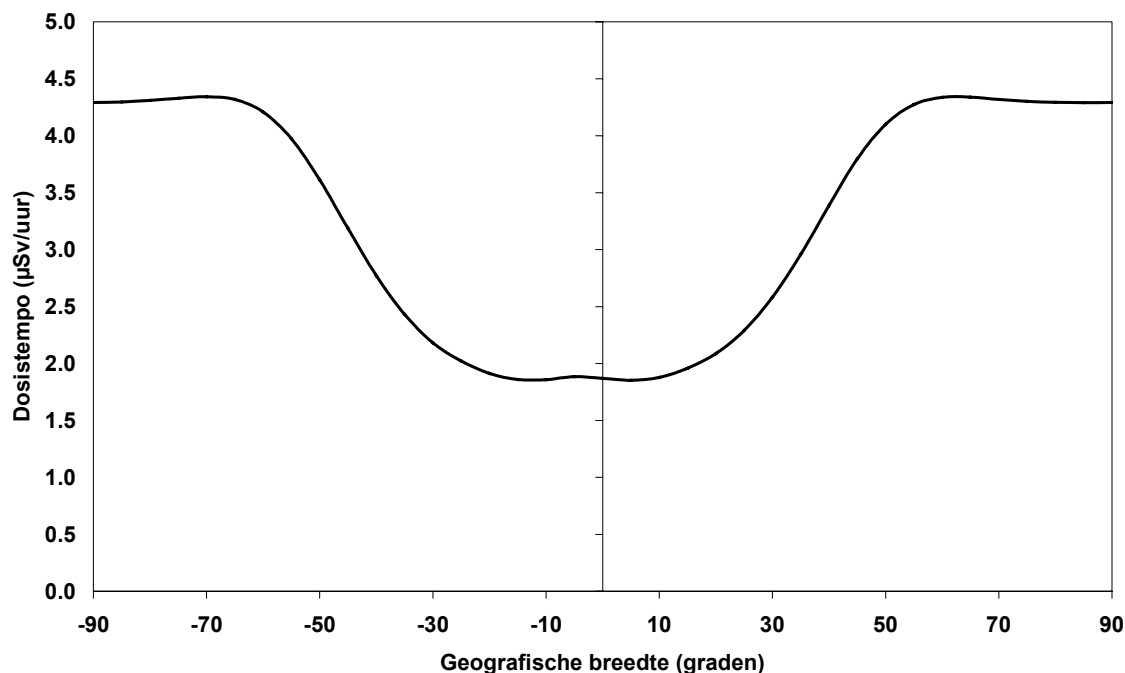
Het dosistempo van de kosmische straling waaraan personen in vliegtuigen worden blootgesteld neemt sterk toe met toenemende vlieghoogte, is aan de polen ruim twee maal zo hoog als aan de evenaar en verandert als gevolg van de veranderende zonneactiviteit. Respectievelijk Figuur 35, Figuur 36 en Figuur 37 geven een beeld van het effect van de drie genoemde invloedsparameters.



Figuur 35 Het dosistempo in  $\mu\text{Sv}/\text{uur}$  als functie van de vlieghoogte in km op  $52^\circ$  noorderbreedte en  $5^\circ$  oosterlengte (Nederland) voor januari 2002.



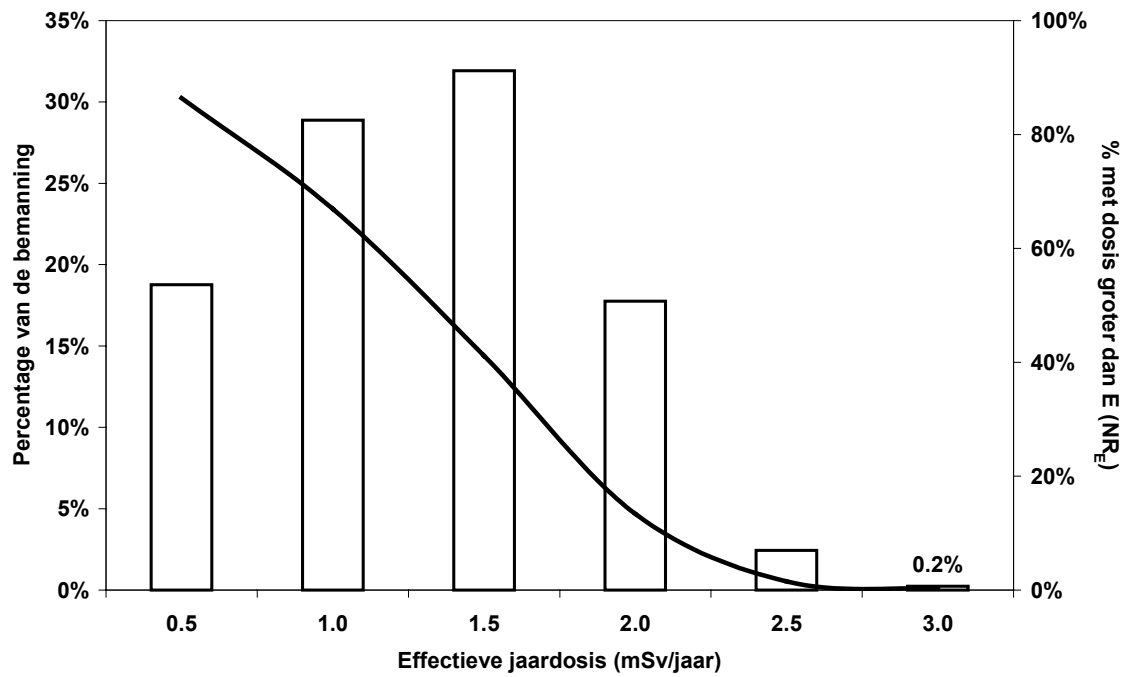
Figuur 36 Het dosistempo in  $\mu\text{Sv}/\text{uur}$  op 10 km hoogte en  $52^\circ$  noorderbreedte en  $4^\circ$  oosterlengte (Nederland) (bovenste curve en rechter as) samen met de zonneactiviteit in termen van zonnevlekgetal (onderste curve en linker as) gedurende de laatste paar zonnecycli



