

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU
BILTHOVEN

Rapport nr. 610050.001

**Schatting van de totale stralingsbelasting van het
Energie-onderzoek Centrum Nederland, Mallinckrodt
Medical B.V. en het Gemeenschappelijk Centrum voor
Onderzoek van de Europese Unie.**

J. Lembrechts en R.O. Blaauboer

oktober 1997

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Veiligheid en Straling van het Ministerie van VROM en is uitgevoerd onder projectnummer 610050, 'Algemene Ondersteuning Beleid Straling'.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven,
tel. 030-2749111, fax 030-2742971

VERZENDLIJST

1	-	15	Directoraat-Generaal Milieubeheer, directie Stoffen, Veiligheid, Straling
		16	plv. Directeur-Generaal Milieubeheer
		17	Hoofdinspecteur voor de Milieuhygiëne
		18	Depot van Nederlandse publicaties en Nederlandse bibliografie
		19	Directie RIVM
		20	Hoofd afdeling Voorlichting & Public Relations
		21	Directeur Sector Stoffen en Risico's (IV)
		22	Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
		23	Hoofd van de afdeling Modellen en Processen van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
		24	Bibliotheek van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
25	-	26	Auteurs
		27	Bureau Projecten- en Rapportenregistratie
		28	Bibliotheek RIVM
29	-	35	Reserve-exemplaren LSO
36	-	55	Bureau Rapportenbeheer
			mede ter informatie aan:
		56	Dr. A.S. Keverling Buisman, ECN

INHOUDSOPGAVE

VERZENDLIJST	2
SUMMARY	4
SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	6
2. UITGANGSPUNTEN	7
3. BRONNEN	9
3.1 ECN	9
3.2 GCO	9
3.3 MM	9
4. LOZINGEN VAN RADIONUCLIDEN	11
4.1 Vergunde lozingen	11
4.2 Lozingsgegevens: hoeveelheden en nucliden	12
4.3 Conversie van lozingslimieten	14
5. VERSPREIDING: BEREKENINGSMETHODE	16
5.1 Verspreiding van emissies naar lucht	16
5.2 Verspreiding van emissies in water	16
6. DOSIS: BEREKENINGSMETHODE	17
6.1 Relevante blootstellingspaden	17
6.2 Inhalatie	17
6.3 Externe bestraling	17
6.3.1 Bestraling vanuit de wolk en door gedeponeerde nucliden	17
6.3.2 Bestraling aan de terreingrens vanuit de bedrijven	18
6.4 Ingestie	18
6.5 Besmetting van zeevoedsel	19
7. RESULTATEN	20
7.1 Doses door vergunde luchtlozingen	20
7.2 Dosis door vergunde waterlozingen	22
7.3 Dosis door gemeten externe bestraling vanaf het terrein	22
7.4 Totale maximale dosis door het geheel van bedrijven	23
7.5 Dosis door combinatie van de hoogste reële lozingen	23
8. DISCUSSIE EN CONCLUSIES	25
BIJLAGE A: PARAMETERWAARDEN	27
BIJLAGE B: STRALINGSBRONNEN	29
BIJLAGE C: PLATTEGROND	31
BIJLAGE D: AFKORTINGEN	32
REFERENTIES	33

SUMMARY

The Netherlands Energy Research Foundation, Mallinckrodt Medical and the Joint Research Centre of the European Union at the Petten site have several legal permits for using a number of radiation sources and for discharging radioactive waste materials into the air and the sea. In order to gain a clear understanding of the potential cumulation of radiation risks in the environs of the site an assessment was made of the individual effective dose for a hypothetical person living near the fence, based on all permits.

If all discharges to the air meet 100% of the permit limits the maximum dose in the dunes directly bordering the ECN site is estimated to be 10 $\mu\text{Sv/a}$. Exposure to radionuclides in the air, i.e. ^{41}Ar , ^{85}Kr and ^{133}Xe , mainly leads to external irradiation. Important for external irradiation from ground deposited activity is e.g. ^{60}Co , whereas ^3H and ^{131}I contribute to the dose through (potential) consumption of milk from cows grazing at the location of maximum deposition. The maximum dose from the discharges to the North Sea is some 0,1 $\mu\text{Sv/a}$. The direct external radiation is due to stored wastes, and to reactors, accelerators and other equipment situated in several buildings. It is extremely variable in time and amounts to about 20 $\mu\text{Sv/a}$, using a residence time of some 300 hours per year for the dune location with highest exposure levels. The total maximum dose for multifunctional use of the environment therefore amounts to some 30 $\mu\text{Sv/a}$. The estimated dose resulting from the highest actual discharges to water and air is more than ten times smaller than the maximum dose.

SAMENVATTING

Het Energie-onderzoek Centrum Nederland, Mallinckrodt Medical B.V. en het Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek van de Europese Unie, die op hetzelfde bedrijventerrein in Petten zijn gevestigd, beschikken over diverse vergunningen in het kader van de Kernenergiewet. Teneinde een beter inzicht te verkrijgen in de mogelijke cumulatie van stralingsrisico's voor de nabije omgeving, is een berekening gemaakt van de dosis die een omwonende kan oplopen ten gevolge van alle vergunde activiteiten.

Bij lozen naar de lucht van de maximaal vergunde hoeveelheden is de dosis ten hoogste 10 $\mu\text{Sv/a}$ in een duingebied direct grenzend aan het ECN-terrein. De belangrijkste nucliden zijn ^{41}Ar , ^{85}Kr en ^{133}Xe voor wat betreft de externe bestraling door radioactiviteit in de lucht, ^{60}Co voor externe bestraling door de op de grond gedeponeerde activiteit en ^3H en ^{131}I door (potentiële) consumptie van melk afkomstig uit hetzelfde gebied. De dosis door de maximaal vergunde lozingen in zee bedraagt circa 0,1 $\mu\text{Sv/a}$. De externe bestraling direct vanaf het terrein is afkomstig van besmette materialen die op het terrein zijn opgeslagen, en van de reactoren, versnellers en andere apparatuur aanwezig in verschillende gebouwen. Ze varieert sterk in de tijd en bedraagt bij benadering 20 $\mu\text{Sv/a}$ bij een verblijfsduur van 300 u/a op de locatie waar de hoogste waarde is gemeten. De totale maximale dosis voor multifunctioneel gebruik van de omgeving bedraagt dus circa 30 $\mu\text{Sv/a}$. De dosis ten gevolge van de hoogste reële lucht- en waterlozingen is meer dan een factor tien lager dan dit berekende maximum.

1. INLEIDING

Op een bedrijventerrein in de duinen nabij Petten zijn drie bedrijven gelegen die werkzaamheden met splijtstoffen, radioactieve stoffen en toestellen uitvoeren en daarvoor beschikken over de benodigde kernenergiewet-vergunningen. Teneinde een beter inzicht te verkrijgen in de mogelijke cumulatie van stralingsrisico's voor de nabije omgeving heeft de Directie Stoffen, Veiligheid, Straling van het Ministerie van VROM aan het Laboratorium voor Stralingsonderzoek van RIVM gevraagd een schatting te maken van de totale stralingsbelasting ten gevolge van alle activiteiten die plaatsvinden bij de drie volgende bedrijven: het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), Mallinckrodt Medical B.V. (MM) en het Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek van de Europese Unie (GCO).

In dit rapport wordt op basis van modelberekeningen een schatting gemaakt van de maximaal te verwachten dosis voor leden van de algemene bevolking ten gevolge van de vergunde lozingen naar lucht en water en externe straling door de drie bedrijven samen. Vervolgens wordt het becijferde maximum vergeleken met de dosis ten gevolge van actuele lozingen en handelingen, en tenslotte worden de per onderdeel becijferde doses vergeleken met de resultaten van eerder uitgevoerde berekeningen (e.g. uitgevoerd door de vergunninghouder bij aanvragen van een vergunning).

Voorafgaande aan de presentatie en analyse van de resultaten van de berekeningen worden de uitgangspunten en gebruikte rekenmethoden besproken.

2. UITGANGSPUNTEN

Beleidsmatige keuzen die van belang zijn bij het vaststellen en toetsen van de stralingsbelasting door een inrichting, zijn ontleend aan een handleiding van het Ministerie van VROM [1] en het BsK [2]. De belangrijkste elementen hieruit zijn:

- Multifunctionaliteit van de omgeving is het uitgangspunt bij de bepaling van de stralingsbelasting van een individu. Dit betekent dat een bedrijf door zijn aanwezigheid geen extra belemmeringen mag opleveren voor realistisch te achten gebruiksmogelijkheden van de omgeving.
- Indien externe straling vanuit de inrichting en/of de inhalatiedosis ten gevolge van luchtemissies de stralingsbelasting bepalen, dan worden – voor deze blootstellingspaden – de op de betreffende lokatie heersende omstandigheden in rekening gebracht. Indien de op deze wijze bepaalde actuele individuele dosis de bronlimiet niet overschrijdt, bestaat er geen bezwaar tegen het verlenen van een vergunning. Bij veranderende omstandigheden zullen mogelijk aanvullende maatregelen nodig zijn.

In wat volgt zal dus de hypothetische stralingsbelasting van een individu uit een referentiegroep worden bepaald voor de maximaal vergunde lozingen en activiteiten, waarbij de externe straling en/of de inhalatiedosis gecorrigeerd worden voor de actuele situatie. De te maken schattingen hebben enkel betrekking op consequenties bij normaal bedrijf.

