

RIVM/LSO briefrapport 514/05

**Emissies en doses door bronnen van
ioniserende straling: nucleair, medisch en
NDO's**

Bijlage bij Jaarrapport 2004 'Beleidsmonitoring
straling'

H Eleveld, CP Tanzi, EJ Meeuwsen,
PJM Kwakman

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/681020/01 'Beleidsondersteuning Straling', mijlpaal 'Jaarrapport beleidsmonitoring straling'.

INHOUD

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
1.1 Van emissies tot blootstelling	7
1.2 Stralingsdoses	8
1.3 Afbakening	8
1.4 Doelstelling van het jaarrapport	9
1.5 Leeswijzer	9
2 Nucleaire installaties	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Vergunningen Nucleaire installaties	11
2.3 Bepaling van de lozingen in radiotoxiciteitsequivalenten	13
2.4 Lozingen in lucht en water in 2003	13
2.5 Dosisschatting	14
2.6 Discussie en conclusies	15
3 Medische instellingen	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Ziekenhuizen en radiotherapeutische instellingen	17
3.3 Mogelijke blootstelling	18
3.3.1 Diagnostiek	18
3.3.2 Therapie	20
3.4 Radiotherapie	20
3.5 Patiënten behandeld met ^{131}I	24
3.6 Lozingen in lucht en water	27
3.7 Handhaving Kernenergiewet	27
3.8 Conclusies	28
4 Niet-Destructief Onderzoek	29
4.1 Inleiding	29
4.2 Toe te lichten bedrijven	29
4.3 De meest recente vergunningen	29
4.3.1 Overzicht röntgentoestellen	30
4.3.2 Overzicht radioactieve bronnen	31
4.3.3 Aantal opnamen per bedrijf per jaar	31
4.3.4 Meldingen van meer dan 3300 opnamen per locatie	32
4.4 Conclusies	35
Referenties	37
Bijlage A Afkortingen	39
Bijlage B Data voor alle nucleaire installaties	41

Samenvatting

De lozingen van radioactieve stoffen in lucht en water door Nederlandse ondernemingen zijn sinds begin jaren negentig van de vorige eeuw sterk afgenomen. Deze afname is voornamelijk gerealiseerd door de sluiting van twee bedrijven binnen de procesindustrie, zoals is beschreven in een recent uitgekomen RIVM-rapport over de stralingsbelasting door de procesindustrie. Voor dit briefrapport is de stralingsbelasting door de andere categorieën ondernemingen zoals de nucleaire installaties, ziekenhuizen en niet-destructief onderzoeksbedrijven onderzocht.

De lozingen in lucht en water van de nucleaire installaties vertonen hetzelfde beeld als de voorgaande jaren. Binnen de spreiding van de afgelopen jaren zijn er in 2003 geen relevante wijzigingen, behalve de afname van de lozingen in lucht van kerncentrale Dodewaard tot een 10 à 15% van de lozingshoeveelheden in de jaren tachtig. Bij de kerncentrale Dodewaard is door het realiseren van een fase van veilige insluiting een volgende stap gezet op weg naar volledige ontmanteling, waardoor de verwachting is dat de lozingen in de nabije toekomst zullen dalen. Voor de onderlinge vergelijking van de lozingen in termen van radiotoxiciteitsequivalenten (Re) wordt aanbevolen om te werken met gewogen Re's, gebruikmakende van de fysische halveringstijden, zodat het dosisgevolg beter wordt geduid.

De stralingsbelasting voor leden van de bevolking door lozingen in lucht en water door medische instellingen is minder dan 1 μSv per jaar. Voor de stralingsbelasting aan de terreingrens van een medische instelling kan worden vastgesteld dat het gebruik van ioniserende straling voor diagnostische doeleinden onder reguliere omstandigheden geen rol van betekenis speelt. Patiënten die behandeld zijn met radioactief jodium zijn een bron van straling voor hun omgeving. Goede mondelinge en schriftelijke instructies, welke verplicht zijn, zorgen ervoor dat de omgeving beperkt wordt belast.

Niet-Destructief Onderzoek (NDO) met behulp van ioniserende straling ter controle van bijvoorbeeld lasnaden van pijpleidingen wordt in Nederland doorgans op locatie uitgevoerd. Het aantal NDO-opnamen verricht door de grootste Nederlandse NDO bedrijven en het aantal gebruikte radioactieve bronnen is niet noemenswaardig veranderd ten opzichte van voorgaande jaren. Wel lijkt de wettelijk aangewezen rekenwijze de stralingsbelasting te laag in te schatten, waardoor mogelijk ten onrechte geconcludeerd wordt dat de dosislimiet niet wordt overschreden.

1 Inleiding

In dit rapport wordt de stralingsbelasting voor de Nederlandse bevolking beschreven welke is veroorzaakt door de Nederlandse ondernemingen. Het onderzoek is verricht in opdracht van de afdeling Stoffen, Nucleair en Bioveiligheid van de DGM-directie Stoffen Afvalstoffen en Straling. 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]. Het gaat hierbij alleen om die stralingsbelasting die door menselijk handelen is verhoogd en die onderwerp is van het stralingshygiënische beleid in Nederland.

In het jaarrapport 2004 “Beleidsmonitoring straling” [2] is specifiek gekeken naar de stralingsbelasting door de procesindustrie die in Nederland de grootste industriële bijdrage levert aan de stralingsbelasting. In eerdere jaarrapportages [3, 4] is de contemporaine stralingsbelasting door alle voor het milieubeleid relevante categorieën bronnen van ioniserende straling beschreven. Dit briefrapport geeft in aanvulling op het jaarrapport een overzicht van de stralingsbelasting door alle overige bronnen (exclusief radon). In een RIVM-rapport uit 2003 [5] is een compleet overzicht gegeven van de gemiddelde stralingsbelasting van de Nederlander.

1.1 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. De vrijgekomen radioactiviteit verspreidt zich vervolgens via diverse belastingspaden, zoals de lucht, de bodem en landbouwproducten, drinkwater en visproducten. De opname van radioactiviteit via inhalatie, ingestie en blootstelling aan externe straling afkomstig van radionucliden in de lucht en op de bodem leidt 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 gekoppelde voedselketen, voor de inname van de radionucliden en ten slotte 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 wettelijk vereiste berekeningen teruggebracht tot eenvoudige vermenigvuldigingen met dispersie-, transfer- en dosiscoëfficiënten. In sommige gevallen moeten de complexe modellen wel worden toegepast. De ministeriële regeling Analyse Gevolgen van Ioniserende Straling (MR-AGIS) [6] geeft handvatten hoe de dosisberekening dient te worden uitgevoerd ten behoeve van vergunningverlening in eenvoudige en complexe situaties.

1.2 Stralingsdoses

De stralingsdosis kan worden uitgedrukt met verschillende grootheden. Voor dit rapport wordt aangesloten bij de in het Besluit Stralingsbescherming en vergunningverlening gehanteerde doses. De volgende doses voor leden van de bevolking zijn hierbij van belang, zoals is aangegeven in de MR-AGIS [6]:

- **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 voor externe straling wordt in dit geval 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 Blootstellingen Correctiefactoren (ABC-factoren), waardoor de actuele individuele dosis ontstaat. De ABC-factoren zijn verblijfsduurfactoren. Dit in tegenstelling tot de wooncorrectiefactor welke een afschermingsfactor betreft.

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.

Er wordt bovendien 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 μ Sv effectieve dosis in een kalenderjaar, voor externe straling bedraagt het SN 10 μ Sv in een kalenderjaar. Voor lozingen is de dosis lager, omdat daar meer mensen aan kunnen blootstaan dan aan externe straling.

1.3 Afbakening

Het stralingsbeschermingsbeleid richt zich in principe op de bescherming van drie groepen personen. Het valt uiteen in leden van de bevolking, werknemers en patiënten. Het milieubeleid richt zich op leden van de bevolking, het arbeidshygiënische 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. 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 hier niet aan de orde. De personen die beroepshalve worden blootgesteld aan straling worden hier evenmin behandeld.

Ten behoeve van dit rapport is ook gekeken naar overige stralingsbronnen zoals de radiofarmacaproductie (te Petten, Eindhoven en Leiderdorp), een producent van medische bestralingsapparatuur (te Veenendaal) en een dienstverlener voor sterilisatie met behulp van straling (Ede en Etten-Leur). Alleen in het geval van een radiofarmacaproductent kon worden vastgesteld dat de geregistreerde stralingsdosis een enkele keer een factor 4 hoger was dan het Secundair Niveau voor externe straling. In voorkomend geval was dit een meting buiten het eigen hek, maar binnen een “complex” en lager dan de vergunde dosis. Aan de buitengrenzen van dat terrein werden dosiswaarden bepaald rond het Secundair Niveau of eronder. Vandaar dat dit onderwerp niet verder is uitgediept.

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 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de blootstelling voor leden van de bevolking door de nucleaire installaties. In hoofdstuk 3 is de stralingsbelasting door de medische instellingen toegelicht. De dosisgevolgen van niet-destructief onderzoeksbedrijven komen aan bod in hoofdstuk 4. In elk hoofdstuk worden reeds conclusies weergegeven, waardoor het rapport niet eindigt met een apart hoofdstuk met de gebruikelijke conclusies en discussie. De in dit rapport gebruikte afkortingen worden verklaard in Bijlage A. In Bijlage B staan de lozingsgegevens van alle nucleaire installaties.

2 Nucleaire installaties

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste wijzigingen tot het najaar van 2004 betreffende de nucleaire installaties. Voor algemene informatie wordt verwezen naar het jaarrapport 2003 “Emissies en doses door bronnen van ioniserende straling in Nederland” [4].

De groep nucleaire installaties in Nederland bestaat uit:

- kerncentrale Borssele
- kerncentrale in Dodewaard
- de opslagfaciliteit voor radioactief afval COVRA
- de onderzoekslocatie Petten (OLP)
- de Reactor Instituut Delft (RID, voorheen IRI)
- de verrijkingsfabriek Urenco.

2.2 Vergunningen Nucleaire installaties

In de afgelopen jaren zijn de vergunningen van de nucleaire installaties gewijzigd of aangepast. Hieronder is in het kort aangegeven wat tot en met najaar 2004 de vigerende vergunningen zijn, met daarbij de wijzigingen.

Nieuwe vergunningen

KCB: SAS/2004084087, d.d. 22 september 2004.

De wijziging houdt in een verhoging van de toegestane verrijkingsgraad van ^{235}U in de reactorbrandstof tot maximaal van 4,4% en het verhogen van de maximale staafgemiddelde opbrand van de splijtstof tot 68 MWdag/kgU voor splijtstofelementen van het HTP-type (High Thermal Performance).

Toelichting

Sinds 1996 is het EPZ toegestaan om splijtstof toe te passen met een verrijkingspercentage in ^{235}U van maximaal 4%. De mate van verrijking bepaalt de hoeveelheid energie die bij gebruik van de splijtstof vrij kan komen. Dat betekent dus dat hoe hoger de verrijking is, hoe langer de splijtstof in de kern gebruikt kan worden en hoe minder splijtstofelementen per jaar verbruikt zullen worden. Deze toename van de verblijfstijd in de kern wordt ook wel “hogere opbrand” genoemd en wordt uitgedrukt in de eenheid MWdag/kgUranium (dat wil zeggen de hoeveelheid energie die per kg uranium uit de splijtstof kan worden vrijgemaakt). Hogere opbrand stelt echter hogere eisen aan de deugdelijkheid van de constructie van de splijtstofelementen vanwege het langere verblijf in een omgeving met intensieve neutronenbestraling. Door technologische ontwikkelingen is het thans mogelijk om die langere verblijftijden (en dus opbrand) op veilige wijze te realiseren. De reden van de verhoging van de verrijkingsgraad en bijbehorende hogere opbrand is een besparing op de splijtstofkosten bij een gelijkblijvende elektriciteitsproductie, zonder daarbij de installatie ingrijpend te wijzigen.

Deze wijziging heeft geen verandering in de lozingslimieten en de daadwerkelijke lozingen van KCB in lucht of water tot gevolg.

COVRA: SAS 2003093537, d.d. 17 oktober 2003.

In deze wijziging is het toegestaan om in het Laag- en middelradioactief afval OpslagGebouw (LOG) niet-gecementeerd afval in containers, die conform het VLG (Vervoer over Land van Gevaarlijke stoffen) voor vervoer gekwalificeerd zijn als type B verpakking op te slaan; het voorschrift met betrekking tot de toegestane stralingsbelasting buiten de inrichting wordt gewijzigd in de zin dat bij toetsing aan de limietwaarde van 40 $\mu\text{Sv/jaar}$ ABC-factoren (Actuele Blootstellingen Correctiefactor) uit MR-AGIS (Ministeriële Richtlijn Analyse Gevolgen Ioniserende Straling) mogen worden gebruikt.

GKN: SAS/2002013372, d.d. 1 mei 2002.

In deze vergunning wordt toestemming verleend om de kernenergiecentrale aan de Waalbandijk, nadat alle splijtstof vanuit de kerncentrale is afgevoerd en voorafgaande aan definitieve ontmanteling, in een toestand van veilige insluiting te brengen en te houden. De vergunning is geldig voor een periode van 40 jaar na aanvang van de Wachttijdfase (WA). De lozingen zijn eerst nog door schoonmaakwerkzaamheden in 2004 iets toegenomen, maar daarna tot vrijwel nul worden gereduceerd. De fase van Veilige Insluiting is gestart in maart 2005. De limieten voor lozing in water zijn ongewijzigd; de limieten voor lozing in lucht zijn aangepast:

- Er is geen vergunde limiet voor de lozing van edelgassen en halogenen, zoals ^{131}I
- De lozingslimiet van ^{14}C is verlaagd van 500 naar 50 GBq/a.