*Figuur 37 Het dosistempo in µSv/uur als functie van de geografische breedte langs de nul meridiaan op 10 km hoogte voor januari 2002.*

Hoewel een continue verandering van de stralingsspectra niet verwaarloosd kan worden, wordt de afname van het dosistempo met afnemende hoogte vooral door de toenemende afscherming door de aardatmosfeer veroorzaakt. Vooral de horizontale component van het aardmagnetisch veld heeft een sterk afschermende werking op de voornamelijk uit protonen bestaande kosmische straling. Aangezien deze horizontale component bij de polen bijna nul is en bij de evenaar maximaal, is het dosistempo bij de evenaar beduidend lager dan aan de polen. De zonneactiviteit, die kan worden uitgedrukt in het op het aantal waargenomen zonnevlekken gebaseerde zonnevlekgetal (sun spot number), verandert volgens een cyclisch patroon met een periodiciteit van ongeveer 11 jaar. Bij verhoogde zonneactiviteit wordt een grotere stroom geladen deeltjes door de zon uitgestoten. Deze stroom geladen deeltjes veroorzaakt een magneetveld dat een afschermende werking heeft op de kosmische straling. Omdat de energie van de door de zon uitgestoten deeltjes, voornamelijk protonen, in het algemeen te gering is om het aardmagnetisch veld binnen te dringen, is het dosistempo op vlieghoogten daardoor ongeveer omgekeerd evenredig met de zonneactiviteit.

Het dosistempo is sterk van de drie genoemde invloedsparameters afhankelijk maar duidelijk is dat dit op in de burgerluchtvaart gebruikelijke vlieghoogtes al gauw enkele µSv/uur zal bedragen. Dit levert een gemiddelde jaardosis voor vliegtuigbemanningen op van ongeveer 1,5 mSv en een collectieve dosis in 2002 van 17 mensSv. Hiermee levert deze beroepsgroep de grootste bijdrage aan de collectieve dosis van beroepsmatig blootgestelde personen in Nederland. Figuur 38 toont de dosisverdeling van de Nederlandse vliegtuigbemanningen voor het jaar 2002. Af te lezen valt dat 2/3 van de bemanningsleden een jaardosis ontvangt van meer dan 1 mSv maar ook dat het aantal bemanningsleden met een dosis groter dan 3 mSv klein is. In 2002 werd een limiet van 6 mSv niet overschreden. Bij het beschouwen van deze gegevens moet worden bedacht dat de luchtvaart betrekkelijk veel deeltijdwerkers telt wat zorgt voor een betrekkelijk groot aantal personen waarvoor de jaardosis lager uitvalt dan kon worden verwacht op grond van het dosistempo tijdens blootstelling.



*Figuur 38 Verdeling van de effectieve jaardosis in mSv van vliegtuigbemanningen voor 2002. De staven geven samen met de linker verticale as de dosisverdeling. De curve geeft het percentage bemanningsleden dat een dosis van E mSv overschrijdt ( $NR_E$ ).*

## 8 Discussie, conclusie en aanbevelingen

Bij een breed scala van activiteiten in industrie, ziekenhuizen en laboratoria zijn radioactieve stoffen en ioniserende stralingsbronnen in gebruik en kunnen radioactieve stoffen en straling vrijkomen. Dit kan leiden tot onbedoelde en ongewenste blootstelling aan ioniserende straling voor werknemers en de bevolking. Het Nederlandse beleid op het gebied van de stralingshygiëne is gericht op het beperken van de door menselijk handelen toegevoegde stralingsbelasting en de ermee samenhangende risico's. Daartoe is, mede in het kader van Europese richtlijnen, per 1 maart 2002 het nieuwe Besluit stralingsbescherming (Bs) van kracht geworden, als opvolger van het Besluit stralenbescherming Kernenergiewet (BsK). Vanuit de Europese Unie geldt voorts de verplichting dat de bevoegde autoriteiten van elke lidstaat erop toe zien dat de doses ten gevolge van handelingen voor leden van de bevolking en werknemers zo realistisch mogelijk worden bepaald [1].

Om te voldoen aan de Europese verplichting en om de effecten van het nieuwe Besluit stralingsbescherming op de langere termijn te kunnen evalueren, is het nodig de door menselijk handelen toegevoegde stralingsdosis in kaart te brengen en te evalueren. Daartoe is het RIVM gevraagd om een evaluatiemethodiek op te zetten waarmee op termijn de gevolgen van het Nederlandse stralingshygiënisch beleid nagegaan kunnen worden. In dat kader zet RIVM het informatiesysteem voor beleidsmonitoring straling op waarmee overzichten zoals dit rapport kunnen worden opgesteld. De verzamelde en geïnterpreteerde gegevens bieden tevens een basis voor het verder ontwikkelen, onderbouwen en actualiseren van een milieubeleidsindicator straling [106]. De milieubeleidsindicator straling moet ten behoeve van jaarlijkse rapportages, zoals het Milieuprogramma en Milieubalans, inzicht geven in de ontwikkeling van de stralingsbelasting in relatie tot het gevoerde beleid.

De ondernemers die verantwoordelijk zijn voor de stralingsbelasting zijn ingedeeld in de categorieën: nucleaire installaties, procesindustrie, medische instellingen en bedrijven die niet-destructief onderzoek uitvoeren (bijvoorbeeld controleren van laswerk). Daarnaast zijn van de overige bronnen van straling de gebruiksartikelen kort besproken. De stralingsbelasting voor leden van de bevolking door radon in woningen en bouwmaterialen is niet behandeld omdat daarvoor afzonderlijk beleid wordt ontwikkeld. Er is globaal aangegeven hoe het beleid is geweest en er is een overzicht opgenomen van de vergunningverlening.