In aanvulling hierop gelden ten aanzien van de gemaakte berekeningen volgende beperkingen c.q. randvoorwaarden:

- De bijdrage van externe bestraling aan de dosis door apparatuur op het terrein wordt niet modelmatig berekend, maar wordt afgeleid uit beschikbare meetgegevens. Hiervoor is gekozen omdat er naar verwachting onvoldoende informatie beschikbaar of snel te verzamelen is om de ruimtelijke structuur, afscherming (zoals het reliëf rondom de bebouwing) en aard van de diverse bronnen (e.g. de Hoge Flux Reactor) goed in kaart te brengen. Voor dit onderdeel is dus ook moeilijk een theoretisch maximum vast te stellen.
- De externe straling door aanwezige toestellen wordt niet opnieuw berekend. Voor dit onderdeel wordt volstaan met een inventarisatie van aanwezige toestellen en een beoordeling van in de vergunning opgenomen gegevens.
- Het is niet goed mogelijk de drie onderzoekscentra los van elkaar te behandelen omdat ze gedeeltelijk op elkaars terrein actief zijn. Zo heeft Mallinckrodt Medical bijvoorbeeld molybdeen-labs in het Laboratorium voor Sterk-radioactieve Objecten van ECN. Voor leden van de algemene bevolking is het echter niet interessant of een blootstelling door bedrijf X of bedrijf Y wordt veroorzaakt en daarom is dit overzicht gericht op het bepalen van de totale maximale dosis buiten de buitenste terreingrens.
- De gebruikte dosisconversiecoëfficiënten zijn opgesomd in [3] en komen overeen met deze voorgeschreven in de Euratomrichtlijn 96/29 [4].
- De computerprogramma's die gebruikt worden voor het berekenen van de verspreiding van en blootstelling aan radionucliden zijn gebaseerd op de conceptuele modellen zoals die in het rapport RIBRON [5] zijn vastgelegd. Een aantal van de modelparameters wordt dusdanig gekozen dat de conse-

quantities van het lozen van de vergunde hoeveelheden in eerste instantie worden overschat. Bij de bespreking van de resultaten wordt het effect van deze keuzen behandeld.

Vergunde activiteiten en lozingen zijn geïnventariseerd aan de hand van door het Ministerie van VROM beschikbaar gestelde uittreksels uit de vergunningen [6, 7, 8, 9, 10], en de actuele externe straling en lozingen zijn afgeleid uit documenten die bij de vergunningaanvraag werden overlegd [11, 12] en – voor zover beschikbaar – uit rapporten met lozingsgegevens [13, 14, 15].

3. BRONNEN

Dit overzicht beschrijft kort de bronnen aanwezig bij ECN, GCO en MM. Tevens wordt per bron aangegeven welk type blootstelling kan optreden. Een overzicht van de belangrijkste gegevens per bron is opgenomen in bijlage B, en waar deze zich bevinden is aangegeven in Bijlage C.

3.1 ECN

De Lage Flux Reactor (LFR) met een thermisch vermogen van 30 kW, wordt ingezet voor bestraling van biologisch materiaal en voor activeringsanalyse om de samenstelling van monsters te bepalen.

In het Laboratorium voor Sterk-radioactieve Objecten (LSO) wordt onderzoek uitgevoerd aan splijtstof en aan in de HFR (zie 3.2) of andere kernreactoren bestraalde materialen. Tevens kan het LSO gebruikt worden voor speciale behandelingen van radioactieve componenten en is een speciale vleugel ingericht voor de bereiding van ^{99}Mo ten behoeve van MM (zie 3.3).

Bij ECN worden 5 röntgentoestellen gebruikt (100–300 kV) en 4 röntgendiffractietoestellen (alle 60 kV) [15].

Om het volume van het nucleaire afval zoveel mogelijk te reduceren heeft ECN de beschikking over een decontaminatie-afdeling (DRA), een bewerkingsfaciliteit voor radioactieve vloeistoffen, een interim-opslagfaciliteit voor middel- en hoogactief afval (PL) en een zogeheten bewerkingscel. Deze laatste voorziening maakt het mogelijk, in samenspel met de hot-cells van het LSO, alle radioactieve componenten te bewerken (knippen, persen, etc.), waardoor afvoer naar de COVRA (Borssele) in standaardvaten (100 l) mogelijk wordt.

3.2 GCO

De Hoge Flux Reactor (HFR) is eigendom van het GCO en wordt bedreven door ECN-personeel. De HFR biedt tal van faciliteiten voor onderzoek, zowel binnen als buiten het reactorvat. In de reactor worden bestralingen uitgevoerd voor medische (o.a. voor MM) en industriële toepassingen, chemische analyses en productie van halfgeleiders⁽¹⁾. GCO heeft een aantal nieuwe, ioniserende straling uitzendende toestellen ondergebracht in een nieuw gebouw voor Niet-Destructief Onderzoek (NDO-gebouw), waarvan een 2 MV-toestel het belangrijkste is.

3.3 MM

Dit bedrijf produceert radiofarmaca deels op basis van aangevoerde radionucliden (o.a. ^{131}I) en deels op basis van zelfgemaakte radionucliden voor zowel de

1 Splijtstof: hoogverrijkt ^{235}U ; koelmiddel en moderator: licht water, Beryllium reflector. Maximaal thermisch vermogen 45 MW, maximale fluxdichtheid snelle neutronen: $3,1 \times 10^{18}$ neutronen/ m^2s , maximale fluxdichtheid thermische neutronen: $1,9 \times 10^{18}$ neutronen/ m^2s . Met speciale technieken kan op een specifieke locatie de maximale thermische-neutronenfluxdichtheid tot 4×10^{18} neutronen/ m^2s worden opgevoerd.

nationale als internationale markt. Bij de eigen productie wordt gebruik gemaakt van diverse bronnen: twee cyclotrons, een ouder model van Philips en een nieuwere van IBA, en zowel de HFR (zie GCO) als de LFR (zie ECN). Belangrijk in verband met de eigen productie van ^{99}Mo is de molybdeen-vleugel van het LSO-gebouw van ECN (zie 3.1). Met behulp van de HFR wordt ca. 60% van alle radiofarmaca voor de Europese markt geproduceerd. Met vrachtwagens worden deze producten dagelijks naar ziekenhuizen in het gehele land en naar Schiphol vervoerd.

4. LOZINGEN VAN RADIONUCLIDEN

In wat volgt worden achtereenvolgens de vergunde (4.1) en reële lozingsgegevens (4.2) besproken die zullen worden gebruikt bij de dosisberekeningen. Waar nodig worden de vergunningen waarin geen nucliden gespecificeerd zijn omgerekend in maximale lozingen voor specifieke nucliden aan de hand van de gegevens voor reële lozingen (4.3).

4.1 Vergunde lozingen

In totaal zijn vergunningen verleend voor zes verschillende (groepen) bronnen van straling. ECN heeft drie vergunningen op grond van de Kernenergiewet. GCO heeft twee vergunningen en MM heeft één vergunning.

In de vergunningen die in een recent verleden zijn verleend, is de lozingslimiet uitgedrukt in een nuclide-onafhankelijke eenheid, namelijk in radiotoxiciteitsequivalenten per jaar (RE/a). Voor lozingen naar lucht (Tabel 4-1) en water (Tabel 4-2) is één RE een hoeveelheid radioactiviteit die bij directe en volledige inname bij het lozingspunt een dosis van 1 Sv veroorzaakt. Voor lozingen van edelgassen wordt een andere definitie van de RE gehanteerd (zie 4.3). Indien slechts één nuclide de toxiciteit van de lozing bepaalt, dan is de limiet uitgedrukt in Bq per jaar voor de betreffende nuclide (e.g. [8]) of is de limiet uitgedrukt in beide eenheden, RE/a of Bq/a (e.g. [10]). Wordt een variabel mengsel van nucliden geloosd dan is geen vertaling gemaakt van radiotoxiciteitsequivalenten naar Bq (e.g. [6]).

In realiteit vindt geen directe inname plaats bij het lozingspunt, maar gaat transport via lucht, water dan wel voedsel vooraf aan de blootstelling. De wijze waarop en de mate waarin transport optreedt, is nuclide-specifiek. Daarom is voor het uitvoeren van blootstellingsberekeningen vertaling van limieten uitgedrukt in RE/a naar Bq/a van één of meerdere nucliden noodzakelijk. Deze vertaling is verder uitgewerkt in paragraaf 4.3 op basis van de informatie over reële lozingen die in paragraaf 4.2 is samengevat. De nucliden die na verspreiding de hoogste dosis per RE veroorzaken zullen worden geselecteerd voor het uitvoeren van de berekeningen.

In de oudste vergunning, die voor de HFR, is een limiet gesteld aan de lozing van edelgassen, uitgedrukt in Bq per jaar. Uitgangspunt hierbij is dat edelgassen zowel bij reguliere als ongevalslozingen veruit als eerste een overschrijding van de limiet zullen veroorzaken en derhalve bepalend zijn voor het radiologische risico [14].

Tabel 4-1: Lozingslimieten naar lucht per bedrijf(sonderdeel) zoals vermeld in de vergunningen.

Bedrijf	Onderdeel	Vergund	Bq of RE per jaar	Nuclide	ref.
ECN	LSO	80	RE/a		[6]
	ChM	20	RE/a		[7]
	Overig ECN ⁽¹⁾	16	RE/a		[7]
	LFR	1	RE/a	⁴¹ Ar	[10]
	PL	10	RE/a	³ H	[6]
MM		$3,0 \times 10^8$	Bq/a	¹³¹ I	[8]
		$4,0 \times 10^{12}$	Bq/a	⁴¹ Ar	[8]
		10	RE(inh)/a		[8]
GCO	HFR	$2,2 \times 10^{14}$ ⁽²⁾	Bq/a		[9]

⁽¹⁾ Lozingspunten met naar verwachting zeer geringe lozingen, zoals ventilatie en dakafblaas van Gezondheidsbescherming (GBD), DRA-Water- en Decogebouw en een handschoenenkast in het Fermi-gebouw

⁽²⁾ Reguliere lozingen mogen volgens [9] niet groter zijn dan 20 TBq per kwartaal. Daarnaast is in [9] een limiet gedefinieerd voor 'onvoorziene omstandigheden'. Na overschrijding van deze limiet mag in het betreffende jaar geen verdere lozing plaatsvinden. Gezien de doelstelling van het rapport is laatstgenoemde limiet in de berekeningen gebruikt.

Tabel 4-2: Lozingslimiet naar water (Noordzee) voor de drie bedrijven samen zoals vermeld in een van de vergunningen van ECN.