OLP (Onderzoekslocatie Petten): SAS/2001049111, d.d. 2 augustus 2001.

De genoemde vergunning uit 2001 betreft het in werking houden van de LFR (Lage Flux Reactor), van verschillende laboratoriumfaciliteiten waaronder de Hot Cell Laboratories en van faciliteiten voor verwerking en opslag van radioactief afval, alsmede het verrichten van handelingen met splijtstoffen, radioactieve stoffen en ioniserende straling uitzendende toestellen ter plaatse, en het lozen van radioactieve afvalstoffen in de lucht en in de Noordzee. In 2003 is tevens vergunning gevraagd en verleend voor het gebruik van een 7,5 TBq ^{137}Cs bron en voor het opslaan van radioactief slakkenwol.

Deze wijziging heeft geen verandering in de lozingslimieten en de daadwerkelijke lozingen van OLP in lucht of water tot gevolg.

Urenco: SAS/2004006248,

Deze vergunning, betreffende een uitbreiding van de verrijkingscapaciteit, is door een procedurele fout in najaar 2004 nog niet afgegeven.

De wijziging zal hoogstwaarschijnlijk een verdere uitbreiding van de verrijkingsfabriek SP5 gaan inhouden, waarmee de totale vergunde verrijkingscapaciteit van de gehele Urenco inrichting te Almelo wordt verhoogd van 2800 ton SW/jaar naar 3500 ton SW/jaar (Separative Work). Verder zijn de lozingslimieten voor radioactieve stoffen in water ten hoogste 1,7 Re_{ing} per jaar, en voor lozingen in lucht 130 Re_{inh} per jaar. Deze lozingslimieten vallen buiten de huidige rapportageperiode en worden in de volgende rapportage opgenomen.

2.3 Bepaling van de lozingen in radiotoxiciteitsequivalenten

In de vergunningen van KCB en COVRA zijn de lozingen nog vergund in Bq.a^{-1} . Om de lozingen in dit rapport met elkaar te kunnen vergelijken worden deze omgerekend naar Re.a^{-1} . Dit is mogelijk door de vergunde lozing in Bq.a^{-1} te vermenigvuldigen met de dosiscoëfficiënt in Sv.Bq^{-1} van het bedoelde nuclide [4]. Daar waar een groep radionucliden in de vergunning is aangegeven is een benadering gemaakt van de meest waarschijnlijk geloosde radionucliden. Op basis daarvan is een gemiddelde DC samengesteld waarmee de vergunde lozing in Re.a^{-1} is berekend. In Tabel 1 is de vergunde lozing niet gegeven, maar wel het percentage dat de daadwerkelijke lozing van de vergunde lozing inneemt.

Voor edelgassen is een DC gebruikt op basis van externe straling als gevolg van submersie. De eenheid is Sv.a^{-1} per Bq.m^{-3} , en is dus direct afhankelijk van de activiteitsconcentratie. Om aan die activiteitsconcentratie te komen is de jaarlozing in Bq.a^{-1} gedeeld door het lozingsdebiet in $\text{m}^3.\text{a}^{-1}$ 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^{-1} per Bq.m^{-3} . Hiermee wordt de edelgas-Re wel afhankelijk van de lozingscondities van de betreffende nucleaire installatie.

2.4 Lozingen in lucht en water in 2003

Voor een overzicht van de lozingen in lucht en water in de afgelopen decennia wordt verwezen naar Bijlage B. In de onderstaande Tabel 1 staan de werkelijke lozingen in lucht in 2003, uitgedrukt in $\text{Re}_{\text{inh}}.\text{a}^{-1}$, nader gespecificeerd van vijf nucleaire installaties. De gegevens van RID zijn niet gepresenteerd omdat de luchtlozingen alleen het kortlevende edelgas ^{41}Ar betreffen.

Tabel 1 *Lozingen in lucht voor vijf nucleaire installaties (Re.a^{-1}) in het jaar 2003*

	KCB	GKN*	COVRA	OLP	Urenco
Edelgassen	0,009			13	
^3H	50	0,03	5,7	13,9	
^{14}C	795	0,6	12,2		
^{131}I	0,015			0,03	
overige halogenen				1,7	
Aërosolen	0,03				
bèta / gamma					0,002
totaal- α			0,26		1,0
Totaal	845	0,6	18	29	1,0
% van vergunning	37 %	0,1 %	0,3 %	13 %	1 %

Uit Tabel 1 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. Voor OLP zijn voor de halogenen en edelgassen de getallen uit haar jaarrapportage overgenomen. Bij Urenco is gekozen voor een middeling over de DC's van ^{234}U , ^{235}U en ^{238}U .

In Tabel 2 staan de werkelijke lozingen in water, uitgedrukt in $Re_{ing}.a^{-1}$, van vijf nucleaire installaties. De lozingsgegevens van RID zijn niet gepresenteerd omdat de waterlozingen gerapporteerd worden als totaal-bèta, dus zonder nuclide specifieke informatie waardoor een Re_{ing} lastig te schatten is. Daarnaast is de geloosde activiteit per jaar enkele orden van grootte lager dan de overige nucleaire installaties, en vindt de lozing via het riool op de Noordzee plaats.

Uit Tabel 2 blijkt duidelijk dat bij KCB 3H de belangrijkste bijdrage levert, terwijl voor COVRA, GKN en vooral OLP de bèta- en gamma-stralers de belangrijkste bijdrage leveren. De lozingen van Urenco zijn (in Re 's) in verhouding met de overige lozingen in water vrijwel verwaarloosbaar.

Tabel 2 Lozingen in water voor vijf nucleaire installaties ($Re_{ing}.a^{-1}$). Situatie 2003

	KCB	GKN	COVRA	OLP	Urenco
3H	137	1,9	1,1	7,3	
^{14}C	*	*	0,1		
bèta / gamma	0,5	4,4	4,7	165	0,01
totaal- α			0,02	0,5	0,17
Totaal	138	6,3	5,9	173	0,2
% van vergunning	10 %	1 %	0,2 %	9 %	13 %

* De ^{14}C -lozing van KCB en GKN in water wordt niet bepaald.

2.5 Dosisschatting

De stralingsbelasting door lozingen in lucht is berekend middels het Ketenmodel Reguliere Emissies (KREM) [2]. Ten behoeve van de dosisschatting is uitgegaan van de radionucliden ^{14}C en 3H . In radiotoxiciteitsequivalenten bepalen deze radionucliden bijna 100% van de lozingen in lucht, zie Tabel 1. Voor het jaar 2003 is de maximale individuele dosis door lozingen in lucht bepaald op 0,11 μSv , op 350 m van de schoorsteen. Op 1,5 km is deze dosis gereduceerd tot 0,02 μSv . Voor de andere nucleaire installaties zijn geen dosisberekeningen uitgevoerd, omdat de lozingen in lucht, in Re 's, bij die installaties meer dan een factor 25 lager zijn.

Voor een schatting van de dosis door lozingen in water wordt verwezen naar de berekening die voor de Ospar-2005 rapportage is gemaakt [7]. In Tabel 3 staat een overzicht van de effectieve dosis die per nucleaire installatie is berekend, op basis van modellen beschreven door van Hienen [8].

Tabel 3 Individuele effectieve dosis per jaar veroorzaakt door lozingen in water voor recente jaren [7]

	Bereik in 1998-2003 $\mu\text{Sv.a}^{-1}$
KCB	$(4,8 - 15) \cdot 10^{-6}$
GKN	$(7,2-45) \cdot 10^{-5}$
COVRA	$<< 1 \cdot 10^{-3}$
OLP	$(0,7-4) \cdot 10^{-3}$
Urenco	$< 1 \cdot 10^{-3}$

2.6 Discussie en conclusies

De lozingen in 2003 in lucht en water van de Nederlandse nucleaire installaties vallen in dezelfde ordegrrootte als de lozingen in de jaren daarvoor. Alleen bij de kerncentrale Dodewaard is een reductie waarneembaar door het vrijwel afwezig zijn van lozingen in lucht. In het geval van kerncentrale Borssele ligt de bijdrage van de lozingen in lucht en in water aan de individuele effectieve dosis voor leden van de Nederlandse bevolking een factor 9 onder het Secundair Niveau ($1 \mu\text{Sv.a}^{-1}$). Voor de andere nucleaire installaties is het dosisgevolg enkele decades lager dan het Secundair Niveau.

Vanuit de Tabellen 2 en 3 valt op dat ondanks het feit dat kerncentrale Borssele en de onderzoekslocatie Petten vrijwel dezelfde hoeveelheden radioactiviteit lozen in termen van Re's de dosisschattingen met een factor 1000 uiteenlopen. Dit onderscheid is voornamelijk toe te schrijven aan de samenstelling van de geloosde nucliden. Kerncentrale Borssele loost voornamelijk tritium (uitgedrukt in Re's ongeveer 99%), dat ongeveer 20% bijdraagt aan de dosis ten gevolge van KCB, terwijl de Onderzoekslocatie Petten juist voornamelijk Cesium isotopen loost (in Re's), die voor ongeveer 90% de dosis bepalen door OLP. Doordat de locatiespecifieke factoren, dat zijn de transfercoëfficiënten vermenigvuldigd met de DC's, voor tritium 5 ordes van grootte kleiner is dan die voor de cesiumisotopen (^{134}Cs en ^{137}Cs) leidt dit tot een groot dosisverschil. Door te werken met gewogen Re's, gebruikmakende van de fysische halveringstijden, zouden de lozingen beter met elkaar vergeleken kunnen worden, zoals reeds aangegeven in de MR-AGIS.

3 Medische instellingen

3.1 Inleiding

Medische instellingen die verplicht zijn een vergunning te hebben in het kader van de Kernenergiewet (KEW) [9] en het Besluit Stralingsbescherming (BS) [10] worden hier nader beschouwd in het kader van stralingsbelasting. Onder medische instellingen worden hier algemene, categorale en academische ziekenhuizen en radiotherapeutische instellingen verstaan. Er zijn ook andere instanties zoals GGD's, tandartspraktijken, privéklinieken, diagnostische centra en chiropraxie praktijken die in medische zin gebruik maken van ioniserende straling. Deze instellingen worden hier verder niet besproken omdat hiervan weinig gegevens beschikbaar zijn. Daarbij is de indruk dat deze instellingen waarschijnlijk alleen gebruik maken van röntgenapparatuur voor diagnostische doeleinden.

De meest voorkomende medische toepassing van ioniserende straling is het gebruik van röntgenstraling binnen de radiologie. Ieder ziekenhuis in Nederland is in bezit van een röntgenafdeling, uitgezonderd een enkel categoriaal ziekenhuis (Tabel 4). Verder heeft een groot aantal ziekenhuizen de beschikking over een afdeling nucleaire geneeskunde waar radioactieve stoffen worden gebruikt voor diagnostiek en in veel gevallen ook voor therapie. Er zijn in Nederland 21 instellingen / afdelingen waar radiotherapie met behulp van lineaire versnellers wordt uitgevoerd (Tabel 4). Radiologie en radiotherapie maken gebruik van röntgenstraling en kunnen een bijdrage aan de stralingsbelasting leveren door middel van externe straling. De nucleaire geneeskunde kan, buiten externe straling, ook bijdrage aan de stralingsbelasting door lucht-, en waterlozingen, omdat hier radionucliden in de vorm van open bronnen worden gebruikt.

3.2 Ziekenhuizen en radiotherapeutische instellingen

Over het hele land verspreid zijn er meer dan 100 erkende ziekenhuizen (Enquête Jaarcijfers Ziekenhuizen (EJZ), Jaarenquête Beeldvormende Diagnostiek (JBD), Jaarenquête Academische Ziekenhuizen (JAZ)) die gebruik maken van ioniserende straling voor diagnostische en/of therapeutische doeleinden. Fysiek gezien zijn er meer locaties dan de genoemde 113 ziekenhuizen in Tabel 4, de reden daarvan is dat veel ziekenhuizen gefuseerd zijn en de verschillende locaties als één erkend ziekenhuis worden gerekend. Er zijn 8 academische en 10 categorale erkende ziekenhuizen en daarnaast zijn er zes radiotherapeutische instellingen. De radiotherapeutische instellingen hebben vrijwel allen een samenwerkingsverband met een nabij gelegen algemeen of academisch ziekenhuis en vallen vaak ook onder één vergunning. Eén van de radiotherapeutische instellingen vormt samen met een academisch ziekenhuis een radiotherapeutisch instituut. In Tabel 4, laatste kolom, is deze instelling als radiotherapeutische instelling mee geteld, waardoor één academisch ziekenhuis niet over een radiotherapie afdeling beschikt. Van de ziekenhuizen hebben dus zeven academische, zeven algemene ziekenhuizen en één categoriaal ziekenhuis een afdeling radiotherapie (Tabel 4).

Tabel 4 Het aantal instellingen per categorie in kolom 2 met daarnaast het aantal ziekenhuizen dat beschikt over een röntgenafdeling, nucleair geneeskundige diagnostiek en therapie afdeling en in de laatste kolom het aantal radiotherapie afdelingen/instellingen in 2003 (EJZ, JBD, JAZ)

Soort Ziekenhuis (instelling)	Aantal	Röntgen	Nucleaire geneeskunde diagnose therapie		radiotherapie
Algemeen	89	89	52	42	7
Academisch	8	8	8	8	7
Categoriaal	10	6	1	1	1
Rad. Ther.	6	6	1	1	6
Instelling					
TOTAAL	113	109	62	52	21

3.3 Mogelijke blootstelling

Gezien het grote aantal medische instellingen zoals hierboven aangegeven is het niet praktisch om voor alle instellingen de lozingen en externe stralingsbelasting in kaart te brengen. Daar komt nog bij dat van de meeste instellingen geen of onvoldoende gegevens beschikbaar zijn die een goede schatting mogelijk zouden maken. Om deze reden is een keuze gemaakt om een beperkt aantal onderdelen in kaart te brengen die een relevante bijdrage zouden kunnen leveren aan de stralingsbelasting.