### *Conclusies*

De stand van zaken rond de vergunningendatabank van Sociale Zaken en Werkgelegenheid is d.d. 28 augustus 2003 geëvalueerd. Het zij hierbij aangetekend dat de vergunningen van nucleaire installaties hierin niet zijn opgenomen. Van de huidige vigerende vergunningen zijn er de afgelopen jaren zo'n 150 à 200 vergunningen per jaar afgegeven. Het is opvallend dat meer dan 300 vigerende vergunningen uit de zeventiger jaren van de vorige eeuw stammen, ondanks de gewijzigde regelgeving sinds die tijd. Sedert 1996 wordt er bij het vaststellen van de vergunde lozingen meer en meer rekening gehouden met de radiotoxiciteit van de geloosde stoffen. Dit is tevens opgenomen in het Besluit stralingsbescherming. Daartoe worden radiotoxiciteitsequivalenten (Re's) toegepast om de vergunde hoeveelheden voor lozing in lucht en water te duiden. Als tussenstand voor het jaar 2003 (28-8-2003) was het aantal (vigerende) verleende vergunningen waarin de lozingen in Re's zijn vergund toegenomen tot een dertigtal tegenover een tweetal vergunningen in 1996. Daarbij wordt aangetekend dat de Re's niet voor alle vergunningen relevant zijn.

Gelet op de maatschappelijke discussie over nucleaire installaties is het te begrijpen dat het beleid en de vergunningverlening in het verleden sterk gericht zijn geweest op het terugdringen van lozingen door de nucleaire installaties. Ook het internationale OSPAR-verdrag draagt met de voorwaarden van *best available techniques* en *best environmental practices* bij aan beperking van de emissies [16].

Het is aannemelijk dat de maatschappelijke en beleidsmatige aandacht heeft bijgedragen aan het feit dat de (reguliere) lozingen van de nucleaire installaties gewoonlijk niet meer dan 10 procent van de lozingslimieten bedragen. De stralingsbelasting ten gevolge van lozingen in lucht en water bedraagt minder dan 1  $\mu\text{Sv}$  op jaarbasis. Daarnaast bedraagt de jaarlijkse stralingsbelasting door externe straling van de nucleaire installaties enkele  $\mu\text{Sv}$ . Opgemerkt moet worden dat analyses met betrekking tot afval en ongevalsscenario's buiten het onderwerp van deze rapportage vallen.

In de jaren tachtig is beleidsmatige aandacht ontstaan voor ondernemingen in de procesindustrie die door de aard van hun werkzaamheden 'natuurlijke' radioactieve stoffen loosden. Met het invoeren van het Besluit stralingsbescherming zijn dergelijke activiteiten nu voor het eerst in de wet opgenomen.

De lozingen naar lucht van de geselecteerde ondernemingen binnen de procesindustrie bedragen voor zover bekend (Corus, ThermPhos) enkele tientallen procenten van de lozingslimieten en nemen de laatste jaren licht af. Door optimalisatie van de reiniging van de lozingen naar water bij deze bedrijven zijn deze lozingen tot vrijwel nul gereduceerd. Helaas zijn van niet alle geselecteerde ondernemingen recente lozingsgegevens bekend (Eggerding). Recente trends in lozingen zijn voor deze ondernemingen dan ook niet vast te stellen. In het algemeen blijkt de stralingsbelasting (MID) ten gevolge van de lozingen in lucht en water tot enkele tientallen  $\mu\text{Sv}$  te kunnen bedragen. De externe straling varieert sterk per bedrijf, maar er is voor één onderneming (Eggerding) op basis van oude gegevens vastgesteld dat de dosis boven de locatielimiet uitkomt.

Door de invoering van het 'één vergunning per locatie-beleid' is het overzicht van de vergunde apparatuur en radiofarmaca in de medische instellingen sterk verbeterd. Echter, de gegevens van de werkelijke lozingen van de medische instellingen in lucht en water zijn te beperkt om die voor de gehele categorie te vergelijken met de vergunde limieten. De stralingsbelasting door de lozingen in lucht en water van de medische instellingen blijkt maximaal 0,1  $\mu\text{Sv}$  te zijn, waarbij de stralingsbelasting wordt gedomineerd door de luchtlozingen. De stralingsbelasting door externe straling varieert sterk per instelling en kan tot enkele tientallen procenten van de vergunde dosislimiet (tientallen  $\mu\text{Sv}$ ) bedragen. Om aan de vergunde dosis te kunnen voldoen, zijn door een aantal instellingen maatregelen getroffen zoals een verbetering van de afscherming, aanpassing van de terreingrens en beperking van de toegang. Er is een toename van de capaciteit van de radiotherapie, welke in de komende jaren nog verder zal toenemen. Daarnaast is het aantal ziekenhuizen dat nucleair geneeskundige behandelingen uitvoert toegenomen en er is een groei te zien in PET-faciliteiten.

De NDO-bedrijven maken gebruik van externe straling voor hun materiaalonderzoeken en lozen geen radioactiviteit in lucht en water. In dit rapport is vooral de stralingsbelasting aan de terreingrens door NDO-handelingen nader onderzocht. Het blijkt dat de blootstellingsomstandigheden per type handeling fors kunnen verschillen. Zo maakt men gebruik van zeer gevarieerde apparatuur met ingekapselde bronnen, röntgentoestellen,



versnellers en neutronenbronnen afhankelijk van de te onderzoeken materialen. Het NDO-onderzoek vindt plaats op zowel de locatie van het eigen bedrijf als op dat van anderen, in bunkers en in het vrije veld waar eventuele additionele afscherming geplaatst kan worden. Ondanks het veelzijdige karakter is er in dit rapport een dosisschatting op 25 m van de stralingsbron geleverd ter schatting van de dosis aan de terreingrens voor kleine locaties (< 200 m x 200 m). De scenario's uitgaande van een röntgentoestel zijn nader toegelicht in paragraaf 6.5. Voor de MID zijn doses geschat van 0,1  $\mu\text{Sv}$ , 0,39  $\mu\text{Sv}$  en 0,76  $\mu\text{Sv}$  per opname voor respectievelijk een 100, 200 en 300 kVp toestel. Deze waarden op basis van conservatieve dosisschattingen zijn een factor 3 à 25 hoger dan de waarde van 0,03  $\mu\text{Sv}$  per opname dat als uitgangspunt is gehanteerd bij 3300 opnamen per jaar in het Bs.