ECN	Vergund	Bq of RE per jaar	Nuclide	ref.
	2000	RE/a		[7]

4.2 Lozingsgegevens: hoeveelheden en nucliden

De lozingen kunnen qua hoeveelheid en samenstelling sterk variëren in de tijd. Daarom zijn – voor zover beschikbaar – lozingsgegevens uit meerdere referenties naast elkaar gelegd (Tabel 4-3 en Tabel 4-4). Zijn in een referentie gegevens voor meerdere jaren opgenomen dan is hieruit per nuclide(groep) een gemiddelde waarde afgeleid. Dit is gedaan voor de periode na uitvoering van de laatst bekende aanpassingen die de emissies kunnen beïnvloeden. Zo is bij de HFR alleen rekening gehouden met lozingsgegevens uit de periode na vervanging (in 1984) van het reactorvat. Het in gebruik nemen van de molybdeen-laboratoria bij het LSO heeft de hoogte en samenstelling van de lozingen ingrijpend beïnvloed. Zo staat in het overzicht over 1996 voor het LSO [15] ¹³³Xe vermeld als belangrijkste edelgas ($2,4 \times 10^{13}$ Bq/a), terwijl [13] het uitsluitend over ⁸⁵Kr heeft ($< 6,2 \times 10^{12}$ Bq/a).

Het bepalen van de gevolgen van actuele emissies zal inhouden dat uit de beschikbare meetgegevens de hoogste waarden worden geselecteerd. De berekende consequenties betreffen dus een realistische 'worst-case' situatie.

Tabel 4-3: Lozingen naar lucht per bedrijf(sonderdeel). Bij verschillen tussen referenties is de hoogste waarde (**vet**) geselecteerd voor de berekeningen.

	α lozing Bq/a	β, γ lozing Bq/a	edelgas-lozing Bq/a	tritium-lozing Bq/a	periode	ref.
LSO		$1,1 \times 10^8$	$5,7 \times 10^{11}$	$4,0 \times 10^{10}$	1980-1987	[13]
LSO	$1,6 \times 10^5$	$5,4 \times 10^6$	$2,2 \times 10^{11}$	$1,5 \times 10^{10}$	1992	[11]
LSO		$2,6 \times 10^8$	$2,4 \times 10^{13}$	$5,0 \times 10^{10}$	1996	[15]
ChM	$3,4 \times 10^5$	$1,2 \times 10^7$	$2,1 \times 10^{11}$	$5,0 \times 10^9$	1992	[11]
Overig	$4,3 \times 10^4$	$4,7 \times 10^5$			1992	[11]
Overig		$9,4 \times 10^6$		$1,2 \times 10^{10}$	1996	[15]
LFR			$2,1 \times 10^{11}$		1992	[11]
LFR			$3,1 \times 10^{11}$		1985-1987	[13]
LFR		$3,5 \times 10^4$	$1,9 \times 10^{11}$		1996	[15]
PL	$2,8 \times 10^5$	$2,2 \times 10^6$		$2,8 \times 10^{10}$	1992	[11]
PL		$3,8 \times 10^8$		$1,2 \times 10^{11}$	1996	[15]
MM		$7,8 \times 10^7$	$4,0 \times 10^{12} \text{ (1)}$		1994-...	[12]
HFR		$2,7 \times 10^7$	$5,4 \times 10^{12}$	$5,9 \times 10^{11}$	1985-1987	[13]
HFR			$6,9 \times 10^{12}$	$5,0 \times 10^{11}$	1996	[16]

(1) Prognose van MM voor periode na 1994 [12]

Tabel 4-4: Lozing naar water voor de drie bedrijven samen onder verantwoordelijkheid van ECN. Bij verschillen tussen referenties is de hoogste waarde geselecteerd voor de berekeningen (**vet**).

ECN	α lozing Bq/a	β, γ lozing Bq/a	tritium-lozing Bq/a	periode	ref.
	$9,0 \times 10^7$	$5,6 \times 10^{10}$	$4,1 \times 10^{11}$	1992	[11]
	$1,8 \times 10^7$	$5,7 \times 10^{10}$	$3,2 \times 10^{11}$	1994	[17]
	$1,4 \times 10^7$	$9,3 \times 10^{10}$	$2,7 \times 10^{11}$	1995	[17]
	$5,0 \times 10^6$	$1,6 \times 10^{11}$	$2,5 \times 10^{11}$	1996	[15]

Lozingsgegevens uitgedrukt in 'totaal α , β of γ ' worden vertaald in lozingen van één nuclide die na verspreiding in het milieu een hoge individuele dosis veroorzaakt per geloosde RE. Dit is analoog aan wat voor de vergunde lozingen gebeurt. De keuze van de nucliden per lozingspunt is gebaseerd op de gedetailleerde informatie over de lozingen die in de diverse rapportages en vergunningen is opgenomen. ^3H wordt door de meeste bronnen geloosd en bijgevolg voor elk van die bronnen berekend. ^{60}Co en ^{131}I worden vaak vermeld en waar slechts sprake is van aerosolen, halogenen of totaal β en γ , is één van beide of zijn beide ingevuld (e.g. bij ChM). Ook bij MM is er voor gekozen de limiet voor 'overige nucliden' in de vergunning in te vullen met ^{60}Co , ook al betreft het hier met name ^{35}S .

De bronnen die vallen onder 'Overig ECN' variëren sterk in samenstelling en lozingshoogte. Daarom zullen in de berekening twee lozingspunten worden onderscheiden: een punt op 15 m hoogte waar in het rekenvoorbeeld alleen ^3H

ontwijkt, en diverse laag gelegen punten (5 m hoogte) waaruit in de voorbeeldberekening de nucliden ^{60}Co , ^{85}Kr en ^{131}I ontsnappen.

Er is voor gekozen om de α -stralers niet mee te nemen in verdere berekeningen. Enerzijds zijn de gemeten lozingen veel geringer dan die van de β,γ -stralers. Door een geringere opname in de voedselketen (lagere concentratiefactoren) en een geringe dracht van α -straling zijn de doses door ingestie en externe bestraling lager dan die door de β,γ -stralers en zijn, gezien de DCC's voor inhalatie, de inhalatiedoses hooguit van vergelijkbare grootte. Anderzijds zijn er geen α -stralers opgenomen in de vergunningen van de verschillende bedrijven. Een en ander resulteert in de nuclidenlijst in Tabel 4-5.

Voor de berekening van de dosis die het gevolg is van de emissies naar zee via de pijpleiding van 4 km is uitgegaan van een radionuclide met een relatief hoge opname in zeevis, i.e. een hoge blootstelling per geloosde RE. Volgens [5] voldoet ^{60}Co hier aan.

Tabel 4-5: Overzicht van de per bedrijf(sonderdeel) geselecteerde, in de lucht geloosde nucliden.

naam	^3H	^{41}Ar	^{85}Kr	^{133}Xe	^{60}Co	^{131}I
LSO	x			x	x	x
ChM			(1)		(1)	(1)
Overig	x		(1)		(1)	(1)
LFR		x				
PL	x					
MM		x			x	x
HFR	x	x			x	(1)
pijpleiding					x	

⁽¹⁾ Rapportages vermelden geen specifieke nucliden, maar wat 'aerosolen' en 'halogenen' is, werd vervangen door ^{60}Co respectievelijk ^{131}I . Voor 'edelgassen' ChM en 'Overig' is ^{85}Kr genomen.

4.3 Conversie van lozingslimieten

Voor de nucliden uit Tabel 4-5 is de lozingslimiet, uitgedrukt in RE/a, vertaald naar Bq/a (Tabel 4-1 en Tabel 4-7). Hierbij is 1 RE (in Bq) gelijk aan 1 (Sv)/DCC en de DCC (in Sv/Bq) de dosisconversiecoëfficiënt voor inhalatie dan wel ingestie [3]. In afwijking op [1] is niet standaard de DCC voor inhalatie gekozen, maar de grootste van de twee, d.w.z. die DCC waarbij de RE het geringste aantal Bq oplevert. Zoals uit Tabel 4-6 blijkt, resulteert deze keuze slechts in marginale verschillen. Voor de edelgassen, die voornamelijk een dosis door externe bestraling opleveren, is het volgende aangenomen: de dosis door een homogene wolk radionucliden wordt voor een belangrijk deel bepaald door de γ -straling uitgezonden binnen 100 m van de ontvanger, d.w.z. in een halve bol lucht met een straal van 100 m. Een dergelijke halve bol heeft een inhoud van $\frac{2}{3} \pi R^3 (= 2,09 \times 10^6 \text{ m}^3)$. Uit tabel II-X in [3] kan de dosis per jaar worden berekend voor een blootstelling aan een constante concentratie van een edelgas. Hieruit volgt de RE in Bq/m³ en na

vermenigvuldiging met $2,09 \times 10^6 \text{ m}^3$ de RE in Bq. Voor de in Tabel 4-1 gegeven hoeveelheden in Bq/a zullen in wat volgt de individuele doses na verspreiding via lucht of water berekend worden.

Tabel 4-6: Dosisconversiecoëfficiënten voor ingestie, inhalatie en externe bestraling van op de bodem en uit de wolk [3, 18] en emissies in Bq per RE voor de vijf belangrijkste (plaatsvervangende) nucliden. **Vet:** DCC gebruikt voor de vertaling van RE naar Bq.