Een grote groep ziekenhuizen voert alleen radiodiagnostiek en nucleair geneeskundige diagnostiek uit. Bij radiodiagnostiek wordt in het algemeen gebruik gemaakt van röntgenbuizen met een spanning tot 150 kV. Nucleair geneeskundige diagnostiek maakt in de meeste gevallen gebruik van ^{99m}Tc als isotoop, met een γ -energie van 140 keV. Daarnaast is er een aantal instellingen waar radiotherapie en/of nucleair geneeskundige therapie wordt uitgevoerd. Radiotherapie gebruikt lineaire versnellers waarbij een potentiaal tot 25 MV wordt gebruikt en daarnaast worden er meestal ook brachytherapiën uitgevoerd met o.a. ^{191}Ir met een γ -energie van gemiddeld 380 keV. Het overgrote deel van de nucleair geneeskundige behandelingen dat plaatsvindt, wordt uitgevoerd met ^{131}I . ^{131}I zendt, naast β -straling, ook γ -straling met een energie van 364 keV uit.

3.3.1 Diagnostiek

Recent heeft de NCRP [11] een rapport uitgebracht over de afscherming van röntgenkamers. In het rapport wordt rekening gehouden met het gebruik van een röntgenkamer zoals dit in de praktijk voorkomt. Er staan voorbeeldberekeningen in van afschermingen van verschillende gebruikte röntgenkamers op basis van de grenswaarde van 0,02 mGy/week buiten de röntgenkamer. Het rapport maakt duidelijk dat ondanks beperkte afscherming van röntgenkamers de bijdrage aan de stralingsbelasting buiten de röntgenkamer zeer gering is. In een voorgaand rapport van de NCRP, report 49 [12], zijn ook berekeningen uitgevoerd voor de afscherming van röntgendiagnostiekkamers. Hierin werden veel conservatievere aannames gemaakt en in dat rapport werd reeds opgemerkt dat de afscherming van een normale bouwconstructie vaak al voldoende is de om stralingsbelasting te minimaliseren.

In de radiodiagnostiek wordt meestal een spanning tot 150 kV gebruikt. Voor de meeste onderzoeken geldt dat zelfs een lagere spanning wordt gebruikt. Een voorbeeld is een berekening van de dosis aan de terreingrens volgens Shapiro et al. [13] met behulp van een aantal conservatieve aannames. Er is uitgegaan van een afstand van het verstrooiingsoppervlak tot de terreingrens van 5 meter, een workload van 1000 mA.min per week bij gebruik van 150 kV en een afscherming van 20 cm beton. De dosis aan de terreingrens wordt zo geschat op 1,2 μSv per jaar. Hummel en Huyskens [14] hebben in 1992 berekeningen gemaakt voor afscherming van verschillende soorten röntgendiagnostiekkamers (multifunctionele buckykamer met een wand- én tafelbucky, thoraxkamer met alleen een zg. thoraxautomaat en een algemene doorlichtingskamer met een doorlichtstatief onder- of boventafelbuis) op basis van realistisch gebruik van de kamer en verzwakking van de bundel in de patiënt. Hier is uitgegaan van een equivalente ruimtedosis buiten de zogenaamde referentie-röntgenkamer van 0,04 mSv/week (2 mSv/jaar) en het resultaat was dat de toen algemeen gehanteerde vuistregel van “2 mm lood in de muren” een overschatting was voor de zogenaamde ‘vrije muren’, muren die niet aangestraald worden door de primaire bundel, om aan deze grenswaarde te voldoen. Uit deze studie bleek dat voor een kamer met een thoraxautomaat een afscherming met 1,3 mm loodequivalent voldoende is voor de ‘vrije muren’.

Tabel 5 laat zien welke afscherming berekend is door Hummel en Huyskens [14] op 1 en 2 meter van de bron en van het verstrooiend oppervlak.

Tabel 5 Benodigde afscherming voor een zogenaamde referentie röntgenkamer volgens Hummel en Huyskens [14]. Een multifunctionele buckykamer en een kamer met een zogenaamde thoraxautomaat bij een ontwerp grenswaarde van 0,04 mSv per week voor de equivalente ruimtedosis op 1 en 2 meter van de bron (directe bundel) en 1 en 2 meter van het verstrooiende oppervlak. De benodigde afscherming is gegeven in mm lood met daarachter tussen haakjes het aantal cm baksteen.

Röntgen- diagnostiekkamer	Workload (mA.min/ week)	Directe bundel (afscherming in mm lood of cm baksteen)		Strooiestraling (vrije muren) (afscherming in mm lood of cm baksteen)	
		1 meter	2 meter	1 meter	2 meter
Multifunct. bucky	440	1,8 (22)	1,3 (17)	0,9 (12)	0,4 (8)
Thorax automaat	250	2,3 (27)	1,8 (22)	1,3 (17)	0,9 (12)

In de nucleair geneeskundige diagnostiek is $^{99\text{m}}\text{Tc}$ het meest gebruikte radionuclide. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ heeft een energie van 140 keV en een fysische halveringstijd van 6 uur. Uitgaande van een afstand van 5 meter van een patiënt en de patiënt beschouwend als een puntbron met een activiteit van 800 MBq is de geschatte dosis zonder afscherming $0,7 \mu\text{Sv h}^{-1}$. Hierbij is gebruik gemaakt van $H^*(10)$ als schatter van de effectieve dosis.

Uitgaande van bovenstaande gegevens wordt diagnostisch onderzoek met ioniserende straling niet verder behandeld vanwege de beperkte stralingsbelasting ($< \text{SN}$) aan de terreingrens van een medische instelling. Uiteraard moet altijd, en dus ook bij medische diagnostiek, het ALARA-principe worden toegepast.

3.3.2 Therapie

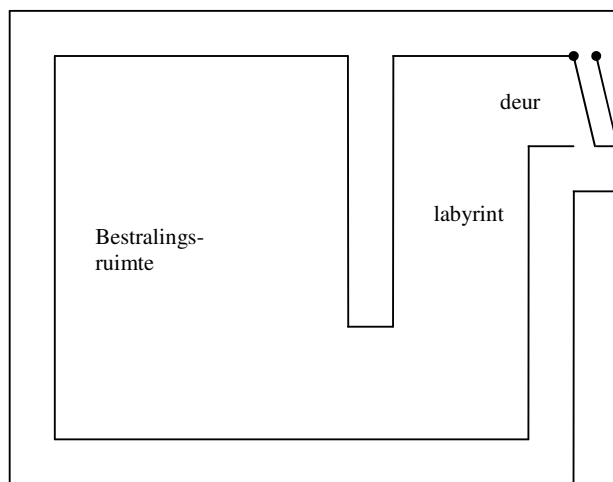
Op basis van gegevens uit eerdere rapportages [3, 4] en gezien de gebruikte energieën van lineaire versnellers binnen de radiotherapie, zijn dit bronnen die een mogelijke bijdrage kunnen leveren aan de stralingsbelasting aan de terreingrens van een medische instelling. Ook brachytherapie, o.a. uitgevoerd met ^{192}Ir met een gemiddelde energie van 380 keV, kan bij een slecht afgeschermd therapieruimte als stralingsbron een bijdrage leveren aan de dosis aan de terreingrens. Binnen de nucleair geneeskundige therapie vinden vooral behandelingen plaats met ^{131}I . Patiënten die met dit radionuclide behandeld zijn, zijn een stralingsbron voor de omgeving. Hier is een onderscheid te maken tussen behandelde patiënten die opgenomen zijn in het ziekenhuis of die ontslagen zijn uit het ziekenhuis. Patiënten die opgenomen zijn in een speciale behandelkamer kunnen een mogelijke bijdrage leveren aan de dosis aan de terreingrens van het ziekenhuis. Ontslagen patiënten daarentegen leveren geen bijdrage aan de stralingsbelasting afkomstig van het ziekenhuis (zie paragraaf 3.5) maar vormen buiten het ziekenhuis een stralingsbron voor de omgeving. Hieronder wordt nader ingegaan op het gebruik van versnellers in de radiotherapie en patiënten die behandeld zijn met ^{131}I .

3.4 Radiotherapie

In Nederland waren in 2004 21 radiotherapie instellingen (23 locaties) verspreid over het hele land (Figuur 2). Dit aantal is ongewijzigd gebleven ten opzichte van de rapportage over 2003 [4]. De capaciteit van deze instellingen is in de afgelopen jaren aanzienlijk toegenomen en neemt nog steeds toe om te kunnen voldoen aan de vraag naar radiotherapeutische behandelingen [15]. Momenteel zijn er 110 vergunde lineaire versnellers ten behoeve van medische therapie. Dat wil niet zeggen dat al deze 110 versnellers ook daadwerkelijk in gebruik zijn. Sommige zijn ter vervanging of moeten nog worden geïnstalleerd. Ten opzichte van 2003 [4] is dit een toename van 19 versnellers. Het maximale aantal versnellers dat binnen één instelling is vergund is 10.

Bij de aanvraag voor een vergunning voor een lineaire versneller moeten uitgebreide dosisberekeningen worden uitgevoerd met daarbij de bouwtekeningen van de ruimte zelf, het ziekenhuis en de ligging van de terreingrens. Voor de bouw van een radiotherapiecentrum bestaan ook zogenaamde bouwmaatstaven, vastgesteld door het College bouw ziekenhuisvoorzieningen [16]. Hierin worden aspecten van veiligheid en beveiliging besproken en ook de minimale afmetingen die een ruimte waarin een versneller staat moet hebben. Ten aanzien van de stralingsbelasting moet een instelling aantonen dat limieten niet worden overschreden en dat het ALARA-principe wordt toegepast. Instellingen geven bij het aanvragen van een vergunning aan hoe de berekeningen zijn gemaakt, welke aannames zijn gedaan en wat de belasting op een aantal kritische punten op de terreingrens en ook op het terrein zelf is. Meestal zijn de aannames die worden gemaakt conservatief, men gaat er bijvoorbeeld vaak vanuit dat alle therapieën met de hoogste energie worden uitgevoerd terwijl dit in de praktijk niet het geval is. De aannames zijn meer realistisch als de stralingsbelasting die berekend wordt in de buurt van de limiet komt. De verschillende aannames die gemaakt worden en de uitgebreidheid van de gegevens bij een vergunningaanvraag variëren tussen de verschillende instellingen, hierdoor is het erg lastig gegevens met elkaar te vergelijken.

Ruimtes waarin de versnellers zijn geplaatst bezitten over het algemeen betonnen muren van ongeveer 100 tot soms zelfs 500 cm dik op de plaats waar de directe bundel op gericht staat. De overige muren waar alleen lek- en strooistraling doorheen gaat zijn meestal minder dik. Volgens de bouwmaatstaven [16] varieert de dikte van de betonwand voor de directe bundel in het algemeen tussen de 150 en 250 cm en is de wand tussen de 100 en 150 cm buiten de directe bundel. Verder wordt er ook staal gebruikt bij de constructie van de wanden en er wordt ook wel zand gestort tussen twee betonnen muren om voldoende afscherming te creëren. Kritische punten qua afscherming zijn o.a. het dak en de kruipruimte/kelder van een therapiekamer. Hierdoor worden deze ruimtes vaak als gecontroleerde zone aangemerkt waardoor er alleen iemand in of op kan met toestemming van de stralingsdeskundige. Verder bezitten de versnellerruimtes een labyrint, met minimaal één hoek van 90° richting uitgang om vrijgekomen neutronen af te remmen. Deuren bestaan ook uit verschillende lagen afschermingsmateriaal en er zijn meerdere voorzorgsmaatregelen genomen om te voorkomen dat er iemand bij een patiënt in de bestralingsruimte is als er een bestraling plaatsvindt.