Wanneer het vermoeden bestaat dat het aantal van 3300 opnamen per locatie wordt overschreden, dan dient men een berekening te maken van de actuele individuele dosis (AID) met behulp van een meldingsformulier. Ook hier wordt de MID als basis van de AID-bepaling gehanteerd. In dit geval is het mogelijk om extra correctiefactoren toe te passen zoals de ABC-factor en een afschermingsfactor voor de toegepaste afscherming. Als de dosisschatting conform Tabel 16 zou worden toegepast voor die gevallen waar een meldingsformulier moet worden ingevuld, waarbij ook de ABC-factor en eventuele afschermingsfactoren worden gehanteerd, dan is aantoonbaar dat de locatielimiet voor diverse locaties kan worden overschreden.

De meeste gebruiksartikelen veroorzaken een individuele dosis lager dan 10  $\mu\text{Sv}$  op jaarbasis [42, 43]. Inmiddels is er beleid ontwikkeld dat de verkoop van ionisatierookmelders voor huishoudelijk gebruik per 1 januari 2006 verbiedt, zodat de collectieve dosis wordt beperkt.

Tot slot, wanneer zowel de radioactieve lozingen in lucht als de individuele en collectieve stralingsbelasting van de verschillende categorieën met elkaar worden vergeleken, dan valt op dat de procesindustrie de andere categorieën overstijgt. Opvallend is wel dat de geschatte lozingen naar water in  $\text{Re}_{\text{ing}}$  door met  $^{131}\text{I}$  behandelde patiënten sinds 2000 het hoogst zijn in vergelijking tot die van de andere categorieën, echter het dosisgevolg hiervan is beperkt (< 0,1  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ ).

### *Werknemers*

Het aantal blootgestelde werknemers in NDRIS lijkt zich in de laatste jaren te stabiliseren, als de luchtvaart niet wordt meegerekend. De collectieve dosis vertoonde in de geanalyseerde periode van de afgelopen 10 jaar aanvankelijk een licht dalende trend. De collectieve dosis lijkt na 2001 weer licht toe te nemen. Deze stijging, even als vergelijkbare veranderingen in het verleden, moet echter wel worden gezien in het licht van de onzekerheden van wellicht 0,1 of 0,2 mensSv zoals die zijn bediscussieerd in paragraaf 7.4. Het is duidelijk dat de luchtvaartsector de grootste bijdrage levert aan de collectieve dosis. De sectoren met een relatief hoog percentage van de personen met een jaardosis boven de 1 mSv zijn: interventie röntgenologie, nucleaire toepassingen, niet-destructief onderzoek met mobiele opstellingen, isotopen productie en luchtvaart

### *Aanbevelingen*

Om praktische redenen is nog niet elke categorie tot in alle detail uitgewerkt. Het is de bedoeling om in de jaarrapporten die de komende jaren zullen verschijnen, uiteindelijk alle categorieën tot in vergelijkbaar detail te behandelen. Eens in de vier à vijf jaar volgt er een

speciale, meer complete, versie van het jaarrapport, dat ook naar de Tweede Kamer kan worden verzonden. Hieronder worden enkele suggesties gedaan voor een verdere uitwerking in de komende jaren:

- procesindustrie
  - de vergunningen en ontwikkeling in de stralingsbelasting als gevolg van lozingen in lucht en water door de cementindustrie en de overslag van minerale zanden.
  - de schatting van de dosis als gevolg van lozingen in lucht op basis van metingen en op basis van ketenmodellering (vooral voor de fosforproductie waarvoor grote verschillen bestaan tussen beide).
- medische instellingen
  - om een beter beeld te krijgen van de medische instellingen zou het aan te bevelen zijn om enkele instellingen van verschillend type, zoals een algemeen en een academisch ziekenhuis en een radiotherapeutische instelling, uitgebreid te analyseren. In het kader van de gegevensverzameling lijkt het daarnaast van belang om de uitbreiding van de radiotherapeutische en PET-faciliteiten te volgen.
  - de dosisgevolgen voor leden van de bevolking die worden blootgesteld aan met  $^{131}\text{I}$  behandelde patiënten.
- NDO-bedrijven
  - een minder conservatieve schatting van de stralingsbelasting zou kunnen worden gerealiseerd aan de hand van meer geavanceerde (Monte Carlo) rekenmethoden, of met behulp van metingen aan standaardsituaties;
- overige stralingsbronnen
  - stralingsbelasting door radon in huizen en externe straling afkomstig van bouwmaterialen in samenhang met de stralingsprestatienorm.
  - effecten van het beleid voor gebruiksartikelen.
  - stralingbelasting die samenhangt met vervoer van radioactieve bronnen.