Nucl	DCC _{ing} Sv/Bq	DCC _{inh} Sv/Bq	DCC _{ext,b} Sv/a per Bq/m ²	DCC _{ext,w} Sv/a per Bq/m ³	1 RE in Bq
³ H	$1,8 \times 10^{-11}$	$1,8 \times 10^{-11}$	0	0	$5,56 \times 10^{10}$
⁴¹ Ar	0	0	0	$1,93 \times 10^{-6}$	$1,08 \times 10^{12}$
⁸⁵ Kr	0	0	0	$8,03 \times 10^{-9}$	$2,61 \times 10^{14}$
¹³³ Xe	0	0	0	$4,38 \times 10^{-8}$	$4,78 \times 10^{13}$
⁶⁰ Co	$3,4 \times 10^{-9}$	$3,1 \times 10^{-8}$	$6,23 \times 10^{-8}$	$3,55 \times 10^{-6}$	$3,23 \times 10^7$
¹³¹ I	$2,2 \times 10^{-8}$	$2,0 \times 10^{-8} \text{ (1)}$	$1,11 \times 10^{-8}$	$5,26 \times 10^{-7}$	$4,55 \times 10^7$

(1) DCC voor elementair jodium

Tabel 4-7: Maximaal vergunde emissies naar lucht in RE/a en/of Bq/a

	RE ⁽¹⁾	³ H	⁴¹ Ar	⁸⁵ Kr	¹³³ Xe	⁶⁰ Co	¹³¹ I
LSO	80	$4,4 \times 10^{12}$			$3,8 \times 10^{15}$	$2,6 \times 10^9$	$3,6 \times 10^9$
ChM	20			$5,2 \times 10^{15}$		$6,5 \times 10^8$	$9,1 \times 10^8$
Overig ⁽²⁾	16	$8,9 \times 10^{11}$		$4,2 \times 10^{15}$		$5,2 \times 10^8$	$7,3 \times 10^8$
LFR	1		$1,1 \times 10^{12}$				
PL	10	$5,6 \times 10^{11}$					
MM			$4,0 \times 10^{12}$			$3,2 \times 10^8 \text{ (3)}$	$3,0 \times 10^8$
HFR ⁽⁴⁾		10^{12} (5)	$2,2 \times 10^{14}$			$9,0 \times 10^8 \text{ (6)}$	$1,9 \times 10^9 \text{ (7)}$

(1) indien de vergunning is uitgedrukt in RE dan bevat de maximum lozing een gewogen bijdrage van de afzonderlijke radionucliden; bij HFR en MM is de som van de aangegeven lozingen nog vergund.

(2) tritium-lozing op 15m, overige door dakafblaassystemen op 5m.

(3) dit komt overeen met 10 RE_{inhalatie} overige radionucliden.

(4) vergunde emissies zijn voornamelijk die van edelgassen; de andere nucliden zijn, volgens de vergunningaanvraag, van minder belang voor de dosis en vormen daarom een klein onderdeel van deze vergunning.

(5) volgens vergunningaanvraag van 1965 wordt als afgeleide bovenwaarde voor β -stralers 30 Ci genoemd; hier wordt aangenomen dat het voornamelijk ³H betreft.

(6) = 0,025 Ci overige radionucliden (waarvoor hier ⁶⁰Co als representatief is gekozen) in vergunningaanvraag van 1965 als bovenwaarde genoemd

(7) = 0,05 Ci voor ¹³¹I in vergunningaanvraag van 1965 als bovenwaarde genoemd

5. VERSPREIDING: BEREKENINGSMETHODE

5.1 Verspreiding van emissies naar lucht

Atmosferische verspreiding is berekend met behulp van het computerprogramma OPS, ontwikkeld door het laboratorium voor luchtonderzoek van het RIVM. Een beknopte beschrijving van OPS evenals een specificatie en validatie ervan worden gegeven in [19]. Voor de korte afstanden is de luchtverspreiding gebaseerd op het Nationaal Model [20]. Een vergelijking van OPS met onder andere het Nationaal Model is te vinden in [21]. Een en ander is ook kort samengevat in [5]. Het resultaat van de berekeningen zijn luchtconcentraties en deposities per onderscheiden 'gridcel' of 'rasterpunt'. De gegevens over de lozingshoogte zijn die uit Bijlage B. De coördinaten zijn afgelezen van een topografische atlas met behulp van door ECN geleverd kaartmateriaal. Het gebied is opgedeeld in 60×60 gridcellen met elk een oppervlakte van 100×100 m. Het klimatologisch gebied is dat voor de kop van Noord-Holland en de kuststreek van Groningen en Friesland (klimatologische periode 1979-1989). Voor iedere bron en elk van de (plaatsvervangende) nucliden is de luchtconcentratie en voor zover van toepassing de depositie in het zwaartepunt van elke gridcel berekend. Hierbij is aangenomen dat de bronnen continu lozen, d.w.z. dat er geen specifiek lozingspatroon is gehanteerd. Verder is aangenomen dat ⁶⁰Co wordt verspreid gebonden aan aerosolen met een fijne verdeling (i.e. 70% heeft een diameter < 0.95 µm), dat ¹³¹I wordt verspreid als gas in de vorm I₂ (droge depositie-snelheid 1 cm/s, scavengingcoëfficiënt 0.01%/s), dat ³H wordt verspreid als gasvormig water in de vorm HTO (droge depositie-snelheid 0.15 cm/s, scavengingcoëfficiënt 0.01%/s) en dat de edelgassen ⁴¹Ar en ⁸⁵Kr als gassen zonder depositie worden verspreid.

5.2 Verspreiding van emissies in water

Er wordt aangenomen dat de blootstelling bepaald wordt door een zeecompartiment nabij het lozingspunt met een volume, V, van 2×10⁹ m³ en een verversingsvoud, W, van 40 per jaar [22]. De concentratie in dit compartiment kan dan berekend worden met:

$$C_{water} = \frac{\dot{L}}{V \cdot (\lambda_o + W)} \quad 5-1$$

waarbij:

$\dot{L}$	=	lozing per jaar (Bq/a)
V	=	volume van relevante watermassa (m ³)
W	=	verversingsvoud (1/a)
λ_o	=	vervalconstante van radionuclide (1/a)

De lozing per jaar wordt uitgedrukt in RE's voor ingestie (inhalatie speelt hier een ondergeschikte rol), zoals afgeleid uit de DCC_{ingestie} (zie Tabel 4-6).

6. DOSIS: BEREKENINGSMETHODE

6.1 Relevante blootstellingspaden

Blootstellingspaden die volgens [5] in ieder geval in de risicoberekening moeten worden meegenomen zijn inhalatie, ingestie en externe bestraling. Tevens worden in [1] enkele randvoorwaarden gesteld aan de wijze van blootstelling en met betrekking tot het blootgestelde individu. In wat volgt, wordt telkens specifiek aangegeven op welke referentie de gemaakte keuze gebaseerd is. De dosis via de diverse blootstellingspaden wordt afgeleid uitgaande van de luchtconcentraties en deposities die met OPS zijn berekend (zie hiervoor hoofdstuk 5.1).

6.2 Inhalatie

De dosis ten gevolge van inhalatie, in Sv/a, wordt berekend uit de concentratie in de lucht met de DCC's uit Tabel 4-6. Hierbij is uitgegaan van ononderbroken verblijf op dezelfde plaats [5] en een gemiddeld inhalatietempo van $8.4 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{a}$ [23]. Voor lozingen die geen transuranen ($Z > 92$) bevatten kan inhalatie van geresuspendeerd materiaal verwaarloosd worden [5].

6.3 Externe bestraling

6.3.1 Bestraling vanuit de wolk en door gedeponeerde nucliden

Externe bestraling treedt op vanuit de lucht en vanaf de bodem na depositie. Per nuclide is de bijdrage aan de totale dosis door externe bestraling berekend uit de luchtconcentratie en de DCC voor blootstelling aan externe bestraling vanuit de passerende wolk ($DCC_{\text{ext,w}}$) en uit de na 25 jaar gedeponeerde activiteit op de bodem en de DCC voor blootstelling aan gedeponeerde activiteit ($DCC_{\text{ext,b}}$). Deze laatste dosis volgt uit:

$$\text{Dose}_{\text{ext,b}} = D_{\text{bodem}} \cdot DCC_{\text{ext,b}} \quad 6-1$$

$DCC_{\text{ext,b}}$ = dosisconversiecoëfficiënt voor externe blootstelling aan radioactief materiaal op de bodem (Sv/a per Bq/m^2) [18]
 D_{bodem} = depositie op de bodem na een continue 'besmetting' gedurende 25 jaar (Bq/m^2)

De met OPS geproduceerde uitvoer geeft echter het depositietempo $\dot{D}$ in $\text{Bq/m}^2\text{a}$ zonder rekening te houden met verval van de radionuclide. Indien de halveringstijd voldoende kort is ten opzichte van de te beschouwen uitloogsnelheid en depositieperiode (in dit geval 25 jaar), kan de evenwichtsconcentratie op de bodem (de gemiddelde depositie) berekend worden uit:

$$D_{\text{bodem}} = \frac{\dot{D}}{\lambda_0} \quad 6-2$$

$\dot{D}$ = depositietempo op de bodem ($\text{Bq/m}^2\text{a}$)
 λ_0 = halveringsconstante van radionuclide ($1/\text{a}$)

Zie Tabel 4-6 voor de gehanteerde waarden van de $DCC_{ext,b}$. Ten behoeve van een berekening voor een multifunctionele toepassing van de omgeving (i.e. men moet er kunnen wonen) wordt er vanuit gegaan dat een lid van de bevolking een belangrijk deel van de tijd binnenshuis verblijft. De doses door externe bestraling vanuit de wolk en vanaf de bodem dienen dan ook vermenigvuldigd te worden met zogenaamde cloudshine en groundshine reductiefactoren, respectievelijk 0,3 en 0,2 [1].

6.3.2 Bestraling aan de terreingrens vanuit de bedrijven

Zoals in hoofdstuk 2 is aangegeven, wordt de bijdrage aan de dosis door externe bestraling niet berekend, maar afgeleid uit meetgegevens die zijn opgenomen in [12, 15, 24, 25]. De resultaten worden in paragraaf 7.3 behandeld. Hierbij wordt het berekende dosistempo door de nieuwe toestellen in het gebouw voor Niet-Destructief Onderzoek opgeteld [26]. De wijze van berekenen en de in [26] verkregen resultaten kunnen worden onderschreven.