Figuur 1 Voorbeeld van een bestralingsruimte met labyrint

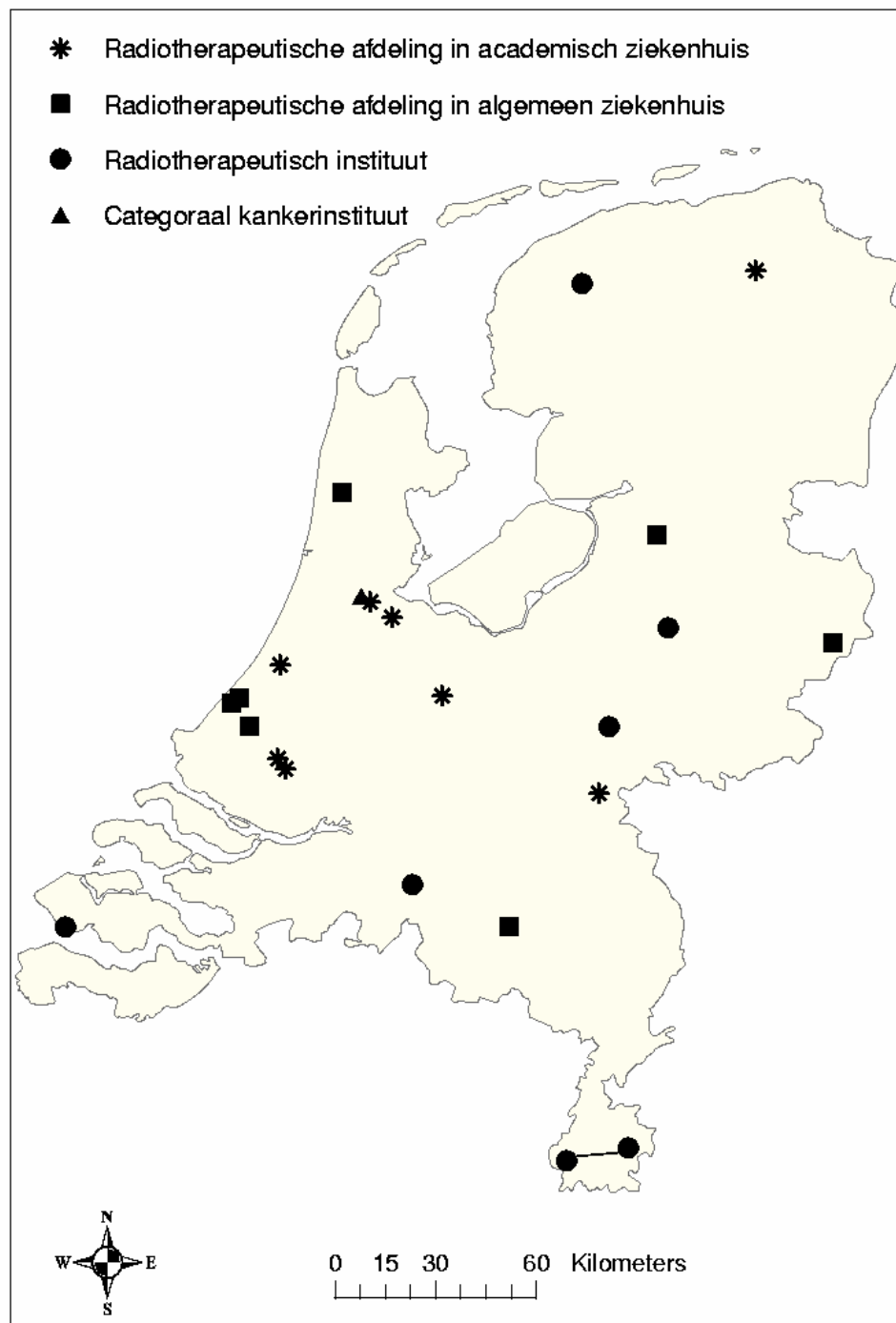
Van de 21 instellingen waar radiotherapie wordt uitgevoerd heeft ongeveer de helft een vergunde limiet van 10 μSv per jaar (MID). Eén instelling heeft een MID van 20 μSv per jaar vergund. De overige limieten zijn gebaseerd op de AID en variëren tussen de 10 en 100 μSv per jaar. Eén instelling heeft 100 μSv per jaar (AID) vergund. Deze hoge limiet is gebaseerd op het feit dat de instelling tijdelijk meer radiotherapeutische behandelingen is gaan uitvoeren om aan de vraag te kunnen voldoen tot men klaar is met de uitbreiding van het aantal versnellers. Als bij deze vergunde limiet een ABC-factor van 0,01 zou zijn toegepast dan geldt dat dit overeenkomt met ID van 10.000 μSv per jaar, oftewel 10 mSv per jaar aan de terreingrens. Recente gegevens waren niet beschikbaar ten aanzien van een gebruikte ABC-factor maar uit gegevens van een eerdere aanvraag blijkt dat toen geen correctiefactor is toegepast voor berekeningen aan de terreingrens. Meestal wordt bij de vergunningaanvraag de workload met een factor 1,5 tot 2 overschat om ruim binnen de gevraagde limiet te blijven. In de huidige situatie met veel nieuwbouw/verbouw om tot de capaciteitsvergroting te komen is het lastig om een goed overzicht te krijgen. Voor 11 van de instellingen waarvan een aantal recente gegevens beschikbaar zijn varieert de berekende ID door externe straling aan de terreingrens tussen de 8 en 372 μSv /jaar.

Tegenwoordig hanteert de vergunningverlener enkele vaste limietwaarden, op basis van een vergunningaanvraag, dit om meer eenheid aan te brengen (Tabel 6).

Tabel 6 Dosis aan terreingrens die voor de vergunning aanvraag bepaald is en de limieten die daarop in de vergunning worden aangehouden

Aanvraag	Vergunning
$AID^* \leq 10 \mu Sv$	10 μSv
$10 < AID \leq 30 \mu Sv$	30 μSv
$30 < AID \leq 100 \mu Sv$	100 μSv

^{*}hierbij is MID $\geq 10 \mu Sv$



Figuur 2 Overzicht van de 23 locaties van radiotherapeutische instellingen in Nederland in 2004.

3.5 Patiënten behandeld met ^{131}I

Uit het Besluit Stralingsbescherming [10]

“De ondernemer zorgt ervoor dat, ingeval een persoon een onderzoek of behandeling met behulp van toegediende radionucliden ondergaat, aan de persoon of zijn wettelijk vertegenwoordiger in voorkomende gevallen schriftelijke instructies worden meegegeven. Tevens worden zij geïnformeerd over de risico's van de ioniserende straling voordat de betrokken persoon de locatie verlaat, teneinde de dosis voor anderen in contact met deze persoon zoveel als redelijkerwijs mogelijk is te beperken”.

Instellingen mogen nucleair geneeskundige behandelingen uitvoeren als zij hiervoor een vergunning hebben. Het grootste deel, meer dan 80%, van de therapieën bestaat uit een behandeling van schildklierandoeningen met radioactief ^{131}I ($\tau_{1/2} \approx 8,04$ d). Tot 400 MBq (dosistempo op 1 meter van de patiënt $< 20 \mu\text{Sv h}^{-1}$) mag de behandeling (maximaal 2 per jaar) poliklinisch worden uitgevoerd, daarboven moet een patiënt worden opgenomen. ^{131}I is van de isotopen die gebruikt worden in de nucleair geneeskundige therapie, het isotoop dat het meest kan bijdragen aan de stralingsbelasting van de omgeving door het zowel β - als γ -straling uitzendt, terwijl voor de meeste andere gebruikte isotopen geldt dat deze vrijwel alleen β -straling uitzenden.

Als een vergunning wordt verleend voor het toepassen van ^{131}I voor therapie moet voldaan worden aan de richtlijn ‘Radionuclidentherapie, deel I: Jodium-131-therapie voor schildklierandoeningen’ [17]. In 2004 is op deze richtlijn een revisie gekomen in de vorm van ‘Aanbevelingen; Het werken met therapeutische doses radionucliden’ [18]. In een verleende vergunning staat: “de hoeveelheid die aan patiënten wordt toegediend ten behoeve van medische therapie voldoet aan de richtgetallen die volgens de laatste stand der wetenschap zijn vastgesteld door de beroepsgroep, zoals aangegeven in de Aanbevelingen Nucleaire Geneeskunde” [19]. Zolang patiënten zijn opgenomen in een ziekenhuis vallen zij onder de vergunning van het ziekenhuis en kunnen ze een bijdrage leveren aan lozingen vanuit het ziekenhuis en aan de dosis aan de terreingrens. Patiënten die behandeld zijn met radioactief jodium en zijn ontslagen uit het ziekenhuis vallen niet meer onder de vergunningslimieten van het ziekenhuis. Dit is in een vergunning omschreven als: “eventuele lozingen in water buiten de locatie, door patiënten die zijn behandeld met open bronnen worden door de ondernemer geschat en geregistreerd. Deze lozingen hoeven niet te worden opgeteld bij de lozingen direct vanuit de locatie en behoeven ook niet te worden getoetst aan de totale vergunde hoeveelheden voor lozingen”.

In Nederland werden in 2001 ongeveer 4800 therapieën met ^{131}I uitgevoerd, waarbij in meer dan 50% van de gevallen minder dan 400 MBq werd toegediend [4]. Op basis van gegevens uit de JBD lijkt het totale aantal behandelingen in 2003 niet wezenlijk veranderd (voor een aantal ziekenhuizen is het aantal behandelingen geschat op basis van beperkte gegevens) t.o.v. 2001, waardoor het totaal geloosde Re_{ing} door patiënten behandeld met ^{131}I na ontslag uit het ziekenhuis ook niet noemenswaardig zal zijn veranderd (9958 Re_{ing}) [4].

De behandelde patiënten zijn na ontslag uit het ziekenhuis ook een stralingsbron voor hun omgeving. Op grond van de geldende ontslagcriteria ($< 20 \mu\text{Sv/h}$ op 1 meter van de patiënt, overeenkomend met een stralingsniveau afkomstig van $400 \text{ MBq } ^{131}\text{I}$) en de leefregels die een patiënt meekrijgt, moet de dosis die een lid van de bevolking op kan lopen onder de 1 mSv per jaar blijven. Huisgenoten of verzorgenden van de betreffende patiënt worden in deze situatie niet als lid van de bevolking beschouwd en mogen blootgesteld worden aan een hogere dosis, waarbij in 5 jaar de limiet van 5 mSv niet mag worden overschreden. Het ministerie van VROM hanteert sinds 2002 de volgende dosislimieten voor huisgenoten/verzorgenden per behandeling: 1 mSv voor kinderen tot en met 10 jaar, 3 mSv voor volwassenen en 15 mSv voor personen van 60 jaar en ouder [18]. Deze waarden zijn in overeenstemming met de Europese aanbevelingen [23] en zijn gebaseerd op stralingsrisicofactoren. In het BS [10] staat: “personen die willens en wetens doch niet beroepshalve hulp en bijstand verlenen aan diegene die een blootstelling ondergaat”. Huisgenoten en/of verzorgenden kunnen gezien worden als personen die willens en wetens bijstand verlenen. Kinderen vallen hier dus niet onder, zij weten niet wat een blootstelling inhoudt en stellen zich dus niet vrijwillig bloot.

Om inzicht te krijgen in welke dosis familieleden en omstanders op kunnen lopen als gevolg van een patiënt die behandeld is met ^{131}I zijn er verschillende studies uitgevoerd. Barrington et al. [21] hebben bijvoorbeeld met behulp van TLD-badges de dosis van familie en reisgenoten gemeten. In Tabel 7 en Tabel 8 zijn doseswaarden gegeven uit deze studie. Het blijkt dat de dosis sterk kan variëren en o.a. afhankelijk is van het wel of niet opvolgen en ook het soort van voorgeschreven leefregels. Als de leefregels worden opgevolgd blijken ook familieleden (huisgenoten/verzorgenden) onder de grens van 1 mSv te blijven.

Tabel 7 Geschatte doses voor volwassen familieleden (n=31) gebaseerd op het aantal dagen dat de dosismeter is gedragen en de hoeveelheid ^{131}I -activiteit die de patiënt heeft toegediend gekregen volgens Barrington et al. [21]

	Activiteit (MBq)	Dagen TLD's gedragen	Dosis (mSv)
Minimum	200	9	0,2
Maximum	608	42	5,8
Mediaan	388	21	0,5

Tabel 8 Geschatte doses voor kinderen (n=79) gebaseerd op het aantal dagen dat de dosimeters zijn gedragen, de leeftijd van de kinderen en de ^{131}I -activiteit die de patiënt heeft toegediend gekregen volgens Barrington et al. [21]

	Activiteit (MBq)	Dagen gedragen	TLD's Leeftijd (jaren)	Dosis (mSv)
Minimum	195	6	0,4	0,2
Maximum	800	47	17	7,2
Mediaan	377	21	8	-

- geen info

Verschillende publicaties [20, 21, 22] maken nog eens duidelijk dat het nodig is om extra aandacht te blijven geven aan kleine kinderen, aangezien zij extra gevoelig zijn voor straling. Als de behandelde patiënt de verzorgende ouder is, dan zien de onderzoekers dat

de dosis voor een kind op kan lopen tot soms zelfs boven de 5 mSv (Tabel 8), al is dit een uitzondering.

Barrington et al. [21] hebben ook metingen gedaan bij personen die alleen meereisden met de behandelde patiënt en hier blijkt dat tijdens het eerste uur van een reis de opgelopen dosis varieert van 2 – 520 μSv (toegediende activiteit 195 – 800 MBq) met een mediaan van 30 μSv . ICRP 94 [22] gaat uitgebreid in op de mogelijke risico's van de omgeving na ontslag van behandelde patiënten. Hierin wordt ook aangegeven dat behandelde patiënten die reizen vrijwel nooit een risico zijn voor mede passagiers als de reistijd beperkt blijft tot een paar uur. De beslissing of een patiënt moet worden opgenomen en wanneer hij/zij wordt ontslagen zou volgens ICRP 94 [22] per patiënt bekeken moeten worden en niet alleen afhankelijk moeten zijn van de restactiviteit in het lichaam van de patiënt. In Nederland is het ook mogelijk om in uitzonderlijke gevallen een patiënt naar huis te laten gaan al is het dosistempo nog niet onder de 20 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Dit moet in overleg met een stralingsdeskundige en er moeten speciale extra leefregels meegegeven worden om de dosis voor de omgeving zo laag mogelijk te houden [18].

In een vergunning zijn de volgende voorwaarden opgenomen:

Bij behandeling van personen met jodium-131 draagt de ondernemer ervoor zorg dat:

1. alvorens een persoon onderzocht of behandeld gaat worden met meer dan 40 MBq jodium-131, die persoon en de naaste omgeving van die persoon wordt voorgelicht en geïnstrueerd zodat na ontslag de nodige voorzorgen in acht genomen kunnen worden;
2. poliklinische behandeling van personen met jodium-131 uitsluitend plaatsvindt wanneer de toegediende hoeveelheid minder bedraagt dan 400 MBq;
3. voorafgaand aan het ontslag uit het ziekenhuis van de onderzochte of behandelde persoon het omgevingsdosisequivalenttempo ter hoogte van elke plaats van het lichaam op 1 meter afstand hoogstens 20 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ bedraagt. De gemeten waarde bij ontslag dient schriftelijk te worden vastgelegd;
4. de patiënt en zijn/haar omgeving voldoende worden voorgelicht en geïnstrueerd met betrekking tot gedragsregels; deze gedragsregels worden gevolgd gedurende de periode die voor verschillende situaties is gegeven in Tabel 9.