## Referenties

- 1 Richtlijn 96/29/Euratom van de Raad van 13 mei 1996 tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming van de gezondheid der bevolking en der werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L-159, 29 juni 1996.
- 2 Eleveld H, RO Blaauboer, PC Görts, MPM Janssen, PJM Kwakman, MJM Pruppers, "Emissies en doses door bronnen van ioniserende straling in Nederland", Jaarrapport 2001 "Beleidsmonitoring straling", RIVM rapport 610100001/2002, Bilthoven, 2002.
- 3 Regeling van de Minister van VROM, nr. SAS/20012001144740, houdende analyse van de schadelijke gevolgen van ioniserende straling voor het milieu (Regeling analyse gevolgen ioniserende straling voor het milieu). Staatscourant 2002, nr. 22, 31 januari 2002.
- 4 KeW. Kernenergiewet. Staatsblad 1963, 82.
- 5 Bs. Besluit van 16 juli 2001, houdende vaststelling van het Besluit stralingsbescherming. Staatscourant 2002, 49.
- 6 Bkse. Besluit van 4 september 1969, Staatsblad 403, tot uitvoering van de artikelen 16, 17, 19, eerste lid, en 21 van de Kernenergiewet (Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen), zoals laatstelijk gewijzigd en/of aangevuld op 26 januari 1995, Staatsblad 92.
- 7 Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen en radioactieve stoffen. Besluit van 4 september 1969, Staatsblad 405, ter uitvoering van de artikelen 16, 19, eerste lid, 21, 29, 30, tweede lid, 31 en 32 van de Kernenergiewet, zoals laatstelijk gewijzigd en/of aangevuld op 8 november 2001, Staatsblad 2001, 516.
- 8 BSK. Besluit van 10 september 1986, tot uitvoering van de artikelen 28 tot en met 32 en toepassing van artikel 34 van de Kernenergiewet (Besluit Stralenbescherming Kernenergiewet). Staatsblad 1986, 465, zoals laatstelijk gewijzigd en/of aangevuld op 8 februari 2001, Staatsblad 2001, 17.
- 9 Richtlijn 97/43/Euratom van de Raad van 30 juni 1997 betreffende de bescherming van personen tegen de gevaren van ioniserende straling in verband met medische blootstelling en tot intrekking van richtlijn 84/466/Euratom. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L-180, 1997.
- 10 Regeling van 18 december 2002, nr. SAS/2001144917, inzake bekendmaking van al dan niet gerechtvaardigde handelingen en werkzaamheden (Regeling bekendmaking rechtvaardiging gebruik van ioniserende straling). Staatscourant 2002, nr.248, 18 december 2002.
- 11 BsK96. Staatsblad 1996, 44: 1-22. Besluit van 17 januari 1996, houdende wijziging van het Besluit Stralenbescherming Kernenergiewet.
- 12 IAEA safety guide safety series. No. 50-SG-O11. Operational Management of Radioactive Effluents and Wastes Arising in Nuclear Power Plants. 1986; Advisory Group Series of IAEA, 75-INSAG-3, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants. March 1988; Advisory Group Series of IAEA, 75-INSAG-4, Safety Culture. February 1991.
- 13 Nucleaire Veiligheidsregels (NVR's). Staatscourant 1989, nr. 169, 27 november 1989 en Staatscourant 1991, nr. 146, 31 juli 1991.
- 14 In februari 1999 zijn de IAEA-Guides 50-SG-D1 tot en met 50-SG-D15 met betrekking tot ontwerp geamendeerd en vastgesteld als NVR 2.1.1 tot en met 2.1.15. Tevens is de richtlijn "Voorschrift Bedieningspersoneel van Kerncentrales" als NVR 3.2.1 vastgesteld.
- 15 KTA 1503.1, Überwachung der Ableitung gasförmiger und aerosolgebundener radioaktiver Stoffe. Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb. KTA, Köln, 1993; KTA 1504, Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser. KTA, Köln, 1994., KTA 1508, Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre, Köln, 1988.
- 16 2000 Report on Information about, and Assessment of, the Application of BAT in Nuclear Facilities. Report on the Implementation of PARCOM Recommendation 91/4. Presented by the Netherlands during the Meeting of the Working Group on Radioactive Substances (RAD2000) in Luxembourg, 18-21 January 2000 (RAD 00/4/5-E).

- 17 Besluit van 21 juni 1999, houdende overdracht van de zorg voor de Kernenergiewet. Staatsblad 1999, 275.
- 18 Milieuprogramma 2001-2004. Aangeboden aan de Tweede Kamer op 19 september 2000. Tweede Kamer, vergaderjaar 2000-2001, 27 404, nrs. 1-2. Den Haag, SDU, 2000.
- 19 Nota Medische stralingstoepassingen. Handelingen Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21439, nr. 2. Den Haag, SDU, 1990.
- 20 Richtlijn radionuclidentherapie. VROM-publicatie 95295/h/2-96 14331/175, 1996.
- 21 Richtlijn radionuclidenlaboratoria. VROM-publicatie 94-02, Den Haag, 1994.
- 22 Advies Stralingsbescherming patiënten. Nationale Raad voor de Volksgezondheid. Publicatie 13/88. Zoetermeer, 1988.
- 23 Advies inzake Richtlijnen voor stralingsbeveiliging in ziekeninrichtingen en poliklinieken. Publicatie nr. 1985/3, Gezondheidsraad, Den Haag, 1985.
- 24 Verantwoordelijkheidsstructuur stralingsbescherming. Staatstoezicht op de Volksgezondheid. GHI bulletin, Rijswijk, 1993.
- 25 Richtsnoeren voor verwijzing naar beeldvormend onderzoek. Europese Commissie, Radiation Protection 118, 2001. Luxemburg.
- 26 Guidance on diagnostic reference levels (DRLs) for medical exposures. European Commission, Radiation Protection 109, 1999. Luxembourg.
- 27 Blokland JAK, KS Wiarda (red). Aanbevelingen Nucleaire Geneeskunde. Commissie Kwaliteitsbevordering van de NVNG, Eburon Delft, 2000
- 28 Euratom-richtlijn externe werknemers 90/641/Euratom van 4 dec 1990, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L-349, 1990. Luxemburg.
- 29 Staatsblad 1999, 19. Besluit van 30 december 1998, houdende wijziging van het Besluit stralenbescherming Kernenergiewet (wijziging administratieplicht).
- 30 Chapitre IV, Titre IV, Chapitre Ier, Aide-mémoire juridique TJ 17, INRS, Juli 2001
- 31 HSE – Health Directorate – Health and Safety Executive, “Radiation protection adviser”, Issue 9 May 1996.
- 32 Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter och allmänna råd om radiografering; beslutade den 26 maj 2000 (SSI FS 2000:8): The Swedish Radiation Protection Institute's Regulations and General Advice on Radiography; issued on May 26, 2000.
- 33 Dijk JWE van, Tien jaar Nationaal Dosisregistratie en Informatiesysteem NDRIS. NVS-publicatie nr. 30, 2000.
- 34 Brugmans MJP en J Lembrechts. Informatiesysteem Medische Stralingstoepassingen: een pilotstudie. RIVM rapport 610059008, Bilthoven, 2001.
- 35 Timmermans CWM en AW Van Weers. Inventarisatie van werkzaamheden met blootstelling aan natuurlijke stralingsbronnen, SZW werkdocument 121, 1999.
- 36 Timmermans CWM en AW Van Weers. Werkzaamheden met blootstelling aan natuurlijke stralingsbronnen; actualisering van de inventarisatie van 1999, SZW werkdocument 200.
- 37 Planningsbesluit radiotherapie 2000. Staatscourant 26 september 2000, 186-21.
- 38 Zuur C, Advies Werkgroep I betreffende mobiele bronnen, VROM, Den Haag, 15 oktober 1996.
- 39 Veltkamp AC, WFAR Verbakel, FA Hartog, G Jonkers, "Industriële toepassingen van radioactieve stoffen in de vorm van open en gesloten bronnen", K5041/99.31313/P. 3 februari 2000 Petten.
- 40 Eleveld H, "Ionising radiation exposure in the Netherlands", RIVM rapport 861020002/2003, Bilthoven.
- 41 Radiation Protection 68. Study on consumer products containing radioactive substances in the EU Member States. European Commission. Report EUR 15846. Eds. Schmitt-Hannig A, Drenkard S, Wheatley J, 1995.
- 42 Eleveld H, MJM Pruppers, "Schattingen van de individuele en collectieve doses als gevolg van consumentenproducten waarin radioactieve stoffen zijn verwerkt", RIVM rapport 610310005, Bilthoven, 2000.