6.4 Ingestie

Voor de bepaling van het maximale individuele risico als gevolg van ingestie wordt uitgegaan van het consumptiepatroon van de referentie groep zoals beschreven in [1]. De gemiddelde hoeveelheden geconsumeerd voedsel, rekening houdend met reductie door bereidingswijze zijn samengevat in Tabel A.1. Volgens de richtlijn [5] dient aangenomen te worden dat zuivel en vlees, en een groot deel van de landbouwproducten betrokken worden uit de landbouwkundige regio (COROP gebied) waarin zich de bron bevindt. In de hier uitgevoerde dosisberekening wordt echter aangenomen dat alle te consumeren producten worden geproduceerd op de locatie met de hoogste luchtconcentratie c.q. depositie. De rekenregels zijn conform [5].

Gewasbesmetting is het gevolg van interceptie en opname uit de bodem via de wortel. Voor lozingen die geen transuranen ($Z > 92$) bevatten wordt besmetting door resuspensie verwaarloosd [5]. De concentratie van radionucliden in de bodem wordt, zoals eerder aangegeven, berekend uitgaande van een continue besmetting gedurende 25 jaar. Hierbij is aangenomen dat de radionucliden homogeen verdeeld zijn in de bovenste bodemlaag (wortellaag) van de bodem die een dikte heeft van 20 cm (weidegras 10 cm) [5]. Ook uitspoeling wordt berekend volgens [5].

Concentratiefactoren, blootstellings- en bewaartijden en andere parameters die afhankelijk zijn van type gewas en/of nuclide zijn samengebracht in Bijlage A. Bij afwezigheid van getallen voor de concentratiefactor voor ^3H is hiervoor volgende vergelijking gehanteerd:

$$B_v(\text{waterstof}) = \frac{\rho_{bo} \cdot (1 - q)}{\rho_{pl} \cdot \theta} \quad 6-3$$

ρ_{bo} = dichtheid bodem (kg/m^3); $\rho = 1300 \text{ kg/m}^3$

ρ_{pl} = dichtheid plant (kg/m^3); $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

q = droge stof-gehalte (-), zie Tabel A.3

θ = relatieve vochtigheid bodem (-); $\theta = 0.2$ [5]

In feite geeft vergelijking 6-3 de verhouding tussen vochtgehalte in het gewas en de bodem.

De besmetting van melk en vlees wordt berekend zoals beschreven in [5]. Rundvlees en melk worden besmet door eten van besmet gras (70 kg versgewicht per dag) en besmette grond (0.56 kg per dag).

De formules voor het berekenen van de concentraties in de diverse geconsumeerde gewassen en dierlijke producten (Conc_{ing}) zijn te reduceren tot een nuclide- en gewasafhankelijke factor F_{ing} ($\text{m}^2\text{a/kg}$) waardoor deze direct uit de depositie, $\dot{D}$ ($\text{Bq/m}^2\text{a}$), kan worden afgeleid:

$$\text{Conc}_{\text{ing}} = \dot{D} \cdot F_{\text{ing}} \quad 6-4$$

De berekende factoren F_{ing} zijn te vinden in tabel A.1.

6.5 Besmetting van zeevoedsel.

Voor de berekening van de dosis door consumptie van (zee)vis na contaminatie via de emissies naar zee via de ECN-pijpleiding van 4 km is uitgegaan van een radionuclide met een relatief hoge opname in zeevis. Volgens [5] voldoet ^{60}Co hieraan. De dosis door consumptie van zeevis kan hiermee berekend worden volgens:

$$D_{\text{zeevis}} = DCC_{\text{ing}} \cdot I_{\text{ing}} \cdot B_p \cdot C_{\text{water}} \quad 6-5$$

waarbij:

DCC_{ing} = dosisconversiecoëfficiënt voor ingestie (Sv/Bq)

I_{ing} = consumptie van zeevis; 4 kg/a [1]

B_p = concentratiefactor voor zeevis; 1000 Bq/kg per Bq/m³ voor ^{60}Co [5]

7. RESULTATEN

7.1 Doses door vergunde luchtlozingen

De effectieve dosis na verspreiding, per vergunde RE, is niet alleen nuclide-specifiek maar ook duidelijk afhankelijk van de hoogte van de lozing (Tabel 7-1). Bekend is dat bij lozingen op een grotere hoogte de verdunning groter wordt en dus de maximale concentratie en depositie lager. Zo leveren de hogere schoorstenen van LSO, ChM en HFR een reductie van de effectieve dosis per RE. Een vergelijkbaar beeld komt naar voren uit de resultaten voor de twee typen bronnen die vallen onder 'Overig ECN', waar het aantal nSv/RE voor het op 15 m geloosde ^3H beduidend lager is dan de waarden gevonden voor de andere nucliden, geloosd op 5 m hoogte. Dit geeft de zwakte aan van het systeem om vergunningen uit te drukken in RE en niet te zeggen welke radionucliden het betreft.

Tabel 7-1: Maximale effectieve dosis per RE door lozingen naar lucht (in nSv) voor elk van de (plaatsvervangende) nucliden en bedrijfsonderdelen uit Tabel 4-5. **Vet:** nucliden gebruikt voor het invullen van de vergunde limieten.

	^3H	^{41}Ar	^{85}Kr	^{133}Xe	^{60}Co	^{131}I
LSO	9,2	-	-	10	5,3	6,3
ChM	-	-	10	-	5,3	6,3
Overig	74	-	550	-	260	310
LFR	-	340	-	-	-	-
PL	460	-	-	-	-	-
MM	-	340	-	-	170	210
HFR	7,1	9,9	-	-	5,3	6,2

- = niet van toepassing

Per bedrijfsonderdeel is vervolgens de maximale dosis berekend door 1) optellen van de doses voor specifiek gelimiteerde nucliden (e.g. bij MM) of 2) door opvullen van de limiet met de nuclide die de hoogste dosis per RE oplevert. De maximale doses die het gevolg zijn van een opvulling van de vergunning per bedrijfsonderdeel, is weergegeven in Tabel 7-2. De waarde van 8,8 $\mu\text{Sv/a}$ voor 'Overig ECN' is een bovenschatting omdat verondersteld wordt dat opvulling uitsluitend geschiedt door ^{85}Kr vanuit de laaggelegen lozingspunten (zie 4.2). Uitgaan van volledige opvulling met ^3H door het hooggelegen punt leidt tot een effectieve dosis van 1,2 $\mu\text{Sv/a}$.

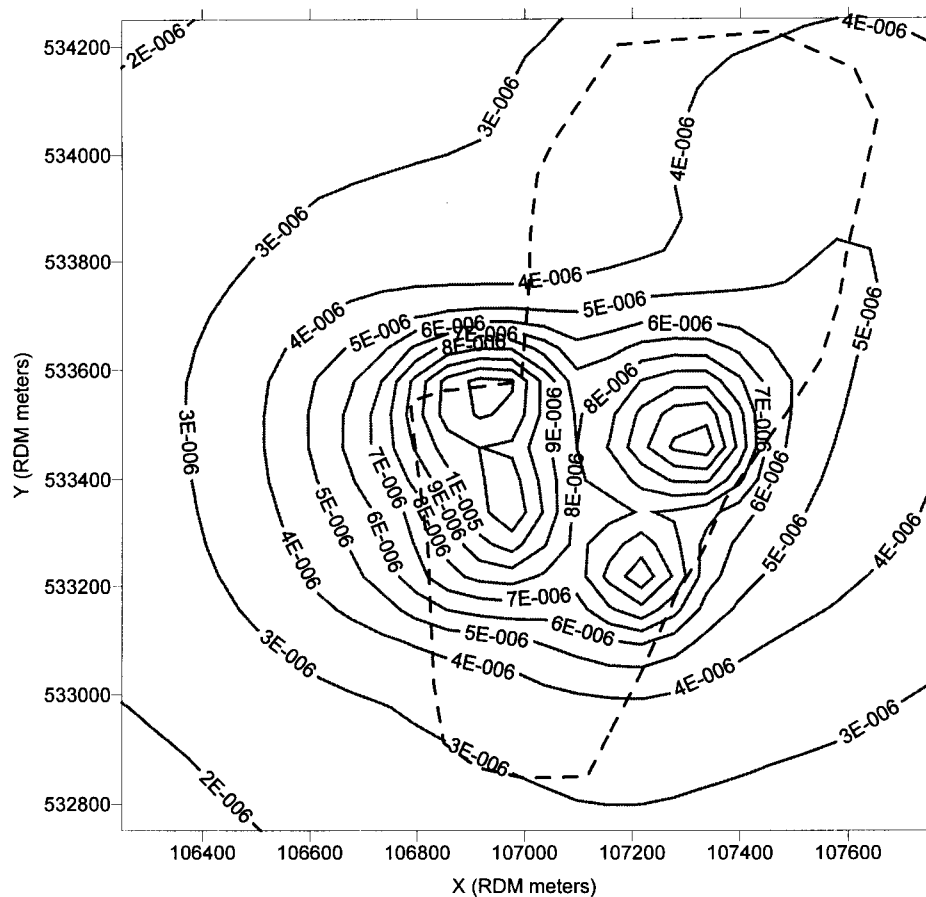
Tabel 7-2: Maximale effectieve dosis bij maximaal gebruik van de vergunning (in $\mu\text{Sv/a}$).

LSO	0,8
ChM	0,2
Overig	8,8
LFR	0,3
PL	4,6
MM	4,4
HFR	2,5

The map displays the Petten area with a grid of X (RDM meters) and Y (RDM meters) coordinates. The X-axis ranges from 105000 to 109000, and the Y-axis ranges from 531000 to 536000. The map shows contour lines, roads, and various locations. Key locations include Petten, Polder R, Polder M, Polder G, and Polder NS. Contour lines are labeled with values such as 1E-006, 2E-006, 3E-006, 4E-006, and 5E-006. The map also shows a network of roads and a railway line.