Tabel 9 Duur van het opvolgen van leefregels bij een bepaalde restactiviteit in het lichaam volgens een verleende vergunning in het kader van de KEW en het BS

Omgevingsdosis-equivalenttempo bij ontslag op 1 meter van het lichaam ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)	Uitgezonden door een in het lichaam aanwezige activiteit (MBq) ter grootte van:	Periode voor het volgen van ontslagregels:
$\dot{H}^*(10) > 20$	> 400	geen ontslag
$10 < \dot{H}^*(10) \leq 20$	$200 < A \leq 400$	2 weken
$5 < \dot{H}^*(10) \leq 10$	$100 < A \leq 200$	1 week
$3 < \dot{H}^*(10) \leq 5$	$60 < A \leq 100$	4 dagen
$\dot{H}^*(10) \leq 3$	$A \leq 60$	24 uur na toediening

De periode voor het opvolgen van leefregels komt overeen met die uit de EU richtlijn, stralingsbescherming 97 [23], met uitzondering dat deze richtlijn poliklinische behandelingen tot 800 MBq beschrijft. In de Aanbevelingen [18] staan de leefregels ook uitgebreid beschreven.

De maximaal poliklinisch toegediende activiteit ^{131}I ligt in Nederland dus lager dan in bovenstaande studies is beschreven en waarbij de metingen zijn gedaan. Met de geldende leefregels en de duur ervan, zoals deze in Nederland zijn vastgesteld, zullen de ontvangen doses waarschijnlijk niet hoger, maar eerder lager zijn dan de waarden zoals geschat door Barrington et al.

3.6 Lozingen in lucht en water

Feitelijke gegevens over lozingen in lucht en water van medische instellingen ontbreken vrijwel geheel. Berekeningen worden bij een aanvraag voor een vergunning gedaan op basis van inkoopgegevens, de voorraad en soms op het gebruik van radionucliden.

De maximaal vergunde lozingslimiet in lucht voor de 21 instellingen waar een afdeling radiotherapie is of die een samenwerkingsverband hebben met een nabijgelegen ziekenhuis bedraagt $100 \text{ Re}_{\text{inh}}$. Voor lozingen op het riool is de maximale vergunde limiet $500 \text{ Re}_{\text{ing}}$. De maximaal vergunde voorraad van open radioactieve bronnen is $16.000 \text{ Re}_{\text{inh}}$.

Eerdere schattingen [24] hebben uitgewezen dat de jaardosis ten gevolge van lozingen in lucht en water door medische instellingen beneden de $1 \mu\text{Sv}$ per jaar blijft. Vandaar dat er voor gekozen is om lozingen verder buiten beschouwing te laten.

3.7 Handhaving Kernenergiewet

Uit een rapport van VROM-inspectie [25], blijkt dat veel ziekenhuizen niet voldoen aan het naleven van de Kernenergiewet op basis van de verstrekte vergunning. Vooral het niet goed op orde hebben van een stralingshygiënisch zorgsysteem was bij de meeste ziekenhuizen een punt van zorg. Bij de inspectie is onder andere gekeken naar de administratie betreffende het ontslag van patiënten behandeld met ^{131}I en naar de limieten

van lozingen en externe straling. In deze categorieën zijn de minste overtredingen geconstateerd en er is niet gebleken dat ziekenhuizen in het algemeen onzorgvuldig zouden omgaan met de belasting van het milieu. Deze constatering is gedaan op basis van jaarverslagen die verplicht zijn in het kader van de verleende vergunning, al zijn deze jaarverslagen niet altijd op tijd en volledig bij de directie van een ziekenhuis aanwezig. De inspectie geeft in het rapport ook aan in de komende jaren prioriteit te geven aan inspectie bij de ziekenhuizen.

Een rapport van de Inspectie voor de Gezondheidszorg (IGZ) over de nucleaire geneeskunde [26] betreft kwaliteitswaarborgen op de afdeling. Hoewel dit rapport vooral gericht is op de situatie van de patiënt binnen de nucleaire geneeskunde is er wel vastgesteld dat een aantal afdelingen een verouderde vergunning heeft. Enkele ziekenhuizen waren niet in het bezit van een commissie stralingshygiëne en waar de commissies wel aanwezig zijn, houden die zich eerder bezig met milieuaspecten van straling dan met de stralingsbelasting van de patiënt. Deze bevindingen worden ook vermeld in een rapportage van IGZ over kwaliteitswaarborgen op afdelingen radiologie [27].

3.8 Conclusies

Als het gaat om de stralingsbelasting aan de terreingrens van een medische instelling kan worden vastgesteld dat het gebruik van ioniserende straling voor diagnostische doeleinden onder reguliere omstandigheden geen rol van betekenis speelt.

De capaciteit van de radiotherapie in Nederland is de laatste jaren duidelijk toegenomen. Er is een groei te zien in het aantal vergunde lineaire versnellers in Nederland. Het aantal is met 19 versnellers gestegen ten opzichte van 2003 [4].

Patiënten die behandeld zijn met radioactief ^{131}I zijn een bron van straling voor hun omgeving. Goede mondelinge en schriftelijke instructies, welke verplicht zijn, zorgen ervoor dat de omgeving minimaal belast wordt.

De stralingsbelasting door lozingen in lucht en water door medische instellingen is minder dan $1\text{ }\mu\text{Sv}$ per jaar.

4 Niet-Destructief Onderzoek

4.1 Inleiding

Er zijn géén ingrijpende veranderingen geweest ten opzichte van de gegevens over het Niet-Destructief Onderzoek (NDO) in Nederland, die in het vorige rapport [4] over het jaar 2002 vermeld zijn. Voor dit rapport is getracht een schatting te maken van de stralingsbelasting bij die locaties waar de meeste opnamen worden gemaakt, uitgaande van de meldingen van de bedrijven aan VROM-Inspectie van het vooraf geplande aantal opnamen en het achteraf uitgevoerde aantal opnamen.

De in het vorige rapport onderzochte bedrijven zijn ten behoeve van het voorliggende rapport aangeschreven. Twee bedrijven (RTD en SGS) hebben gedetailleerde gegevens aan VROM en aan RIVM geleverd. Voor de andere bedrijven geldt dat de gegevensverzameling heeft plaatsgevonden gebruikmakende van informatie zoals die bekend was bij VROM-inspectie.

De verantwoording van de te onderzoeken bedrijven en de in de recente jaren gewijzigde vergunningen worden tevens in dit hoofdstuk kort toegelicht.

4.2 Toe te lichten bedrijven

Voor dit overzicht beperken wij ons tot de bedrijven die

- een melding doen bij overschrijding van 3300 opnamen op een locatie, én
- meer dan 20.000 opnamen per jaar doen

Zodoende wordt de aandacht gevestigd op de grote bedrijven die NDO-verrichtingen voor klanten in het hele land uitvoeren.

Het toepassen van dit criterium geeft slechts één verandering ten opzichte van het vorige rapport. KLM-Air France namelijk komt, met 3.500 opnamen, niet meer in het overzicht voor. Het merendeel van de opnamen worden gemaakt in een daartoe bestemde röntgencabine, en maar 10% op andere locaties in Schiphol-Oost.

4.3 De meest recente vergunningen

In Tabel 10 zijn, voor bedrijven die niet-destructief onderzoek uitvoeren, de recent gewijzigde vergunningen gegeven. Deze vergunningen staan integraal op Internet via de website de Arbeidsinspectie van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. Voor RTD betreft het een complexvergunning.

Tabel 10 De vergunningen die recent gewijzigd zijn

bedrijf	datum	nummer AI/IO/BES	externe straling (μSv)	aantal röntgen- toestellen
RTD Rotterdam	25-08-2004	2003/19771	MID 10 AID 30*	505
(loc. Dordrecht)	31-03-2005	2005/22065	MID 10	-
SGS Spijkenisse	01-04-2004	2004/20223	MID 10 AID 90**	70
AIB-Vinçotte Breda	14-09-2004	2004/53260	AID 5	35

*hoogste waarde, locatie Vlissingen

**hoogste waarde, locaties Spijkenisse en Nieuwdorp

4.3.1 Overzicht röntgentoestellen

Er zijn géén drastische veranderingen waargenomen ten opzichte van het vorige rapport [4]. In dit overzicht wordt nu in tegenstelling tot het voorgaande rapport een duidelijk verschil tussen apparaten in vaste (Tabel 11) en in mobiele opstellingen (Tabel 12) gemaakt. De verwachting is dat apparaten in vaste opstellingen goed zijn afgeschermd.

Tabel 11 Apparaten in vaste opstellingen: lineaire versnellers en röntgenapparaten >320 kV

bedrijf	aantal	Type	maximale spanning (MV)	peildatum
RTD	1	Betatron	6	20-9-04
Stork	1	Philips MCN 421 (bouw 1978)	0,420	26-8-04

Tabel 12 Aantal mobiele röntgentoestellen met maximale spanning >100 kV en $\leq$ 320 kV

bedrijf	aantal	peildatum
RTD	350	jaar 2003
SGS	33	2-2004
MME	géén melding	géén melding
AIB-Vinçotte	15 directioneel 2 panoramisch	27-2-2004
Stork	4	31-12-2003

4.3.2 Overzicht radioactieve bronnen

Voor het overzicht van de gebruikte radioactieve bronnen wordt het accent op radiografie gelegd: de ijkbronnen zoals ^{137}Cs en bronnen voor materiaalidentificatie "Positive Material Identification" (^{241}Am , ^{109}Cd en ^{55}Fe) zijn in Tabel 13 niet vermeld.

Tabel 13 Aantal radioactieve bronnen per bedrijf

Bedrijf	aantal bronnen	nuclide	activiteit (TBq)	peildatum
RTD	13	^{60}Co		04-2-2005
	248*	^{192}Ir	< 1	30-6-2003
	32*	^{192}Ir	> 1	
	11	^{75}Se		
SGS	20	^{192}Ir	1,5 maximaal	2-2004
	2	^{60}Co	0,74 maximaal	
MME				géén melding
AIB-Vinçotte	27	^{192}Ir	< 1,4 (0,22 gemiddeld)	26-7-2004
	2	^{75}Se	< 1,1	
Stork	1	^{60}Co	1,6	31-12-2003
	2	^{192}Ir	1,7 maximaal	

* Aangekochte bronnen in de loop van 2003, het geeft een goede schatting van het gemiddelde aantal aanwezige bronnen (bron: e-mail van RTD op 03-09-2004)

4.3.3 Aantal opnamen per bedrijf per jaar

Voor ieder bedrijf is in Tabel 14 het aantal opnamen per jaar weergegeven. Het totale aantal opnamen per jaar, voor de bedrijven die gegevens aan ons hebben willen verstrekken, is met 5% gestegen. Dit ligt binnen de normale fluctuaties in het werkaanbod. Dit wordt bijvoorbeeld gestuurd door het aantal 'turnarounds' (geplande bedrijfsstops waarin aan de pijpleidingen gewerkt mag worden) in de petrochemie.

Tabel 14 Overzicht aantal opnamen per bedrijf per jaar

	1999	2000	2001	2002	2003	jaarlijks gemiddelde (* 1.000)
RTD	481.938*	468.364*	494.491*	439.727*	470.000	471
SGS			160.000	215.000	225.000	200
MME				105.000	niet gemeld	100
AIB-Vinçotte		71.268	88.458	93.644	87.712**	85
Stork				23.700	28.500	26
Totaal				880.571	> 814.721	885
Totaal (MME uitgezonderd)				775.571	814.721	

* Deze getallen zijn eigenlijk niet voor de aangegeven jaren bekend, maar voor de fiscale jaren 1999/2000, 2000/01, 2001/02 en 2002/03 respectievelijk.** Van AIB-Vinçotte zijn er 1.168 opnamen op het continentaal plat hier niet meegerekend, omdat ze geen bijdrage aan de dosis in Nederland leveren

SGS opereert op 13 locaties waar een melding voor overschrijding van de 3.300 opnamen per jaar bestaat: op deze locaties wordt er een totaal van 116.000 opnamen gemaakt. Op de overige 170 locaties kan er een gemiddeld van 641 opnamen per locatie worden afgeleid. Stork meldt een totaal aantal opnamen van 1.500 over alle locaties samen, de stralingsbunker (25.000 opnamen/jaar) en de werkplaats (2.000 opnamen/jaar) niet meerekenend.

Er is een klein verschil (enkele procenten) tussen het werkelijke aantal opnamen en het aantal boven opgegeven opnamen, zoals het door de bedrijven wordt gerapporteerd. Het verschil treedt op doordat het door de bedrijven vermelde aantal opnamen soms het aantal belichte films is, soms het aantal dat wordt doorberekend aan de opdrachtgever en soms het aantal gekochte films. Bovendien worden bij sommige technieken meerdere films belicht door middel van één opname. Met betrekking tot de administratie wordt in Bs art. 121 het aantal opnamen gelijk gesteld aan het aantal gebruikte films.

4.3.4 Meldingen van meer dan 3300 opnamen per locatie

In het vorige RIVM-rapport [4] zijn de aan SZW gedane meldingen in kaart gebracht, voor de locaties waar het aantal van 3300 in 2002 wordt overschreden (Figuur 28). Voor 2003 zijn er in de archieven van SZW alléén voor een beperkt aantal locaties nieuwe of herziene meldingen te vinden. Dit is te verklaren doordat de meldingen voor bijna alle locaties conservatieve schattingen zijn. Door de twee grootste bedrijven worden voor de meeste locaties, waarvoor een melding is gedaan, minder opnamen in werkelijkheid gemaakt dan het (vooraf) gemelde aantal.