- 43 Janssen MPM, Radioactiviteit in Nederlandse gebruiksartikelen, RIVM rapport 610230002, Bilthoven, 2002.
- 44 Regeling administratieve en organisatorische maatregelen stralingsbescherming van de Directie Arbeidsveiligheid en Gezondheid nr. A&G/W&B/2001/73923 d.d. 28 februari 2002, Staatscourant 45, 5 maart 2002.
- 45 Handleiding beleidsstandpunten stralingshygiëne t.b.v. vergunningverlening. Deel I, reguliere toepassingen, VROM/SVS, versie 15 december 1993.
- 46 ORS. Omgaan met risico's van straling; normstelling ioniserende straling voor arbeid en milieu. Handelingen Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21483, nrs. 1-2. Den Haag, SDU, 1990.
- 47 ORS+. Normstelling ioniserende straling voor arbeid en milieu. Handelingen Tweede Kamer, vergaderjaar 1992-1993, 21483, nr. 15. Den Haag, SDU, 1993.
- 48 Hoogovens groep B.V. Vergunning DGA/G/SHV No. 92/2697S, 1 oktober 1992.
- 49 Hoogovens Staal B.V., Besluit stralenbescherming Kernenergiewet; wijziging vergunning t.b.v. Hoogovens Staal B.V. te IJmuiden, AI/CK/VCR/KEW nr. 97/1911 S, 13 november 1997.
- 50 Hoogovens Staal B.V., Besluit stralenbescherming Kernenergiewet; wijziging vergunning t.b.v. Hoogovens Staal B.V. te IJmuiden, AI/CK/VCR/KEW nr. 97/2493 S, 13 januari 1998.
- 51 Hoogovens Staal B.V., Besluit stralenbescherming Kernenergiewet; wijziging vergunning t.b.v. Hoogovens Staal B.V. te IJmuiden, AI/CK/VCR/KEW nr. 98/1434 S, 21 augustus 1998.
- 52 Hoogovens Staal B.V., Besluit stralenbescherming Kernenergiewet; wijziging vergunning t.b.v. Hoogovens Staal B.V. te IJmuiden, AI/CK/VCR/KEW nr. 96/3038 S, 13 mei 1997.
- 53 Hoogovens Staal B.V., Besluit stralenbescherming Kernenergiewet; complexvergunning, AI/CK/VCR/KEW nr. 98/469 S, 7 mei 1998.
- 54 Expeditie- en Veembedrijf Eggerding en Co. B.V., Besluit stralenbescherming Kernenergiewet; vergunning t.b.v. verwerking van industriemineralen en industriële halffabrikaten, ISZW/CK/U/KEW nr.94/1499S, 26 mei 1994.
- 55 Van der Last B, Jaarrapport Eggerding & Co 1994, KEMA Nucleair, 1995.
- 56 Pruppers MJM, RO Blaauboer, YS Hiemstra, MPM Janssen, AJCM Matthijsen, RMJ Penners. Pilotstudie naar een beleidsmonitoringsysteem voor straling. RIVM rapport 610320001, Bilthoven, 2000.
- 57 Handhaving Milieuwetten. Landelijk handhavingsproject. Inspectieprogramma Stralingsbescherming Kernenergiewet 1991-1992. VROM 1993/71, 1993.
- 58 Camps JAJ, WJM vd Broek, MJPG v Kroonenburgh, P v Urk (red), Leerboek Nucleaire Geneeskunde. Elsevier gezondheidszorg Maarssen, 2003.
- 59 Beekhuis H, JJ Broerse, RAMJ Claessens, H Delhez, JL Noteboom, A v Rotterdam, J Zoetelief. VROM 1992/55. Stralingsbelasting van leden van de bevolking als gevolg van medische toepassing van radiofarmaca: consequenties voor ontslagcriteria. 1992.
- 60 Modelvergunningen Kernenergiewet 14 V, Verzamelvergunning voor niet-destructief onderzoek, SZW, Den Haag, juli 2000.
- 61 Jonkers RA, Industrie (Gesloten Bronnen): Application of Encapsulated Sources in Industry: in "The ICRP Recommendations for the '90s", 4 3n 5 Oktober 1990, Arnhem, NVS-Publicatie nr. 16, 83-88, 1991.
- 62 Kal HB en J Zoetelief, NDO en Alara, 1999, TNO-CSD Rapport nr. RD-I/9812-395.
- 63 RTD, JAARVERSLAG 2001 Veiligheid en Milieu, 11 maart 2002.
- 64 Shilton M.G., Advanced Second Generation Selenium-75 Gamma Radiography Sources, 15th World Conference on Nondestructive Testing (WCNDT), Rome, Oct. 2000. Revised and amended August 2003.
- 65 Van Sonsbeek R., "Radiation Protection in Industrial Radiography: Training and Inspection", 5th European ALARA Network Workshop on "Industrial Radiography: Improvements in Radiation Protection" - Rome, Italy October 2001.
- 66 Lembrechts J, Straling in het binnenmilieu, bronnen en maatregelen, RIVM brochure, Bilthoven, 2002.