De gekozen uitgangspunten leiden ertoe dat de dosis door LSO, ChM en 'Overig ECN' wordt bepaald door de (plaatsvervangende) nucliden ^{85}Kr en ^{133}Xe , en dus door externe bestraling vanuit de wolk. Hierbij dient te worden aangetekend dat de werkelijk geloosde radionucliden een lagere dosis opleveren en dat deze soms via andere blootstellingspaden bijdragen aan de dosis (voornamelijk externe bestraling vanaf de bodem en consumptie van melk) (zie Tabel 7-3). Ook de dosis door de LFR wordt bepaald door een edelgas, ^{41}Ar , en dus door externe bestraling vanuit de wolk. De dosis door de opslagfaciliteit wordt bepaald door ^3H en daarmee door consumptie van melk. De dosis door de HFR wordt bepaald door een combinatie van ^3H , ^{41}Ar , ^{60}Co en ^{131}I met als belangrijkste blootstellingspaden externe

bestraling vanuit de wolk (^{41}Ar) en consumptie van melk (^{131}I). Zowel ^{60}Co als ^3H zijn daarbij minder belangrijk. De dosis door MM wordt bepaald door een combinatie van ^{41}Ar , ^{60}Co en ^{131}I met als belangrijkste blootstellingspaden externe bestraling vanuit de wolk (^{41}Ar), vanaf de bodem (^{60}Co) en consumptie van melk (^{131}I), ongeveer gelijkelijk bijdragend aan de dosis. Het blootstellingspad 'externe bestraling vanaf de bodem door ^{60}Co is echter niet reëel omdat MM geen ^{60}Co loost. De keuze van ^{60}Co voor het opvullen van de limiet van 10 RE/a leidt dus tot een overschatting van de bijbehorende maximale dosis met ten hoogste 30%.



Figuur 7-2: Detail van de dosiscontouren bij opvulling van de vergunningen voor emissies naar lucht door ECN, GCO en MM (Sv/a) (- - - = terreingrens).

7.2 Dosis door vergunde waterlozingen

De dosis door maximale lozingen van 2000 RE_{ingestie} ^{60}Co vanuit de pijpleiding in zee bedraagt circa 0.1 $\mu\text{Sv/a}$ voor iemand die visserijproducten consumeert afkomstig uit het zeecompartiment waarin de lozing plaatsvindt.

7.3 Dosis door gemeten externe bestraling vanaf het terrein

In 1992 is aan de terreingrens ter hoogte van de opslagloods een dosistempo van 1390 $\mu\text{Sv/a}$ gemeten. In 1994 bedroeg het dosistempo op dit punt nog slechts 780 $\mu\text{Sv/a}$ wat volgens [25] zijn verklaring vond in het buiten gebruik stellen van

de perscel. In de veronderstelling dat de laagste waarde die langs de terreingrens is gemeten ($400 \mu\text{Sv/a}$), overeenkomt met het achtergrondniveau, dan leidde de aanwezigheid van opgeslagen besmette onderdelen in 1994 maximaal tot een verdubbeling van het achtergrondniveau. In 1996 werd een verhoging ten opzichte van de achtergrond van circa $800 \mu\text{Sv/a}$ gemeten [15]. De tijdelijke aanwezigheid van grote besmette componenten op de buitenliggende Stelcon-vloer wordt als verklaring aangevoerd voor de grote fluctuaties in het dosistempo op dit punt van het terrein. Ter vergelijking: uit metingen van het γ -stralingsniveau door de over het gehele land verspreide meetposten van het LMR blijkt dat in 1991 het stralingsniveau varieerde tussen circa 600 en $900 \mu\text{Sv}$ per jaar [27].

Gezien de resultaten uit 7.1 en 7.2 domineert externe bestraling, direct afkomstig vanaf het terrein, de dosis. Omdat er geen accumulatie van radioactiviteit in het milieu optreedt, houdt de belasting via dit blootstellingspad op te bestaan bij beëindiging van de activiteit. De beoordeling kan dan ook worden gebaseerd op het actuele risico [2]. In [25] wordt een verblijftijd van 300 uur per jaar op het gegeven punt bij de terreingrens terecht als een redelijk maximum voorgesteld. Afwezigheid van verblijfsmogelijkheden en beperkte recreatiemogelijkheid worden als argumenten aangevoerd. De extra dosis wordt dan $13 \mu\text{Sv/a}$ uitgaande van de resultaten voor 1994 en $24 \mu\text{Sv/a}$ voor 1996. Deze dosis neemt snel af met toenemende afstand tot het hek van het bedrijventerrein.

De apparaten die in het NDO-gebouw zijn opgesteld, zullen naar verwachting, in de meest ongunstige situatie, een extra dosis aan het hek opleveren van circa $1 \mu\text{Sv/a}$. Blootstelling in het verlengde van de stralenbundel van het 2 MV-toestel bepaalt de dosis voor bijna 100%. De dosis door de overige toestellen en de indirecte bestraling door 'skyshine' en na reflectie zijn te verwaarlozen. Deze dosis is klein in vergelijking met de extra externe bestraling vanuit de opslagloods. De plaats bij de terreingrens waar het maximum optreedt is voor beide bronnen overigens niet dezelfde.

7.4 Totale maximale dosis door het geheel van bedrijven

Uitgaande van multifunctioneel gebruik bedraagt de hoogste dosis door de vergunde lozingen naar lucht en water van ECN, GCO en MM circa $10 \mu\text{Sv/a}$. Als de gemeten dosis door externe bestraling hierbij wordt opgeteld, rekening houdend met de in paragraaf 7.3 verantwoorde reductiefactor, dan bedraagt de hoogste dosis door het geheel van activiteiten van de drie bedrijven circa $30 \mu\text{Sv/a}$. Ze wordt opgelopen bij het hek van het ECN-terrein ter hoogte van de opslagloods. Deze dosis wordt gedomineerd door de externe bestraling (en luchtlozingen) vanuit de opslagfaciliteit.

7.5 Dosis door combinatie van de hoogste reële lozingen

Voor de reële lozingen naar lucht, zoals die zijn weergegeven in Tabel 4-3 voor β,γ -stralers, edelgassen en tritium, en gebruikmakend van de dosis per geloosde RE (zie Tabel 4-6 en Tabel 7-1, waarbij de dosis per RE van ^{131}I representatief is gesteld voor de β,γ -stralers) zijn de meer actuele doses berekend voor een nog

steeds multifunctioneel gebruik van de omgeving van het bedrijventerrein. In Tabel 7-3 zijn deze berekende doses weergegeven. De som van de afzonderlijke jaardoses door luchtlozingen bedraagt 3 μSv . Gezien de geografische spreiding over het totale bedrijventerrein is een maximum dosis door luchtlozingen aan de terreingrens van circa 1 $\mu\text{Sv/a}$ te verwachten, grotendeels veroorzaakt door de lozingen vanuit het PL-gebouw. Dit is een factor 10 lager dan het gecijferde maximum voor de vergunde lozingen.

Bij deze dosis van 1 $\mu\text{Sv/a}$ voor de lozingen naar lucht moet dan nog de dosis door externe bestraling vanaf het terrein (vastgesteld op circa 20 $\mu\text{Sv/a}$) worden opgeteld (zie 7.3).

Tabel 7-3: Doses voor een multifunctionele omgeving door reële lozingen naar lucht per bedrijf(sonderdeel).

	β, γ lozing $\mu\text{Sv/a}$	edelgas-lozing $\mu\text{Sv/a}$	tritium-lozing $\mu\text{Sv/a}$
LSO	$3,6 \times 10^{-2}$	$9,2 \times 10^{-4}$	$8,3 \times 10^{-3}$
ChM	$1,7 \times 10^{-3}$	$8,1 \times 10^{-6}$	
Overig	$6,4 \times 10^{-2}$		$1,6 \times 10^{-2}$
LFR		$9,8 \times 10^{-2}$	
PL			$9,9 \times 10^{-1}$
MM	$3,6 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^0$	
HFR	$3,7 \times 10^{-3}$	$6,3 \times 10^{-2}$	$7,5 \times 10^{-2}$

De reële lozingen naar water (Tabel 4-4) bedragen ongeveer 25% van de vergunde lozing van 2000 RE. De dosis door lozingen naar water (blootstellingspad zeevis) zal dus van gering belang ($< 0.1 \mu\text{Sv/a}$) blijven in verhouding tot de dosis door lozingen naar lucht.

8. DISCUSSIE EN CONCLUSIES

De totale dosis voor een omwonende van 30 $\mu\text{Sv/a}$, bij maximale opvulling van de vergunde limieten door het geheel van activiteiten van ECN, MM en GCO, is beduidend lager dan de per bron in het BsK vastgestelde limiet van 100 $\mu\text{Sv/a}$. Bij het bepalen van het onderdeel 'externe bestraling vanuit de bedrijven' is hierbij rekening gehouden met de actuele omstandigheden [2]. Dit betekent dat de externe bestraling en dus de totale dosis bij volledige opvulling van de limieten vastgesteld in de vergunningen hoger zou zijn.

Bij volledig opvullen van alle vergunde luchtlozingen is de totale dosis maximaal 10 $\mu\text{Sv/a}$ in het duingebied direct grenzend aan het terrein, nabij de opslagloods. De belangrijkste nuclide is ^3H , direct gevolgd door de edelgassen. De dosis door de maximaal vergunde lozingen in zee bedraagt circa 0.1 $\mu\text{Sv/a}$. De externe bestraling is circa 20 $\mu\text{Sv/a}$, rekening houdend met het actuele gebruik van de locatie waar de hoogste waarde is gemeten.

Verschillende elementen in de berekening van de luchtlozing leiden tot een forse overschatting van de in realiteit opgelopen dosis:

- de vergunde limieten wordt volledig 'opgevuld'; de reële lozingen zijn beduidend lager dan de gestelde limieten.
- opvulling gebeurt deels met de voor de dosis meest ongunstige nucliden, hetgeen een overschatting van de dosis met een factor twee kan betekenen
- er wordt uitgegaan van 100% verblijf (wonen) op het punt met de hoogste geschatte luchtconcentratie en depositie, en productie van (nagenoeg) al het voedsel op deze locatie (duingebied), hetgeen met name voor de relatief belangrijke blootstelling via melk onwaarschijnlijk is.