Voor de schatting van de dosis op basis van de gemelde NDO-werkzaamheden wordt voor dit rapport twee methoden gehanteerd. Één volgens het Besluit Stralingsbescherming en één op basis van de rekenmethode uit RIVM-rapport 861020003/2004 [4].

Volgens Bs art. 121, vierde lid, moet degene die binnen een locatie NDO handelingen gaat verrichten een redelijk vermoeden heeft dat het totale aantal opnamen het aantal van 3300 voor die locatie in een kalenderjaar zal overschrijden, onmiddellijk een melding maken aan VROM en de opdrachtgever. Dat gebeurt middels een meldingsformulier, waarin voor grote locaties de AID gelijk aan nul wordt gesteld. Voor kleine (of “niet-grote”, met één der buitenzijden kleiner dan 200 m) locaties wordt, in [28], een MID van $0,03 \mu\text{Sv}$ per opname geschat. Op basis van een dosisschatting (in BMS Jaarrapport 2003) komt RIVM tot een realistisch conservatieve schatting voor de MID van $0,39 \mu\text{Sv}$ per opname.

Voor de “niet-grote” locaties is het mogelijk om de in de melding beschikbare gegevens te gebruiken om de AID op de terreingrens te berekenen volgens de RIVM benadering. Daar wordt de MID aan de terreingrens voor een 200 kVp röntgenbuis op 25 m afstand van de bron gelijk gesteld aan $0,39 \mu\text{Sv}$. De afstandscorrectie wordt verder toegepast op deze waarde, aannemend dat de buis zicht in het midden van het terrein bevindt (de kortste afmeting wordt in de berekening meegenomen). Voor kleine terreinen wordt voor deze schattingen de AID volgens de gegevens in de meldingsformulieren conform Bs art. 121, vierde lid, de volgende gegevens gebruikt¹:

¹ Voor sommige getallen wijkt de AID af van de vermelde getallen in de meldingsformulieren, vanwege onduidelijke optellingen hierin, AID-waarden die niet door NDO-handelingen worden veroorzaakt, etc.

- aantal opnamen,
- (de kortste) afmeting terrein,
- ABC factor,
- de (toegepaste) verzwakkingfactor.

Gebruikmakend van deze gegevens wordt de AID volgens Bs en volgens RIVM voor het jaar 2003 berekend.

De 11 locaties waarvoor de RIVM-methode voor 2003 een AID-waarde berekent boven het secundair niveau van 10 μSv zijn in Tabel 15, Tabel 16 en Figuur 3 weergegeven. Voor zeven locaties is de schatting van de AID volgens de RIVM-methode tevens hoger dan de locatielimiet.

RTD en SGS hebben een lijst gegeven van het verwachte (gemelde) en werkelijke aantal overschrijdingen van 3300 opnamen per locatie. Dit is gegeven in Figuur 5.

Tabel 15 Dosisschatting voor locaties van opdrachtgevers, anders dan het NDO-bedrijf zelf, waar de AID in 2003 volgens het RIVM-scenario boven het secundair niveau van 10 μSv uitkomt.

gemeente	geldig vanaf	meldings-datum	NDO-bedrijf	opdrachtgever	Verzwak-kingsfactor	AID (μSv) volgens	
						Bs	RIVM
Sneek	2003+	18-06-03	MME	Hovrieka Nirota	0,1	$1,9 \cdot 10^1$	$2,0 \cdot 10^1$
Veenwouden	1997+	16-02-98	MME	Diversen	0,0625	$1,1 \cdot 10^1$	$3,4 \cdot 10^1$
Ridderkerk	1997+	16-02-98	MME	Diversen	0,01	$6,0 \cdot 10^0$	$1,5 \cdot 10^2$
Slidrecht	2003*	03-11-03	MME	Kooiman App.	0,0625	$9,4 \cdot 10^1$	$3,7 \cdot 10^2$
Ijmuiden	1997++	16-02-98	MME	Diversen	0,01	$4,8 \cdot 10^0$	$3,9 \cdot 10^2$
Eindhoven	2003+	18-06-03	MME	Zuilemaer BV	0,25	$2,4 \cdot 10^1$	$4,8 \cdot 10^2$
Hengelo	1997++	16-02-98	MME	Diversen	0,01	$4,8 \cdot 10^0$	$6,9 \cdot 10^2$

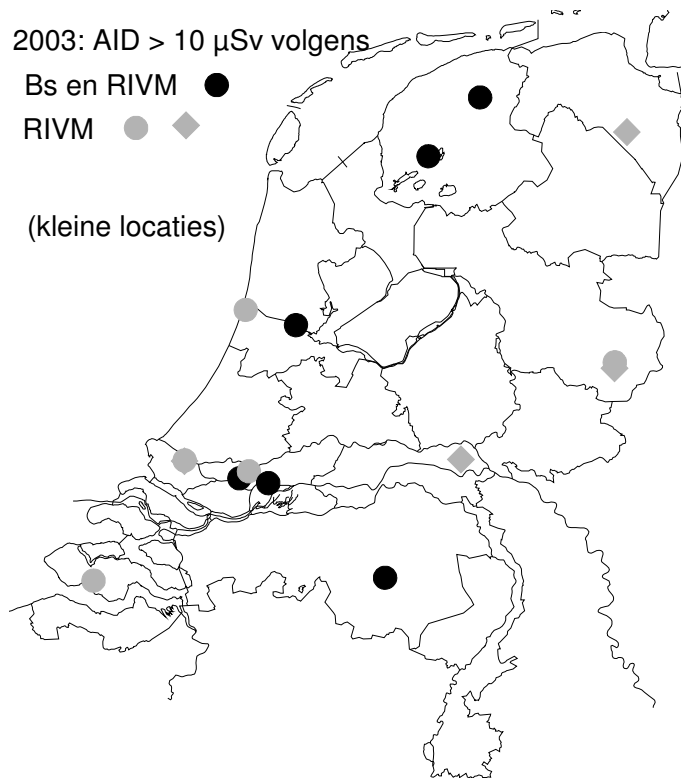
+ wijst meldingen aan wiens status “geldend voor meerdere jaren” is

++ wijst meldingen aan wiens status “éénmalig of geldend voor meerdere jaren” is

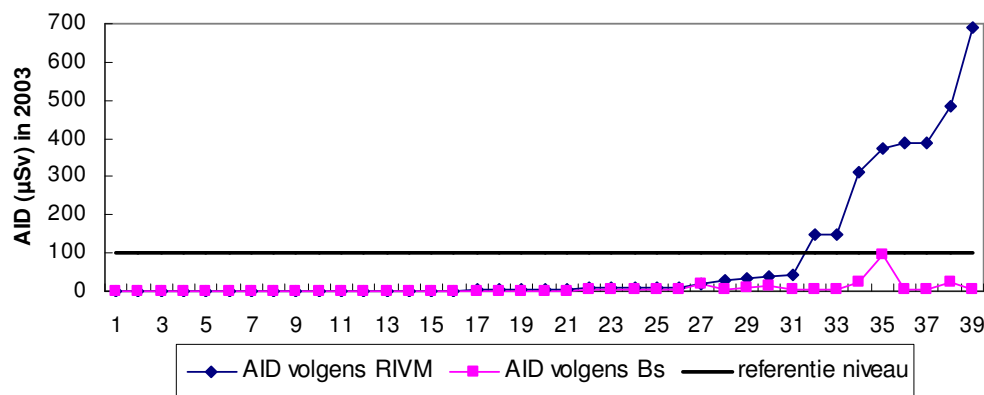
* in melding uitdrukkelijk als éénmalige melding aangeduid.

Tabel 16 Dosisschatting voor vestigingen van het RTD bedrijf waar de AID in 2003 volgens het RIVM-scenario boven het secundair niveau van 10 μSv uitkomt.

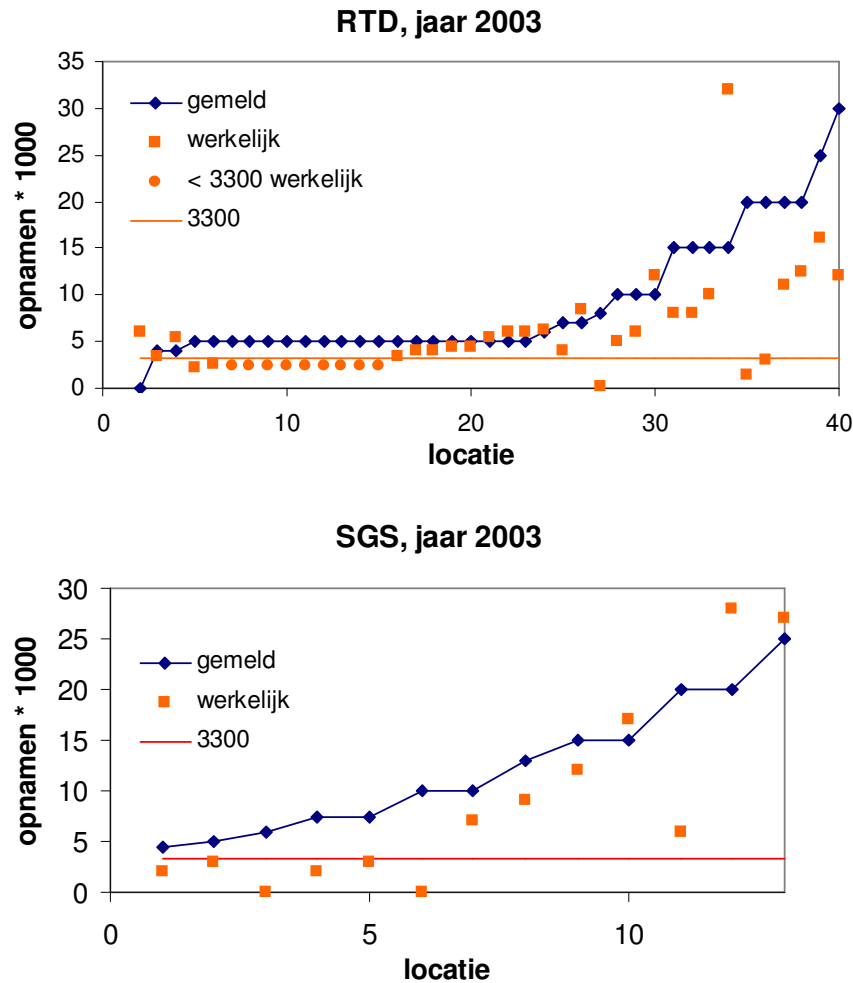
gemeente	geldig vanaf	meldings-datum	NDO-bedrijf	Adres vestiging	Verzwak-kingsfactor	AID (μSv) volgens	
						Bs	RIVM
Hengelo	2003	02-07-03	RTD	Topaasstraat 14	0,02	$2,4 \cdot 10^0$	$3,1 \cdot 10^1$
Veendam	2003	02-07-03	RTD	Schipperstraat 35	0,02	$4,8 \cdot 10^0$	$4,3 \cdot 10^1$
Rozenburg	2003	02-07-03	RTD	Oranjelaan 58	0,02	$4,2 \cdot 10^0$	$1,5 \cdot 10^2$
Elst	2003	02-07-03	RTD	Nijverheidsweg 1	0,02	$4,8 \cdot 10^0$	$3,9 \cdot 10^2$



Figuur 3 Dosisschatting voor kleine locaties waar de AID in 2003 volgens het RIVM-scenario boven het secundair niveau van 10 μSv uitkomt. De RTD-vestigingen zijn door ruiten aangeduid. Een ruit geeft een locatie aan van een RTD-vestiging.



Figuur 4 Berekende dosis (AID) volgens RIVM-scenario (gesorteerd op oplopende waarde) voor 39 kleine locaties waarvoor er meldingen voor het jaar 2003 zijn gedaan naar SZW (info d.d. november 2004).



Figuur 5 Gemelde en werkelijke gemaakte opnamen per gemelde locatie voor RTD en SGS. Voor de situatie bij RTD is onderscheid gemaakt tussen het aantal opnamen dat werkelijk gemaakt is en het aantal dat is aangeduid <3300, zonder nadere specificatie.

4.4 Conclusies

Ten opzichte van 2002 is in 2003 het aantal bronnen, röntgentoestellen en aantal opnamen binnen 5% gelijk gebleven. Dankzij het ter beschikking stellen van de eigen administratie door RTD en SGS is het duidelijk geworden dat de gedane meldingen vrijwel altijd een overschatting van de werkelijke gedane opnamen betreffen, zoals mocht worden verwacht. Een realistisch conservatieve dosisschatting volgens een RIVM-methode levert elf locaties waarvoor het vermoeden bestaat dat het secundair niveau van 10 μSv (AID) wordt overschreden. Voor zeven locaties wordt volgens de RIVM-methode tevens de locatielimiet overschreden.

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, CP Tanzi, JWE van Dijk, 'Emissies en doses door de procesindustrie', Jaarrapport 2004 'Beleidsmonitoring straling', RIVM rapport 861020009/2005, Bilthoven, 2005.
- 3 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, Bilthoven, 2002.
- 4 Eleveld H, CP Tanzi, H Bijwaard, PJM Kwakman, EJ Meeuwssen, 'Emissies en doses door bronnen van ioniserende straling in Nederland', Jaarrapport 2003 'Beleidsmonitoring Straling', RIVM rapport 861020003/2004, Bilthoven, 2004.
- 5 Eleveld H, 'Ionising radiation exposure in the Netherlands'. RIVM report 861020002/2003, Bilthoven, 2003.
- 6 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.
- 7 Eleveld H, PJM Kwakman, '2005 OSPAR Report on information about, and the assessment of, the application of BAT in Nuclear facilities', RIVM/LSO paper 561/04, Bilthoven, 2004.
- 8 Van Hienen JFA, PM Roelofsen, AW van Weers, AD Poley, 'Gevolgen van lozingen bij normaal bedrijf van Nederlandse kerninstallaties', OLP rapport c-90-015, Petten, 1990.
- 9 KeW, Kernenergiewet, Staatsblad 1963, 82.
- 10 BS, Besluit van 16 juli 2001, houdende vaststelling van het Besluit stralingsbescherming, Staatscourant 2002, 49.
- 11 NCRP report 147, 'Structural shielding design for medical X-ray imaging facilities', Bethesda, VS, 2004.
- 12 NCRP report 49, 'Structural shielding design and evaluation for medical use of X rays and gamma rays of energies up to 10 MeV', Bethesda, VS, 1976.
- 13 Shapiro B, T Thijssen, R de Jong, 'Stralingsdosis aan de terreingrens door radiodiagnostiek', NVS nieuws, 25(4), 2000.
- 14 Hummel WA, CJ Huyskens, 'Afscherming van röntgendiagnostiekkamers', Klinische Fysica, december 1992.
- 15 Planningsbesluit radiotherapie 2000, Staatscourant 2000, 186.
- 16 Centrum voor Radiotherapie, Bouwmaatstaven voor nieuwbouw, College Bouw Ziekenhuisvoorzieningen, Utrecht, 2003.
- 17 Ministeries van VROM, SZW en VWS, Richtlijn radionuclidetherapie, Deel 1: Jodium-131-therapie voor schildklieraandoeningen, februari 1996, Ministerie van VROM Den Haag.

- 18 Ministeries van VROM en SZW en de NVNG, Aanbevelingen; Het werken met therapeutische doses radionucliden, augustus 2004, Werkgroep Radionuclidentherapie Ministerie van VROM Den Haag.
- 19 Blokland JAK, KS Wiarda (red), 'Aanbevelingen Nucleaire Geneeskunde', Commissie Kwaliteitsbevordering van de NVNG, Eburon Delft, 2000.
- 20 Mathieu I, et al., 'Recommended restrictions after ^{131}I therapy: measured doses in family members', Health Physics 76(2): 129-136, 1999.
- 21 Barrington SF, et al., Radiation exposure of the families of outpatients treated with radioiodine (iodine-131) for hyperthyroidism. European Journal of Nuclear Medicine 26(7), 1999.
- 22 ICRP Publication 94, J Valentin (red), 'Release of patients after therapy with unsealed radionuclides', Elsevier Amsterdam, 2004.
- 23 Stralingsbescherming 97, Stralingsbescherming na jodium-131-therapie (blootstellingen door poliklinische patiënten of ontslagen klinische patiënten). Europese Commissie, Luxemburg, 1998.
- 24 Pruppers MJM, RO Blaauboer, Gevolgen van nieuwe vergunningsplichtige grenzen voor lozingen in lucht en water door radionuclidenlaboratoria, RIVM rapport 610053003/2002, Bilthoven, 2002.
- 25 Ministerie van VROM, Op visite, Naleving van de Kernenergiewet door ziekenhuizen in de periode van 2001 t/m 2003, Den Haag.
- 26 Inspectie voor de Gezondheidszorg, Nucleaire Geneeskunde, Kwaliteitswaarborgen afdelingen nucleaire geneeskunde voor verbetering vatbaar, Den Haag, 2002.
- 27 Inspectie voor de Gezondheidszorg, Kwaliteitswaarborgen op afdelingen radiologie, Den Haag, 2002.
- 28 Zuur C, Advies Werkgroep I betreffende Mobiele Bronnen, Den Haag, 1996.

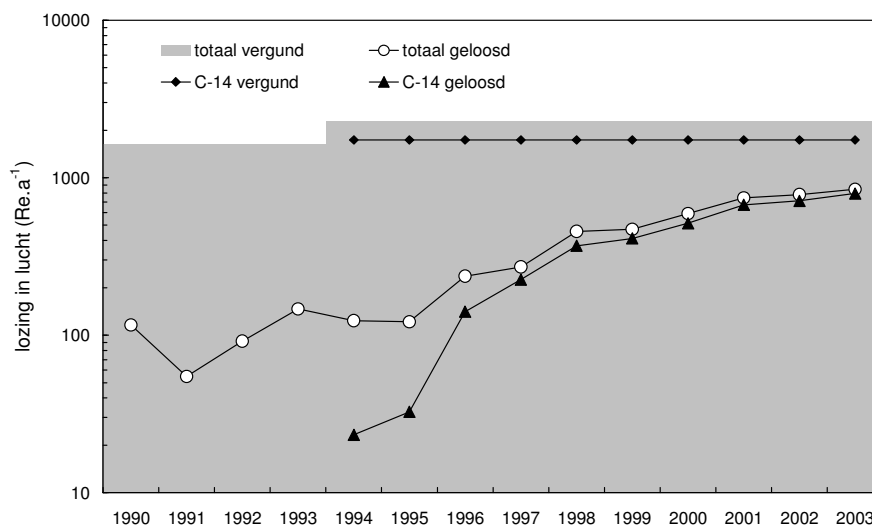
Bijlage A Afkortingen

ABC-factoren	Actuele Blootstellingscorrectiefactoren
ALARA	‘As Low As Reasonable Achievable’: zo laag als redelijkerwijze haalbaar
AID	Actuele Individuele Dosis
BS	Besluit Stralingsbescherming
COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval, Vlissingen
DC	Dosiscoëfficiënt
DGM	Directoraat Generaal Milieu van Ministerie van VROM
EJZ	Enquête Jaarcijfers Ziekenhuizen
EPZ	N.V. Elektriciteitsproductiemaatschappij Zuid-Nederland
GGD	Gemeentelijke Gezondheidsdienst
GKN	Gemeenschappelijke Kernenergiecentrale Nederland, Dodewaard
HABOG	Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslaggebouw bij COVRA
HTP	‘High Thermal Performance’
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ID	Individuele Dosis
IGZ	Inspectie voor de Gezondheidszorg
IRI	Interfacultair Reactor Instituut te Delft, tegenwoordig RID
JAZ	Jaarenquête Academische Ziekenhuizen
JBD	Jaarenquête Beeldvormende Diagnostiek
KCB	Kernenergiecentrale Borssele
KEW	Kernenergiewet
KREM	Ketenmodel Reguliere Emissies
LFR	Lage Flux Reactor te Petten”
MID	Multifunctionele Individuele Dosis
MR-AGIS	Ministeriële Regeling Analyse Gevolgen van Ioniserende Straling
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements
NDO	Niet-Destructief Onderzoek
OLP	Onderzoekslocatie Petten
Re	Radiotoxiciteitsequivalent
RID	Reactor Instituut Delft, voorheen IRI
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
SN	Secundair Niveau
SZW	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid
TLD	Thermoluminescentie Dosimetrie
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

Bijlage B Data voor alle nucleaire installaties

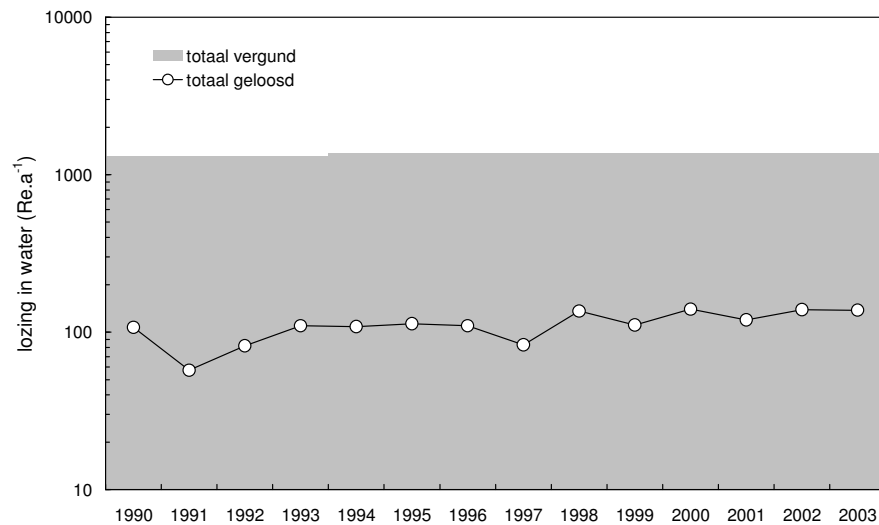
Kerncentrale Borssele (KCB)

In Figuur B6 en in Tabel 1 worden de werkelijke lozingen van KCB naar lucht en water vergeleken met de vergunde emissies. 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 daarvóór niet het geval was. Het totaal aan geloosde Re's wordt vrijwel geheel veroorzaakt door ^3H en ^{14}C . De hogere waarden in 1998 - 2003 worden veroorzaakt door een lichte toename van geloosd ^{14}C naar lucht.



Figuur B6 Vergunde en werkelijke lozingen in lucht door KCB in de jaren 1990 – 2003

^{14}C levert verreweg de grootste bijdrage aan de luchtlozingen.

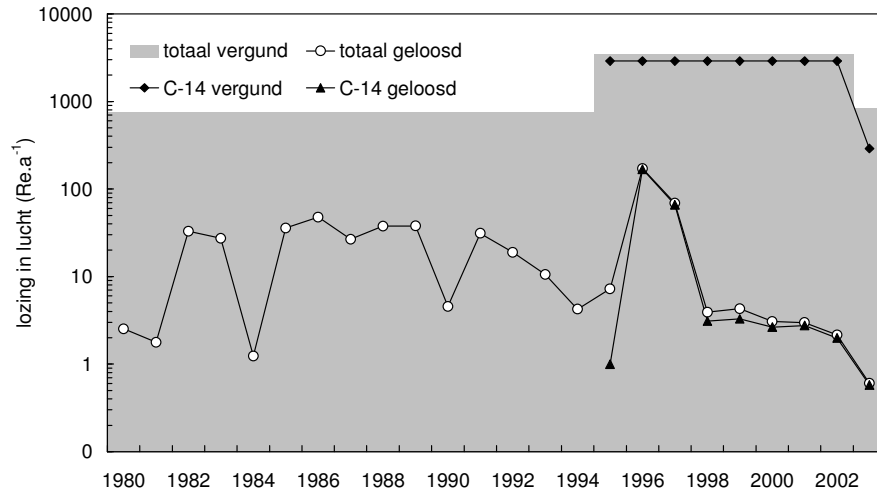


Figuur B7 Vergunde en werkelijke lozingen in water door KCB in de jaren 1990 – 2003

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 ^3H van Ci naar Bq. De jaarlozing van ^3H naar water is doorgaans 20-30 % van de vergunde limiet. Aangezien de productie van deze radionucliden onlosmakelijk verbonden is aan energieopwekking in een PWR (Pressurized Water Reactor of Drukwater reactor), kan de lozing van dit radionuclide alleen met zeer grote inspanning worden verminderd. Dit is in de praktijk nauwelijks haalbaar.

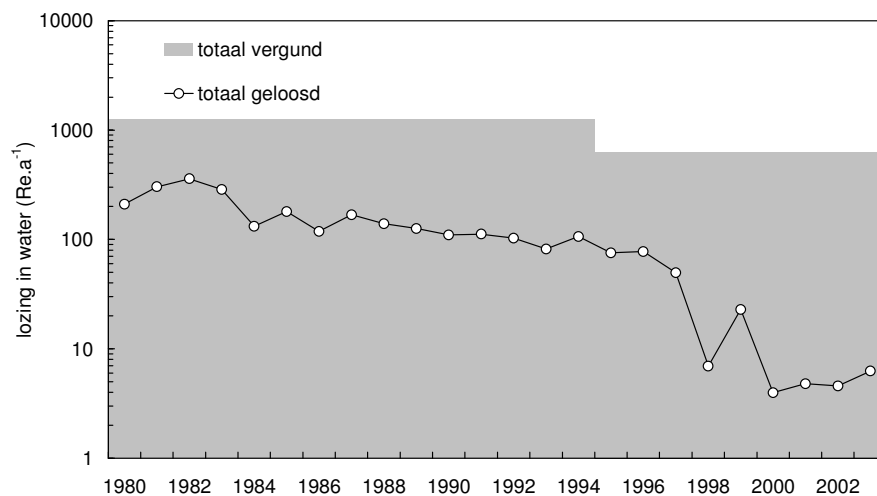
Kerncentrale Dodewaard (GKN)

Evenals bij de luchtlozingen van KCB wordt de knik in de vergunde limieten naar lucht veroorzaakt door een apart opgenomen limiet voor ^{14}C , hetgeen in de daarvoor geldende vergunningen niet het geval was. Het meten van ^{14}C lozingen in lucht vindt ook pas plaats vanaf 1995. Vanaf het staken van de energieproductie is de ^{14}C lozing naar lucht drastisch afgenomen. In 2003 is de hoeveelheid vergund ^{14}C verlaagd van 500 naar 50 GBq.a⁻¹. De lozingen in lucht bedragen een 10 à 15% van die van de midden jaren tachtig van de vorige eeuw.



Figuur B8 Vergunde en werkelijke lozingen in lucht door GKN in de jaren 1980 – 2003

Tot en met 1995 nemen bèta- en gammastralers in water meer dan 90% van de totaal geloosde Re's voor hun rekening. Na 1995 vormen de bèta- en gammastralers in water samen met ^3H en ^{14}C .

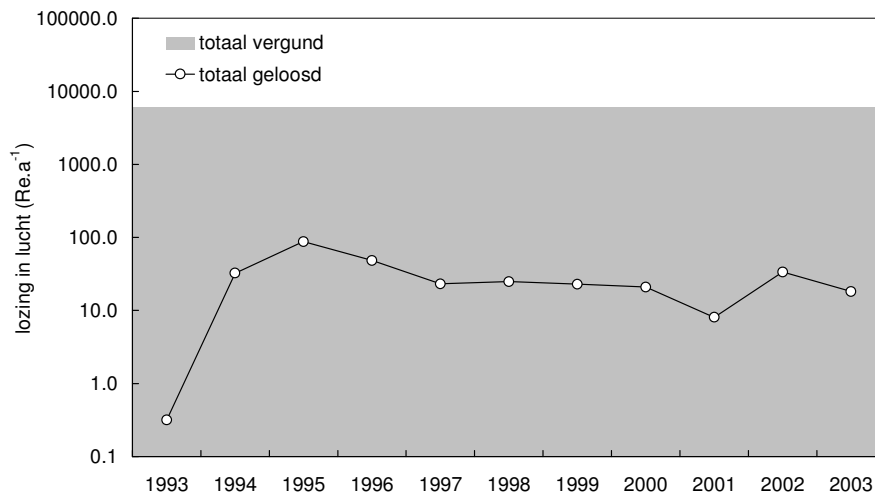


Figuur B9 Vergunde en werkelijke lozingen in water door GKN in de jaren 1980 – 2003

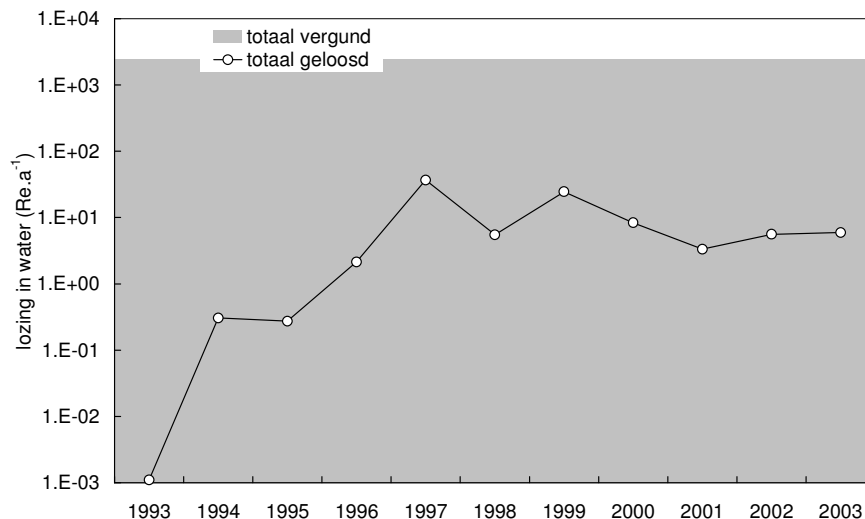
in lucht vrijwel het totaal aan geloosde Re's. Na de sluiting eind maart 1997 resteert er nog een klein aantal waterlozingen. De verlaging van de vergunningslimiet in 1995 komt door een vermindering van de toegestane tritiumlozingen. De lichte stijging in 2003 ten opzichte van de drie voorafgaande jaren wordt veroorzaakt door schoonmaakwerkzaamheden, noodzakelijk bij het afvoeren van splijtstofmateriaal.

COVRA lucht- en waterlozingen

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



Figuur B10 Vergunde en werkelijke lozingen in lucht door COVRA in de jaren 1993 – 2003

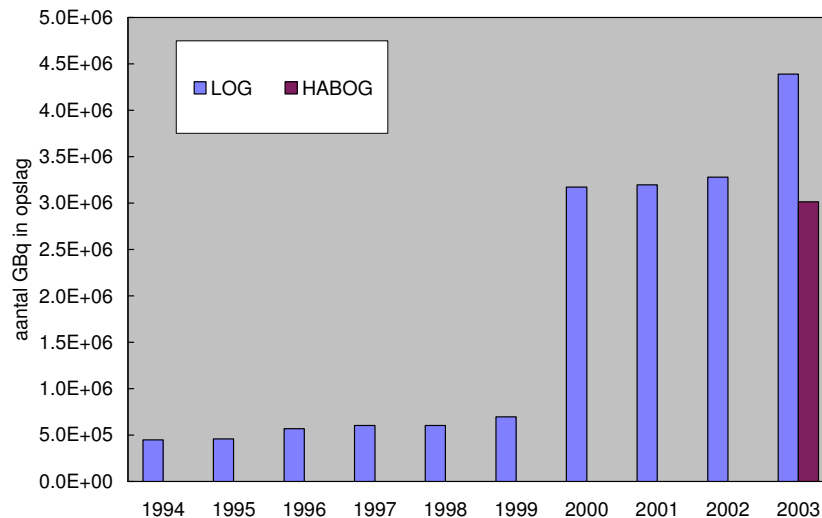


Figuur B11 Vergunde en werkelijke lozingen in water door COVRA in de jaren 1993 – 2003

De lozing naar water in 1993 bedraagt 10^{-3} Re. Omwille van de overzichtelijkheid is de waarde van 0,1 Re ingevoerd. In de waterlozingen worden bèta- en gammastralers zowel gerapporteerd bij 'gamma' als bij 'overig bèta'. 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. De opslag van containers in het COG vindt plaats vanaf 2001 en de opslag van opgebrande splijfstof in het HABOG vindt plaats vanaf najaar 2003.



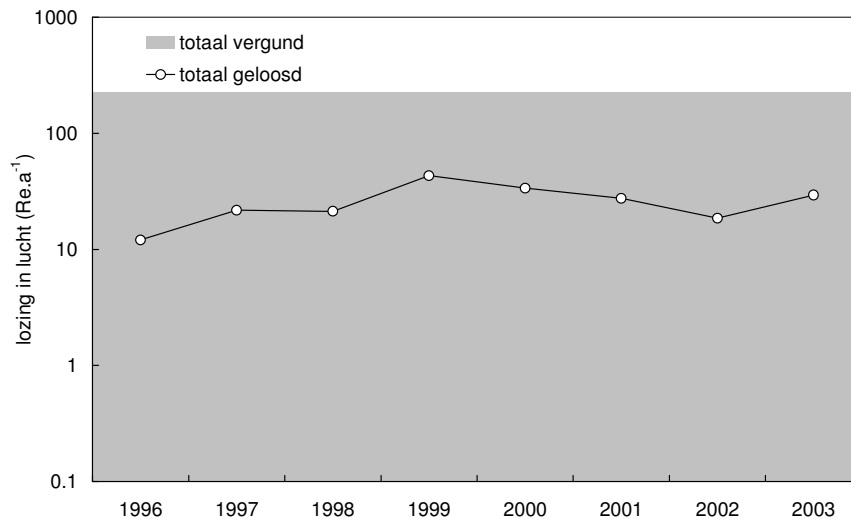
Figuur B12 Aantal GBq radioactief afval opgeslagen bij COVRA

In Figuur B12 staat een totaal aan opgeslagen GBq bij de COVRA. De toename in 2003 is geheel toe te wijzen aan de opslag van opgebrande splijstofstaven. De opslag van radioactief afval in het COG is qua activiteit verwaarloosbaar ten opzichte van het LOG (Laag en middelactief Opslag Gebouw) en het HABOG.

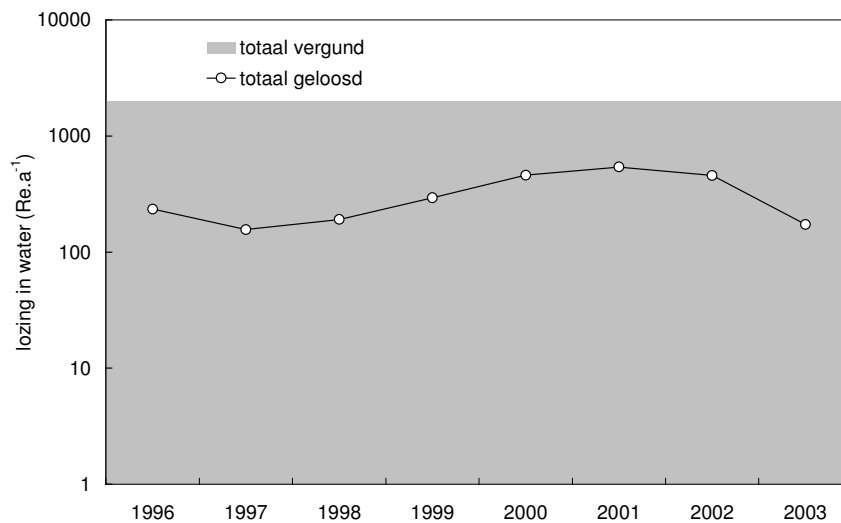
De COVRA heeft een grote hoeveelheid aan radionucliden in opslag. De manier van opslaan bij de COVRA maakt deze radionucliden (vrijwel) niet beschikbaar voor de belastingpaden inhalatie en ingestie. Daarom is ervoor gekozen om de opslag bij de COVRA weer te geven in GBq in plaats van Re_{inh} en Re_{ing}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

Onderzoekslocatie Petten (OLP)

Bij de opgave van lozingen door OLP voor edelgassen is het getal uit de jaarrapportage van OLP overgenomen. OLP 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 OLP een overschatting voor edelgassen geeft van circa een factor 100.



Figuur B13 Vergunde en werkelijke lozingen in lucht door OLP in de jaren 1996 – 2003

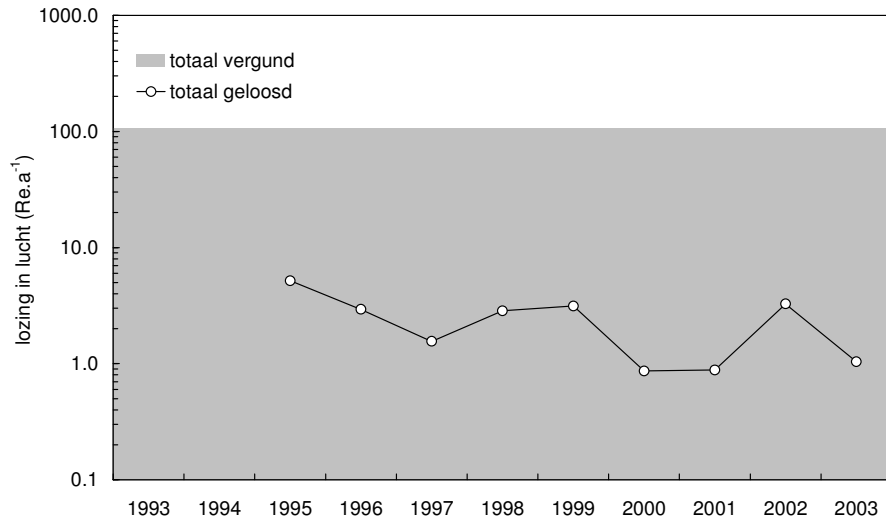


Figuur B14 Vergunde en werkelijke lozingen in water door OLP in de jaren 1996 – 2003

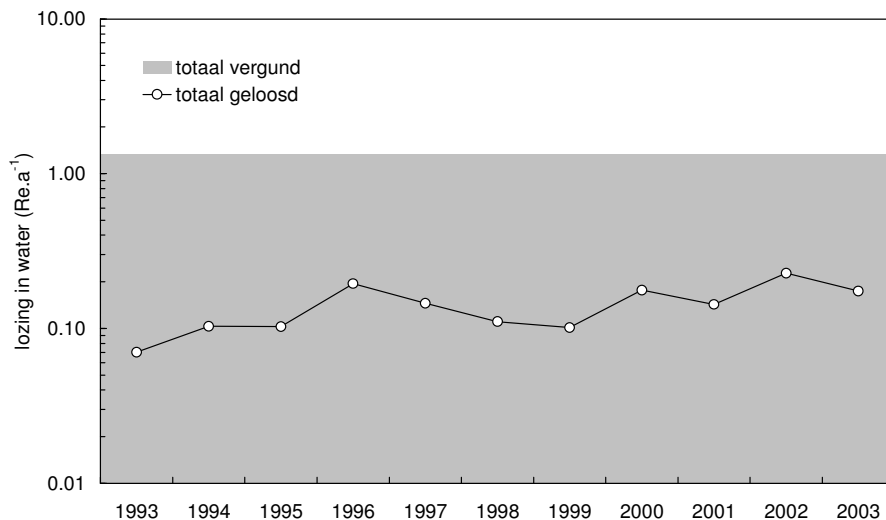
Circa 90% van de geloosde activiteit wordt veroorzaakt door bèta- en gammastralers in afvalwater. De toename in activiteit in vergelijking met 1999 kan voor een deel toegeschreven worden aan activiteiten van de Hoge Flux Reactor. Het totaal aan geloosde Re's in 2003 is circa 9 % van de jaarlijkse maximale lozingslimiet.

Verrijkingsfabriek Urenco

Een belangrijk deel van de geloosde Re's vindt plaats naar lucht. Het gesommeerde ventilatiedebiet van vijf fabrieken (CSB, SP2, SP3, SP4, SP5) bedraagt circa $2 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$. 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 zeer dicht bij de detectiegrens ligt. Gezien de altijd aanwezige totaal- α en totaal- β achtergrond in lucht is die detectiegrens nauwelijks te verlagen. Van 1993 en 1994 zijn geen gegevens over lozingen in lucht bekend.



Figuur B15 Vergunde en werkelijke lozingen in lucht door Urenco in de jaren 1993 – 2003



Figuur B16 Vergunde en werkelijke lozingen in water door Urenco in de jaren 1993 – 2003