- 67 Van Hienen JFA, PM Roelofsen, AW van Weers en AD Poley. Gevolgen van lozingen bij normaal bedrijf van Nederlandse kerninstallaties. ECN rapport ECN-C- -90-015, Petten, 1990.
- 68 Hoechst Hogehil N.V., Besluit stralenbescherming Kernenergiewet; wijziging voorschriften t.b.v. vestiging te Vlissingen, I-SZW/CK/U/KEW nr. 94/3380S, 28 december 1994, Den Haag.
- 69 ThermPhos International B.V., Besluit stralenbescherming Kernenergiewet; ivm complexvergunning en intrekking vergunningen tbv opdeling Hoechst Holland NV, aan de nieuwe vergunninghouders, AI/CK/VCR/KEW nr. 1998/1538 S, 23 november 1998, Den Haag.
- 70 ThermPhos, Radiologische jaarrapportage 2000 en meetplan 2001, Vlissingen.
- 71 Erkens WHH, "Stralingsbelasting electro-thermische fosfor productie, deel 1: De inhalatiedosis voor operators", NVS nieuws 2003/1, 18-24, 2003.
- 72 Erkens WHH, PMJA Hermans, en CWM Timmermans, "Stralingsbelasting electro-thermische fosfor productie, deel 2: De inhalatiedosis in de wegebouw", NVS nieuws 2003/2, 10-13, 2003.
- 73 Leenhouts HP, P Stoop en ST van Tuinen, Non-nuclear industries in the Netherlands and radiological risks, RIVM rapport 610053003. Bilthoven, 1996.
- 74 ThermPhos, Radiologische jaarrapportage 2001 en meetplan 2002, Vlissingen.
- 75 Krijgsman JC. Conceptnotitie: Beperking van lucht- en waterzijdige emissies van radioactieve stoffen bij Hoogovens Staal, Hoogovens, IJmuiden, 1996.
- 76 Van der Graaf ER en RJ de Meijer. Analyse van de stralingsrisico's tengevolge van door Maalwerk Amsterdam BV in de lucht geloosde stoffen. Environmental Radioactivity Research and Consultancy Group rapport S43, Groningen, 1998.
- 77 Pruppers MJM, RO Blaauboer, Gevolgen van nieuwe vergunningsplichtige grenzen voor lozingen in lucht en water door radionuclidenlaboratoria, RIVM rapport 610053003/2002, Bilthoven, 2002.
- 78 Görts P, APPA van Lunenburg, RIVM briefrapport 410/02 LSO 18-12-2002, Bilthoven (beperkte verspreiding).
- 79 Hoogstraate H, "Risks in mobile industrial radiography", 5th European ALARA Network Workshop on "Industrial Radiography: Improvements in Radiation Protection" - Rome, Italy October 2001.
- 80 ICRP Publication 33, "Protection Against Ionizing Radiation from External Sources Used in Medicine", Pergamon, Oxford, March 1981.
- 81 Dugrillon D, *Éléments de Radioprotection: 5. Radioexposition externe*, 2.me edition, CRAM Centre sécurité sociale, ISBN 2.909066-36-3, Décembre 1996.
- 82 AGFA ISOVOLT 320/13 Product Information NO. 2.530.24.00.02
- 83 Hubbell JH and SM Seltzer, (1997). Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients (version 1.03), [Online]. Available: <http://physics.nist.gov/xaamdi> [2003, June 13]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. Originally published as NISTIR 5632, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (1995).
- 84 Van Hienen JFA, EIM Meijne, NB Verhoef, "Dosisberekening voor de Omgeving bij Vergunningverlening Ioniserende Straling – DOVIS Deel B: Externe Straling", Petten, 11 December 2002.
- 85 Shapiro B, T Thijssen, R de Jong, "Stralingsdosis aan de terreingrens door radiodiagnostiek", NVS nieuws 10/2000, 9-12.
- 86 RöV: Röntgenverordnung (2003-05-05), Neufassung: BGBl. 2003 Teil I Nr. 17 S.605, ausgegeben zu Bonn am 5. Mai 2003, Anlage 2 (zu § 8 Absatz 1 Satz 1).
- 87 NCRP Report No. 51, "Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100 MeV Particle Accelerator Facilities", Washington, March 1, 1977.
- 88 Van Rooijen P, PREDICT model, Een model voor het schatten van de dosis en de effectiviteit van beheersmaatregelen bij de uitvoering van industriële radiografie met behulp van iridium 192, AIB-Vinçotte, Maart 1998.
- 89 Van Rooijen P, "PREDICT, an alternative approach to radiation protection in industrial radiography", Proc. of 2nd European ALARA Network Workshop on "Good Radiation Practices in Industry and Research", pp. 99-106, England, November 23-25, 1998.