De maximale dosis voor omwonenden bij volledig opvullen van de vergunde lozingslimieten voor de diverse onderdelen van ECN, is door ECN zelf becijferd op circa 1 $\mu\text{Sv/a}$ (met name door lozingen van het LSO) [28]. De bijdrage door directe externe bestraling vanaf het terrein schatte ECN op circa 10 $\mu\text{Sv/a}$, uitgaande van de metingen uit 1994. In de hier uitgevoerde berekeningen zijn de bijdragen door de luchtlozingen vanaf het ECN-terrein (dus exclusief HFR (GCO) en MM) aan de maximale dosis voor omwonenden van de orde van 5 $\mu\text{Sv/a}$ (direct aan de terreingrens), waarbij de vergunde ^3H lozingen vanuit de opslagloods de hoogste bijdrage leveren. De volgende verschillen in berekening(swijze) verklaren de discrepantie tussen de resultaten van RIVM en ECN:

- De in het onderhavige rapport toegepaste lozingshoogten voor de opslagloods (7 m), maar ook die van de lozingspunten die vallen onder 'Overig ECN' (5 m) zijn lager dan in [28] is aangenomen (beide 10 m hoogte). Dit heeft tot gevolg dat in dit rapport een hogere dosis per geloosde RE berekend is. (Ook in Tabel 7-1 bleek de sterke invloed van lozingshoogte).
- In [28] wordt aangenomen dat de limiet opgevuld wordt door lozen van een mengsel van nucliden, waarbij de dosis per geloosde RE een gemiddelde is van de waarden gevonden voor de individuele nucliden. In dit rapport wordt

aangenomen dat alleen het nuclide geloosd wordt dat de hoogste dosis per geloosde RE veroorzaakt.

De dosis afkomstig van het nieuwe, bij GCO geplaatste 2MV-toestel zal naar verwachting aan de terreingrens 1 $\mu\text{Sv/a}$ bedragen, indien de bundel gedurende de volledige bedrijfstijd gelijk gericht is. Dit is een relatief lage dosis in vergelijking met de externe blootstelling vanuit de opslagloods (ECN). De locaties aan de terreingrens waar beide hun maximum dosis opleveren, vallen overigens niet samen.

De maximale dosis aan de terreingrens ten gevolge van de hoogste reële lucht- en waterlozingen is tenminste een factor tien lager dan de berekende 10 $\mu\text{Sv/a}$ voor de vergunde lozing. Daarmee wordt de totale dosis aan de terreingrens ten gevolge van actuele lozingen en werkzaamheden van de drie bedrijven bepaald door de directe externe bestraling vanaf het terrein. Deze component neemt evenwel zeer snel af met toenemende afstand tot de terreingrens.

BIJLAGE A: PARAMETERWAARDENTabel A.1: Conversiefactoren F_{ing} ($\text{m}^2\text{a/kg}$) en voedselconsumptiegetallen, zoals gehanteerd in de hier gepresenteerde berekeningen.

	^3H	^{41}Ar	^{60}Co	^{85}Kr	^{131}I	Consumptie (kg/a) ^(2,3)
$F_{\text{ing,gras}}$	$3,32 \times 10^{-2}$	0	$3,24 \times 10^{-2}$	0	$1,19 \times 10^{-2}$	
$F_{\text{ing,groente}}$	$1,23 \times 10^{-2}$	0	$1,03 \times 10^{-2}$	0	$2,00 \times 10^{-3}$	31
$F_{\text{ing,graan}}$	$8,43 \times 10^{-3}$	0	$6,55 \times 10^{-3}$	0	$3,55 \times 10^{-7}$	19,8
$F_{\text{ing,knollen}}$	$7,04 \times 10^{-3}$	0	$5,27 \times 10^{-3}$	0	$2,95 \times 10^{-7}$	31
$F_{\text{ing,melk}}$	$3,48 \times 10^{-2}$	0	$6,83 \times 10^{-4}$	0	$6,44 \times 10^{-3}$	121
$F_{\text{ing,vlees}}$	$2,94 \times 10^{-2}$	0	$2,27 \times 10^{-2}$	0	$2,01 \times 10^{-2}$	6,5

⁽²⁾ [1, 5]⁽³⁾ deze waarden zijn inclusief reductie door voedselbereiding zoals gegeven in Tabel A.5Tabel A.2: Concentratiefactor, B_v , per radionuclide en gewas in (Bq/kg versgewicht plant)/(Bq/kg droge grond) [5].

Nuclide	bladgroente	graan	wortel- of knolgewas	weidegras
$\text{H}^{(1)}$	$5,9 \times 10^0$	$9,8 \times 10^{-1}$	$5,2 \times 10^0$	$5,9 \times 10^0$
Co	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-2}$
I	$2,0 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-2}$

⁽¹⁾ Voor waterstof is een afwijkende berekening gehanteerd, zie tekstTabel A.3: Verwijderingconstante, λ_w , ($1/\text{a}$)

Jodium	31,55
Overige nucliden	17,98

Tabel A.4: Retentiefactor μ , gewasopbrengst Y , weerhouden fractie R , blootstellingstijd t_a en bewaartijd t_b en droge stof-gehalte voor de vier gewasklassen, en bewaartijd en droge stof-gehalte voor melk en vlees [29, 5].

Gewasklasse	μ (m^2/kg)	Y (kg/m^2)	R (-)	t_a (a)	t_b (a)	droge stof gehalte (-)
gras	2,9	1,3	0,98	0,082	0	0,1
(blad)groenten	0,36	3,8	0,75	0,164	0,014	0,1
graan	0,13	0,7	0,087	0,164	0,274	0,85
wortel- en knolgewassen	0,14	4,6	0,47	0,164	0,274	0,2
melk					0,0082	0,01
vlees					0,016	0,2

Tabel A.5: Reductiefactoren bij de bereiding van voedsel [5].

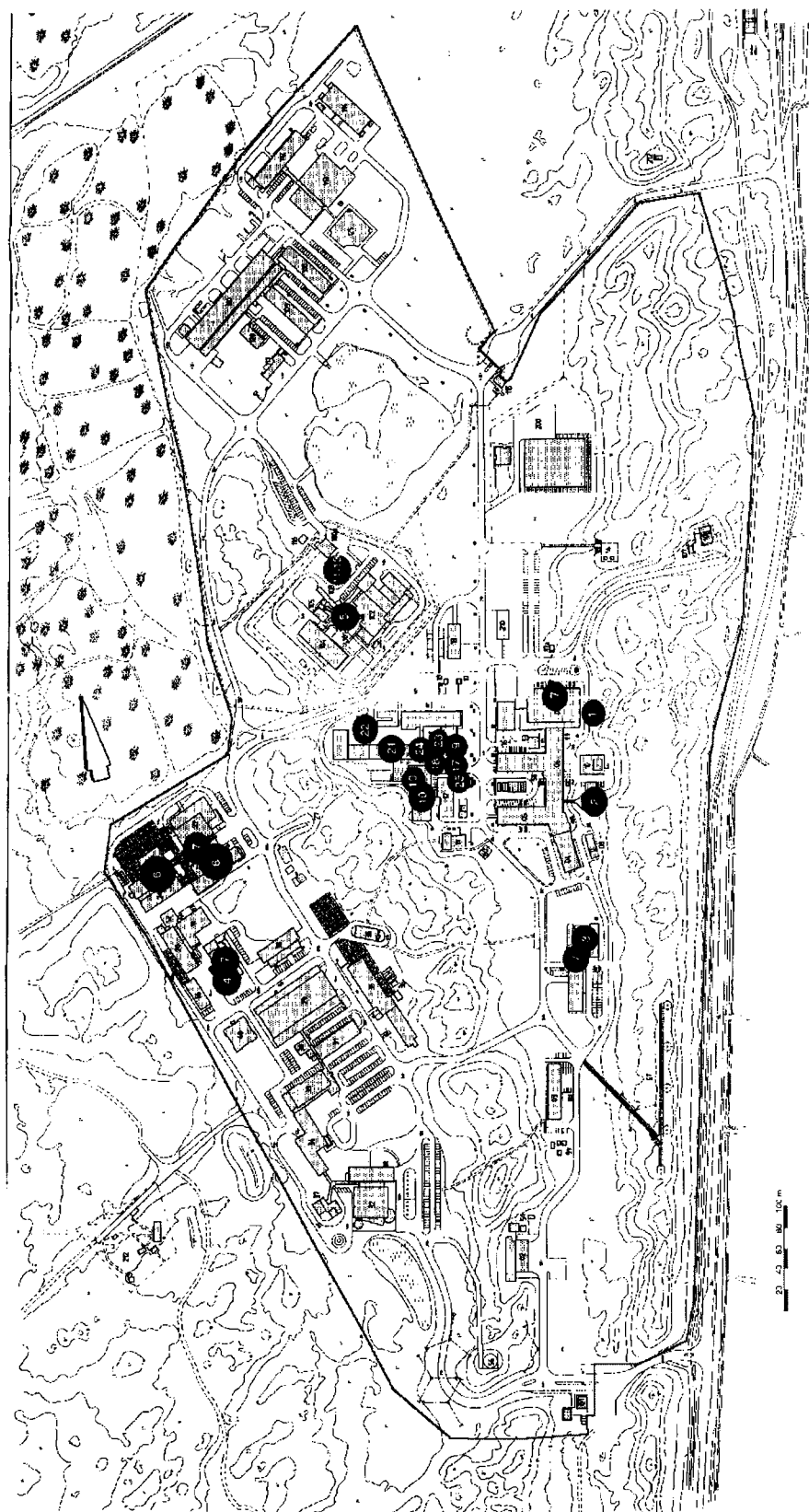
	reductiefactor (%)
graanproducten	70 %
overig voedsel	50 %
melkprodukten	0 %

BIJLAGE B: STRALINGSBRONNEN

	Gebouw/apparaat	Bedrijf	Lozingsgegevens	Limiet	Lozing/emissie
1	LSO (MoV en OL)	ECN	luchtlozing op 45 m hoogte; 33240 m ³ /h	80 Re/a	ca. 20 GBq/a ³ H, 6,2 TBq/a edelgas, <0,2 GBq/a b en g en <0,2 MBq/a α
2	ChM	ECN	luchtlozing op 45 m hoogte; 70000 m ³ /h	20 Re/a	
3	GBA	ECN	luchtlozing op 15 m hoogte; 10800 m ³ /h	zie overig ECN	
4	LFR	ECN	luchtlozing op 10 m hoogte; 10700 m ³ /h, ⁴¹ Ar	⁴¹ Ar: 1Re/a	
5	HFR	GCO	luchtlozing op 45 m hoogte	6000 Ci edelgassen/a	
6	PL	ECN	extern en luchtlozing op 7 m hoogte; 63230 m ³ /h	10 Re/a	aan terreingrens (NW) 1994: 780 μSv/a extern (incl. achtergrond) door opslag en ca. 50 ALI ³ H uit PL
7	Overige	ECN	luchtlozing op 2 à 5 m hoogte	16 Re/a	
8	Noordzeeleiding	ECN	waterlozing op 4 km in zee	2000 Re/a	90 MBq/a α, 55,5 GBq/a β en 405 GBq/a ³ H
9	Philips cyclotron	MM	extern g, n; luchtlozing ⁴¹ Ar, ³⁵ S	4000 GBq/a ⁴¹ Ar	
10	IBA cyclotron	MM	extern g, n; luchtlozing ⁴¹ Ar, ³⁵ S	zie voor ⁴¹ Ar het Philips cycl.	externe belasting niet aangetoond; zie voor ⁴¹ Ar en ³⁵ S het Philips cycl.
11	Toestel 200 kV in NDO	GCO	extern		10 mGy/min op 1 m, 100h/a
12	Toestel 450 kV in NDO	GCO	extern		500 mGy/min op 1 m, 100h/a
13	Toestel 2000 kV (Linac)	GCO	extern		2 Gy/min op 1 m, 250h/a horizontaal, 250 h/a verticaal
14	Ingekapselde bronnen op voorraad	ECN	extern	10 TBq/groep (a, b, c of d)	
15	Open bronnen op voorraad	ECN	extern en luchtlozing	groep a: 3 TBq; groep b: 10 TBq; groep c: 30 TBq; groep d: 100 TBq	
16	Diverse toestellen	ECN	extern		
17	Opslag voor onderhoud van geactiveerde onderdelen cyclotrons	MM	extern (bv. ²⁴ Na in aluminium)		ca. 20 μSv/a op 10 m Oost
18	Opslag voor gebruik	MM	extern door o.a. ⁹⁹ Mo, ¹³¹ I, ¹⁹² Ir en cyclotrontargets; 1 à 2 m hoogte	#)	
19	Ingekapselde ¹³⁷ Cs controlebronnen	MM	extern	maximaal 100 GBq/bron	
20	Niet gespecificeerd, ingekapselde bronnen	MM	extern	maximaal 25 GBq en max. 1 GBq/bron	
21	Hotcells	MM	extern	#)	ca. 4 μSv/a gehele jaar N-grens

	Gebouw/apparaat	Bedrijf	Lozingsgegevens	Limiet	Lozing/emissie
22	Verpakking /belading	MM	extern pallets		ca. 400 $\mu\text{Sv/a}$ aan Noord-grens
23	Ventilatieschachten	MM	^{131}I en $^{131\text{m}}\text{Xe}$	300 MBq/a ^{131}I , 10 Re_{inh} /a overige radionucliden	in 1994: ca. 78 MBq ^{131}I ; ca. 500 GBq/a $^{131\text{m}}\text{Xe}$
24	Filters ventilatieschachten	MM	extern t.g.v. ca. 1GBq ^{131}I		ca. 20-40 $\mu\text{Sv/a}$ op 40-60 m
25	Tijdelijke opslag van vaste reststoffen	MM	extern	#)	ca 1 $\mu\text{Sv/a}$ op 40 m Oost
26	Transport vloeibaar afval	MM	extern		geen bijdrage verwacht

#) 300 TBq ^{192}Ir en een maximaal toegestane hoeveelheid van 500.000 RE_{inh} van overige verspreidbare stoffen

BIJLAGE C: PLATTEGROND

Figuur C-1: Plattegrond van het ECN, GCO en MM bedrijventerrein. Voor nummering zie Bijlage B.

BIJLAGE D: AFKORTINGEN

BsK	Besluit stralenbescherming Kernenergiewet
ChM	Chemie en Materiaalkunde (ECN)
DCC	dosisconversiecoëfficiënt
DRA	Decontaminatie en Radioactief Afval (ECN)
ECN	Energie-onderzoek Centrum Nederland
GBD	Gezondheidsbescherming (ECN)
GCO	Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek van de Europese Unie
HFR	Hoge Flux Reactor (GCO)
LFR	Lage Flux Reactor (ECN)
LSO	Laboratorium voor Sterk-radioactieve Objecten (ECN)
NDO	Niet-Destructief Onderzoek gebouw (GCO)
MER	Milieu Effect Rapportage
MM	Mallinckrodt Medical B.V.
PL	Opslagloods (ECN)
RE	Radiotoxiciteitsequivalent

REFERENTIES

- 1 VROM/SVS/SNV. 1993. Beleidsstandpunten stralingshygiëne tbv vergunningverlening. Deel 1. Reguliere toepassingen. Den Haag, 89p.
- 2 Besluit stralenbescherming Kernenergiewet. 1996. Uitvoeringsvoorschrift van de Kernenergiewet. Kon. Vermande bv Uitg., Lelystad
- 3 IAEA. 1996. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. IAEA Safety Series no. 115, Vienna, 353p.
- 4 Richtlijn 96/29/Euratom van de Raad van 13 mei 1996 tot vaststelling van de basishnormen voor de bescherming van de gezondheid der bevolking en der werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren. Publ. blad van de EG L159/1.
- 5 Laheij GMH, Blaauboer RO, Lembrechts JFMM. 1996. Risicoberekeningen voor in het milieu geloosde radionucliden - Onderbouwing richtlijn voor vergunningen (RIBRON) - EERSTE HERZIENE VERSIE, RIVM rapport nr. 610053005, Bilthoven, 109p.
- 6 Beschikking LSO/Opslagloods ECN, Ministerie van Economische Zaken, kenmerk E/EE/KK/95016601, 24 april 1994.
- 7 Complexvergunning ECN, Ministerie van Economische Zaken, kenmerk E/EE/KK/95017382, 24 april 1994.
- 8 Beschikking Mallinckrodt Medical, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, kenmerk AI/CK/VCR/KEW, 29 november 1996.
- 9 Hinderwetvergunning HFR, Burgemeester en Wethouders van de gemeente Zijpe, 17 oktober 1962 en daarbijbehorende wijziging d.d. 16 november 1966.
- 10 Vergunning LFR, Ministerie van Economische Zaken, kenmerk E/EE/KK/95020720, 24 april 1994.
- 11 ECN. 1994. Lozingslimieten. ECN rapport nr. ECN--94-007, Petten, 15p.
- 12 Aanvraag vergunning Kernenergiewet Mallinckrodt Medical B.V. 1996. Algemene Module G. Emissies; risico's voor de omgeving, 24p.
- 13 Van Hienen JFA, Roelofsen PM, van Weers AW, Poley AD. 1990. Gevolgen van lozingen bij normaal bedrijf van Nederlandse kerninstallaties. ECN rapport nr. ECN-C--90-015, Petten, 244p.
- 14 Van der Feer Y, Bustraan M, Davids JAG, Pefley GV, Stoute JRD, Verhoeven LS. 1965. Overwegingen bij het vaststellen van de maximaal toegestane lozingen uit de HFR schoorsteen. Reactor Centrum Nederland, rapport nr. RCN-Int-65-087, 13p. + app.
- 15 Sanderse RW. 1996 Brief met ref. RWS9706, dd. 1 april 1997. Overzicht van ECN-lozingen over 1996.
- 16 Keverling Buisman AS. 1997. Brief met ref. KVM/SH/AKB/akb, dd. 4 september 1997.
- 17 Rapportages uit het ECN register van activiteitsmetingen aan representatieve weekmonsters van afvalwater geloosd op de Noordzee conform art. III Eh, van het Besluit dd. 26/01/1989, nr. 28N8011 MHS.

- 18 Kocher DC. 1983. Dose-rate conversion factors for external exposure to photons and electrons. *Health Phys.* 45, 665-686.
- 19 Van Jaarsveld JA. 1990. An Operational atmospheric transport model for Priority Substances; specification and instructions for use. RIVM rapport nr. 222501002, Bilthoven.
- 20 KNMI. 1976. Modellen voor de berekening van de verspreiding van luchtverontreiniging inclusief aanbevelingen voor de waarden van parameters in het lange-termijnmodel. SDU, Den Haag.
- 21 Erbrink JJ, van Jaarsveld JA. 1992. Het Nationale Model vergeleken met andere modellen en metingen. *Lucht* 3.
- 22 Charles D, Jones M, Cooper JR. The radiological impact on the EC member states of routine discharges to the north European Waters. Rapport van werkgroep 4 van CEC project MARINA. NRPB, Chilton, Didcot, 20p. + app.
- 23 ICRP. 1975. Reference Man: Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics. ICRP Publication 23, Pergamon Press, Oxford.
- 24 ECN. 1994. Milieu-Effect Rapportage voor de opslagloods. Rapport ECN--94-005.
- 25 ECN. 1994. Aanvulling op het Milieu-Effect Rapport voor de opslagloods. Rapport ECN--94-018.
- 26 Sanderse RW. 1993. Berekening dosistempers bij het gebouw voor Niet-Destructief Onderzoek. ECN memo met kenmerk RWS9324/1, 12+2p.
- 27 Kwakman PJM, Aldenkamp FJ, de Vries LJ, Drost RMS, Tijsmans MH, Koolwijk AC, Ockhuizen A. 1993. Monitoring of radiation in atmosphere, water and a food chain. Results in the Netherlands in 1991. RIVM rapport nr. 749204004, Bilthoven, 91p.
- 28 Keverling Buisman AS. 1996. Overheidsbeleid: ervaring bij ECN. NVS Publicatie 28, 112-120.
- 29 IAEA. 1994. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in temperate environments. IAEA Technical Report Series no. 364, Wenen.