- 90 Brief van de Minister van VROM aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal van 10 juli 2001. Tweede Kamer, vergaderjaar 2000-2001, 27 400 XI, nr. 93.
- 91 Bijwaard H, H Eleveld, H Slaper, "Ketenmodellering en informatiesysteem voor reguliere emissies van radioactieve stoffen", RIVM Briefrapport 322/02 LSO 14 augustus 2002, Bilthoven.
- 92 Bijwaard H, H Eleveld, Comparison of atmospheric dispersion modelling according to old and new regulations in the Netherlands, Proceedings of 8<sup>th</sup> International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes. 14-17 October 2002, Sofia, Bulgaria, 148-152.
- 93 Milieu- en Natuurcompendium 2003. RIVM-MNP, Bilthoven, CBS, Den Haag en de Stichting DLO, Wageningen.
- 94 Janssen MPM, RO Blaauboer, MJM Pruppers, Geographical distribution of radiation risks in the Netherlands, Health Physics 74 (6), 677-686, 1998.
- 95 Eleveld H, M Pruppers, "Emissions and doses from sources of ionising radiation in the Netherlands – Radiation policy monitoring", Proceedings of the First IRPA European congress, 8-11 October 2002, Florence, Italy. ISBN 88-88648-09-7.
- 96 Europese commissie, Council Directive 90/641/EURATOM of 4 December 1990 on the operational protection of outside workers exposed to the risk of ionising radiation during their activities in controlled areas. Official Journal, L349, Luxemburg, 13 december 1990.
- 97 Ministerie voor Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Regeling voorzieningen stralingsbescherming werknemers, 25 februari 2002 / A&G / W&B / 2001 / 73921, Den Haag.
- 98 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and effects of Ionizing Radiation, Annex E, Occupational Radiation Exposures, UNSCEAR (2000) New York.
- 99 Dijk JWE van, "Statistische Analyse van de Dosis als gevolg van Beroepsmatige Blootstelling aan Ioniserende Straling 1993-2002". In voorbereiding.
- 100 International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, ICRU Report 51, Bethesda, 1993.
- 101 Kicken, PJH, GJ Kemerink, FW Schultz, J Zoetelief, JJ Broerse, JMA van Engelshoven, Dosimetry of Occupationally Exposed Persons in Diagnostic and Interventional Arteriography, Part 2: Assessment of Effective Dose, Radiat. Prot. Dosim. 82(2), 105-114, 1999.
- 102 International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. (Publication ICRP 60) Ann. ICRP 21(1-3), 1990.
- 103 Dijk JWE van, HW Julius. Dose Thresholds and Quality Assessment by Statistical Analysis of Routine Individual Monitoring TLD Data. Radiat. Prot. Dosim. 66(1-4), 17-22, 1996.
- 104 Dijk JWE van, Dose Assessment of Aircraft Crew in The Netherlands, Radiat. Prot. Dosim. 106 (1), 5-32, 2003.
- 105 Jong P de, JWE van Dijk, Stralingsdosis vliegtuigbemanningen, NVS Nieuws 2002/1, 31-33, 2002.
- 106 Pruppers MJM, Opties voor milieubeleidsindicator straling, RIVM rapport 607880004, Bilthoven, 2002.





## Bijlage 1 Verzendlijst

1-30	Directeur van de Directie Stoffen Afvalstoffen en Straling
31	Plaatsvervangend Directeur-Generaal Milieubeheer
32-36	VROM-Inspectie
37-41	Directie Arbeidsveiligheid en -gezondheid van SZW
42-46	Afdeling Beschikkingen van de Arbeidsinspectie/Centraal Kantoor
47-51	Arbeidsinspectie/Centraal Kantoor van SZW
52-56	Directie Curatieve Zorg van VWS
57-61	Inspectie voor de Gezondheidszorg van VWS
62	Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
63	Directie RIVM
64	Directeur Sector Milieurisico's en Externe Veiligheid
65	Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
66	Hoofd van de afdeling Risicoanalyse en ModelOnderzoek
67	Hoofd van de afdeling Monitoring en Meetmethoden
68	Hoofd van de afdeling Radiologische Incidenten en Systemen
69-73	Auteurs
74	SBC/Communicatie
75	Bureau Rapportenregistratie
76	Bibliotheek RIVM
77	Bibliotheek LSO
78-92	Bureau Rapportenbeheer
93-110	Reserve-exemplaren LSO



## Bijlage 2 Afkortingen

ABC	actuele-blootstellingscorrectie(-factoren)
AID	actuele individuele dosis
ALI	<i>annual limit of intake</i>
BMS	beleidsmonitoringsysteem straling
Bs	Besluit stralingsbescherming
BsK	Besluit stralenbescherming Kernenergiewet
COVRA	Centrale Organisatie voor Radioactief Afval, Vlissingen
DC	dosiscoëfficiënten
DGM	Directoraat Generaal Milieubeheer van VROM
ECN	Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten
EJZ	Enquête Jaarcijfers Ziekenhuizen
GCO	Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek van de EU
HABOG	Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslaggebouw bij COVRA
HDR	<i>High Dose Rate</i> : apparaat voor behandeling met hoog dosistempo bij brachytherapie
HFR	Hoge Flux Reactor te Petten
JAZ	Jaarenquête Academische Ziekenhuizen
JBD	Jaarenquête Beeldvormende Diagnostiek
IMS	Informatiesysteem Medische Stralingstoepassingen
KCB	Kerncentrale Borssele
KCD	Kerncentrale Dodewaard
KEMA	Keuring Elektrotechnische Materialen, Arnhem
Kew	Kernenergiewet
LDR	<i>Low Dose Rate</i> : apparaat voor behandeling met laag dosistempo bij brachytherapie
LNV	ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
LFR	Lage Flux Reactor te Petten
LOG	Laag- en middelradioactief afval Opslag Gebouw van COVRA
LSO	Laboratorium voor Stralingsonderzoek van RIVM, Bilthoven
MER	Milieu Effect Rapport
MIBG	Meta-iodobenzylguanidine
MID	multifunctionele individuele dosis
MLL	(theoretisch) maximale lozing in lucht
MLW	(theoretisch) maximale lozing in water
MR-AGIS	ministeriële regeling Analyse Gevolgen van Ioniserende Straling
MW <sub>th</sub>	thermisch vermogen van een nucleaire installatie
MW <sub>e</sub>	elektrisch vermogen van een nucleaire installatie
NDO	niet-destructief onderzoek
NDRIS	Nationaal Dosis Registratie en Informatie Systeem
NRG	Nuclear Research and Consultancy Group, Petten
NVNG	Nederlandse Vereniging voor Nucleaire Geneeskunde
OLP	Onderzoekslocatie Petten
OSPAR	Oslo-Parijs verdrag ter verplichting van het melden van lozingen door nucleaire installaties die uiteindelijk in het noordoosten van de Atlantische Oceaan terechtkomen
PDR	<i>Pulsed Dose Rate</i> : apparaat voor behandeling met gepulseerd dosistempo bij brachytherapie
PET	Positron Emissie Tomografie

---

Re	radiotoxiciteitsequivalent
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven
SPIN	Samenwerkingsproject Procesbeschrijvingen Industrie Nederland
SNB	Straling, Nucleaire en Bioveiligheid, afdeling van directie SAS
SAS	Stoffen, Afvalstoffen en Straling, directie van DGM
SZW	ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid
TNO	Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
VROM	ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
VWS	ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport