

RIVM rapport 610310 002

**Onderzoek naar lozingscriteria voor  
vergunningverlening kernenergiewet  
in de procesindustrie**

M.J.M. Pruppers, R.O. Blaauboer en  
C.J.W. Twenhöfel

juli 1999

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Veiligheid en Straling, in het kader van project 610310 'Ondersteuning vergunningverlening straling', mijlpaal 'Basiscriteria procesindustrie'.

## Abstract

According to the EU-Directive (96/29/Euratom), the member states of the European Union have to identify the *work activities which involve the presence of natural radiation sources and lead to a significant increase in the exposure of members of the public, which cannot be disregarded from the radiation protection point of view*. Process industries are work activities using large amounts of raw materials like ore, marl or clay, which contain natural radionuclides. These radionuclides, present in the releases into air and water, may impose a radiological risk to the population residing near an industrial site.

A system of reporting and authorization for such releases is now under development in the Netherlands. A work activity enters the system when the maximum individual dose or collective dose due to releases to air or water exceeds a certain value: the so-called *basic dose criteria*. It is under consideration to choose a maximum individual dose of  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  and a collective dose of  $1 \text{ manSv}\cdot\text{a}^{-1}$  as dose criteria. In the system under development the process industry is classified into a limited set of *reference situations*. For each of these situations the dose criteria are then translated into operational emission criteria per radionuclide by calculating the releases that result in a maximum individual dose of  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  and a collective dose of  $1 \text{ manSv}\cdot\text{a}^{-1}$ . Besides describing the system, this report demonstrates the practical use of the system for a few specific process industries in the Netherlands.

The final selection of criteria by the regulator is, however, demonstrated to be a balancing between the simplicity and practicality of the system on the one hand and minimizing the possibility of undeserved enforcement of the obligation to apply for a permit on the other hand.

# Inhoud

Samenvatting.....	4
1 Inleiding .....	5
1.1 Probleemstelling.....	5
1.2 Vraagstelling .....	5
1.3 Aanpak en leeswijzer .....	5
2 Referentiesituaties - lozingen in lucht.....	7
2.1 Inleiding .....	7
2.2 Referentiesituaties.....	7
2.3 Lozingen.....	8
2.4 Atmosferische verspreiding .....	8
2.5 Dosisberekening.....	9
2.6 Resultaten.....	10
2.6.1 Lozingscriteria voor individuele en collectieve doses.....	10
2.6.2 Bevolkingsdichtheidverdeling .....	13
2.6.3 Dosisafkapgrens.....	13
3 Referentiesituaties - lozingen in water .....	15
3.1 Berekeningsmethode .....	15
3.1.1 Typering van een lozing.....	15
3.1.2 Belastingpaden.....	15
3.1.3 Standaard lozingscompartimenten.....	15
3.2 Resultaten.....	17
3.2.1 Lozingscriteria voor individuele en collectieve doses .....	17
3.2.2 Belang van het belastingpad voor de dosis .....	20
3.2.3 Effect van een dosisafkapgrens.....	21
4 Specifieke situaties.....	22
4.1 Inleiding .....	22
4.2 Procesindustrie in Nederland .....	22
4.3 Toepassen van criteria op werkelijke situaties.....	22
4.3.1 Toetsing volgens methode A .....	23
4.3.2 Toetsing volgens methode B.....	24
4.4 Discussie .....	26
5 Conclusies .....	27
Literatuur.....	28
Bijlage 1 Verzendlijst .....	29
Bijlage 2 Lozingscriteria op basis van het collectieve-dosis criterium (lozingen in lucht)...	30
Bijlage 3 Grafische weergave van lozingscriteria - lucht .....	35
Bijlage 4 Grafische weergave van lozingscriteria - water .....	37
Bijlage 5 Collectieve versus individuele dosis - lucht.....	40
Bijlage 6 Collectieve versus individuele dosis - water.....	42

## Samenvatting

Volgens EU-Richtlijn Basisnormen (96/29/Euratom) dienen de lidstaten van de Europese Unie de *werkzaamheden waarbij de blootstelling van leden van de bevolking vanwege de aanwezigheid van natuurlijke stralingsbronnen significant toeneemt in een mate die vanuit het oogpunt van stralingsbescherming niet mag worden veronachtzaamd* te identificeren. Procesindustrieën die tot de bedoelde werkzaamheden behoren, passen grote hoeveelheden ruwe materialen toe, zoals ertsen, mergel en klei, die natuurlijke radionucliden bevatten. Deze radionucliden komen terecht in de lozingen in lucht en water en kunnen een radiologisch risico voor de bevolking veroorzaken die in de nabijheid van een industrie woont.

In Nederland wordt momenteel een systeem van vergunningverlening voor dergelijke lozingen ontwikkeld. Een werkzaamheid komt in het systeem terecht als de maximale individuele dosis of de collectieve dosis als gevolg van de lozingen in lucht of lozingen in water een zekere waarde overschrijdt: het zogenaamde *basis dosis criterium*. Er wordt overwogen om een maximale individuele dosis van  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  en een collectieve dosis van  $1 \text{ manSv}\cdot\text{a}^{-1}$  als dosis criteria te kiezen. Binnen het in ontwikkeling zijnde systeem wordt de procesindustrie ingedeeld in een beperkte set van *referentiesituaties*. Voor elk van deze situaties zijn de dosis criteria omgezet naar operationele lozingscriteria per radionuclide door de lozing te berekenen die tot een maximale individuele dosis van  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  en een collectieve dosis van  $1 \text{ manSv}\cdot\text{a}^{-1}$  leidt. Naast een beschrijving van het systeem wordt in het voorliggende rapport de praktische bruikbaarheid geïllustreerd voor enkele procesindustrieën in Nederland.

Er wordt aangetoond dat de uiteindelijke keuze van criteria door de vergunningverlener een afweging is tussen enerzijds de eenvoud van het systeem met het oog op de praktische toepasbaarheid en anderzijds het minimaliseren van de kans op een onterecht opleggen of niet opleggen van een vergunningplicht.

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

Volgens de Europese Richtlijn Basisnormen uit 1996 (96/29/Euratom) dienen de lidstaten van de EU *werkzaamheden* aan te wijzen die aanleiding kunnen geven tot een *significante verhoging van de blootstelling* van werkers of leden van de bevolking als gevolg van natuurlijke stralingsbronnen [1]. De afdeling Straling, Nucleaire en Bioveiligheid van de directie Stoffen, Veiligheid en Straling van het Directoraat Generaal Milieubeheer (DGM/SVS/SNB) heeft in overleg met de ministeries van Economische Zaken en Sociale Zaken en Werkgelegenheid in diverse werkdocumenten voorstellen gedaan voor criteria om te bepalen wat *significant* wordt geacht en voor de wijze waarop in Nederland deze werkzaamheden zullen worden aangewezen. Uiteindelijk zullen de voorstellen door middel van regelgeving worden bekrachtigd.

Volgens de voorstellen wordt de procesindustrie tot de bedoelde werkzaamheden gerekend. Bij de keuze van de niveaus van de zogenaamde basiscriteria voor het in het regelsysteem brengen van de werkzaamheden wordt onderscheid gemaakt in vijf verschillende situaties:

- 1 lozingen in lucht,
- 2 lozingen in water,
- 3 externe straling afkomstig van bulkopslag van voorraden,
- 4 bulkhoeveelheden van hergebruikte en gestorte afvalstoffen, en
- 5 gecontamineerde voorwerpen, zoals pijpen en afsluiters uit de olie- en gaswinning en de chemische industrie.

De situaties 3 tot en met 5 zijn geen onderwerp van het voorliggende rapport.

Er zijn door DGM/SVS/SNB voor de lozingen in lucht en voor lozingen in water twee typen dosiscriteria voorgesteld: de maximale multifunctionele individuele dosis (MID) in een jaar en de collectieve dosis in een jaar. In het vervolg van dit rapport zullen deze doses met de termen individuele dosis en collectieve dosis worden aangeduid. De dosiscriteria bedragen  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  voor de individuele en  $1 \text{ mensSv}\cdot\text{a}^{-1}$  voor de collectieve dosis voor lozingen in lucht en lozingen in water afzonderlijk.

## 1.2 Vraagstelling

Om meer inzicht te krijgen in de gevolgen van de beleidsvoorstellen wenst DGM/SVS/SNB ondersteuning van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek (RIVM/LSO) bij het vertalen van dosiscriteria naar lozingscriteria. Het vertalen van dosiscriteria naar lozingscriteria blijft beperkt tot *lozingen in lucht* en *lozingen in water* voor in eerste instantie 'normaal te achten standaard situaties'. Doel van deze vertaling is om te komen tot *operationele criteria* voor vergunningsplicht, waaraan in de praktijk kan worden getoetst zonder dat er een uitgebreide dosisberekening hoeft te worden uitgevoerd.

## 1.3 Aanpak en leeswijzer

De vertaling van dosiscriteria naar lozingscriteria is op twee manieren uitgevoerd: de generieke aanpak voor fictieve, maar wel realistische situaties en de specifieke aanpak voor werkelijke situaties.

In de generieke aanpak is een beperkt aantal *referentiesituaties* gedefinieerd waarvoor de individuele en de collectieve dosis voor een standaardlozing zijn berekend. Vervolgens is voor elke referentiesituatie de gehanteerde standaardlozing omgerekend naar de lozing die een individuele dosis van  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  of een collectieve dosis van  $1 \text{ mensSv}\cdot\text{a}^{-1}$  veroorzaakt. Het resultaat van deze stap is het gewenste lozingscriterium dat wordt uitgedrukt in  $\text{Bq}\cdot\text{a}^{-1}$  per radionuclide (hoofdstukken 2 en 3).

In de specifieke aanpak zijn uit reeds gepubliceerde RIVM-rapporten en -publicaties voor de bestaande (werkelijke) bronnen in Nederland geschatte waarden voor de feitelijke lozingen verzameld. Tenslotte is er een vergelijking uitgevoerd van de resultaten van de generieke en de specifieke aanpak en wordt de vraag beantwoord of de generieke aanpak voor het vaststellen van lozingscriteria in de praktijk bruikbaar is (hoofdstuk 4).

Een deel van de voorlopige resultaten is reeds in april 1998 in de vorm van een *brieft rapport* aan de opdrachtgever gerapporteerd [2] en in november 1998 tijdens tijdens het *Second International Symposium on the Treatment of Naturally Occurring Radioactive Materials* [3].

## 2 Referentiesituaties - lozingen in lucht

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is voor een continue lozing van een radionuclide in de atmosfeer een aantal tabellen met lozingscriteria afgeleid. De lozingskenmerken van de bron en de verspreiding zijn gegeneraliseerd door de keuze van vier referentiesituaties die representatief voor de procesindustrie zijn en door de keuze van een generiek verspreidingsmodel voor de Nederlandse situatie.

De waarden van de lozingscriteria zijn gebaseerd op een dosiscriterium van  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  voor de individuele dosis en  $1 \text{ mensSv}\cdot\text{a}^{-1}$  voor de collectieve dosis voor leden van de bevolking. De collectieve dosis is afgeleid uitgaande van een aantal eenvoudige geografische aannames voor de bevolkingsdichtheidsverdeling rond het lozingspunt. De resultaten zijn, binnen de beperkingen van de generieke aanpak, toepasbaar op de Nederlandse situatie. Voor specifieke lozingsituaties zijn de resultaten slechts dan toepasbaar indien zowel de lozingskenmerken van de bron als ook de bevolkingsdichtheidsverdeling rond het lozingspunt voldoende overeenkomen met de hier gespecificeerde waarden.

De invloed van het toepassen van een dosisafkapgrens op de waarden van de lozingscriteria die van het collectieve-dosiscriterium zijn afgeleid, is onderzocht voor de grenswaarden 0,01 en  $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ . De dosisafkapgrens is gedefinieerd als de grens aan de individuele dosis waaronder de individuele dosis niet meer meetelt in de collectieve dosis. De collectieve dosis is alleen berekend voor personen binnen het gegeneraliseerde modelgebied (zie Tabel 4).

In de uiteindelijke berekening van de lozingscriteria is geen dosisafkapgrens gehanteerd. Het is daarom mogelijk de lozingscriteriatabellen voor zowel de individuele dosis als de collectieve dosis op te schalen.

### 2.2 Referentiesituaties

De berekeningen van de dosis ten gevolge van een lozing in lucht zijn naar de lozingshoogte ingedeeld in vier referentiesituaties: (L1) lozing op grondniveau, (L2) lozing op geringe hoogte, (L3) lozing op gemiddelde hoogte en (L4) lozing op grote hoogte. Per referentiesituatie worden twee varianten onderscheiden: (a) een met een lage en (b) een met een hoge waarde voor de warmte-inhoud van de rookgassen (zie Tabel 1). Uitgangspunt van de classificatie is de effectieve pluimstijging. Deze wordt in belangrijke mate bepaald door de lozingshoogte en de warmte-inhoud van de rookgassen [4].

De referentiesituaties vertegenwoordigen typische bedrijfsactiviteiten zoals: (L1) overslag, delfstofwinning en processen met open vuur op grondniveau, (L2) de lichte procesindustrie, ventilatie- of dakafblaassystemen, (L3) de middelzware procesindustrie en (L4) de zware procesindustrie, maar ook bijvoorbeeld de kolencentrales.

De vier referentiesituaties (L1-L4) met de bijbehorende lozingskenmerken zijn gegeven in Tabel 1. De deeltjesgrootteverdeling (AMAD) van het stof of de rookgassen is gekoppeld aan de referentiesituatie: grof voor de lozing op grondniveau (overslag), midden voor lage- en middelhoge lozingen en fijn voor de hoogste lozingspunten. Bij de laatste drie

lozingssituaties mag men verwachten dat er in oplopende mate filtering van de rookgassen gerealiseerd zal zijn.

*Tabel 1 Overzicht van de lozingskenmerken van de vier referentiesituaties. Een referentiesituatie heeft een vaste lozingshoogte en deeltjesgrootteverdeling en komt voor in twee varianten: (a) een variant met een lage en (b) een variant met een hoge warmte-inhoud van de rookgassen. Indien de lozing op grondniveau plaatsvindt (L1) zal in het algemeen geen sprake zijn van rookgassen maar van verwaaiing van stofdeeltjes. De deeltjesgrootteverdelingen (grof, midden en fijn) komen overeen met de verdelingen die in het OPS-model worden gehanteerd [5].*

referentie-situatie	lozingshoogte (m)	warmte-inhoud (MW)	AMAD-verdeling
grond L1a	2	0	grof
grond L1b	2	0,1	grof
laag L2a	10	0,1	midden
laag L2b	10	1	midden
midden L3a	30	1	midden
midden L3b	30	10	midden
hoog L4a	150	10	fijn
hoog L4b	150	100	fijn

## 2.3 Lozingen

Passend bij de activiteiten van de procesindustrie zijn alleen lozingen van de natuurlijk voorkomende radionucliden gemodelleerd, te weten de langlevende radionucliden uit de thorium-, actinium- en uraniumreeksen:  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{227}\text{Ac}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Pa}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  en  $^{238}\text{U}$  en het gasvormige  $^{222}\text{Rn}$ . Van de hier beschouwde radionucliden is alleen voor  $^{222}\text{Rn}$  een gasvormig verspreiding aangenomen. De overige radionucliden worden verondersteld te zijn gebonden aan aerosolen met een deeltjesgrootteverdeling volgens Tabel 1. Er is verondersteld dat de lozingen voor alle radionucliden continu in de tijd zijn. Er is geen rekening gehouden met ingroei van dochternucliden tijdens de verspreiding. Voor  $^{222}\text{Rn}$  is, vanwege de korte levensduur van dit radionuclide, rekening gehouden met verval tijdens de verspreiding.

## 2.4 Atmosferische verspreiding

De atmosferische verspreiding en depositie van de aan aërosolen gebonden radionucliden en het gasvormige  $^{222}\text{Rn}$  zijn gemodelleerd met het OPS-model [5]. Vanwege de generieke aanpak van de berekeningen is gebruik gemaakt van over Nederland gemiddelde weersgegevens en terreinkarakterisering (ruwheidslengte). De belangrijkste invoergegevens voor het OPS-model zijn gegeven in Tabel 2.

*Tabel 2 Invoerparameters voor het OPS-model.*

grootheid	standaard waarde
ruwheidslengte	vlak terrein: 0,15 m; gemiddelde over Nederland
klimaat op locatie	10 jaarsgemiddelde over Nederland
minimale afstand bron-receptor	100 m
deeltjesgrootteverdeling	grof, midden, fijn (standaard AMAD verdelingen OPS)



In de verspreidingsberekening is de bron centraal in het modelgebied geplaatst. Het modelgebied strekt zich uit van een minimum afstand van 100 m tot de bron tot aan een maximum afstand van 115 km. Het oppervlak van een gebied met een diameter van 230 km komt namelijk overeen met het oppervlak van Nederland. De minimum afstand van 100 m kan gezien worden als de begrenzing van een (fictief) bedrijfsterrein. Bovendien vallen de uitkomsten van de verspreidingsberekeningen op geringe afstand van de bron buiten het validatiegebied van het OPS-model. Hoewel de resultaten voor de referentiesituaties L1a en L1b wel in de tabellen zijn opgenomen, moet worden bedacht dat deze resultaten dus erg onzeker zijn.

## 2.5 Dosisberekening

In de dosisbepaling zijn de drie blootstellingswegen ingestie, inhalatie en externe blootstelling meegenomen. De berekeningen zijn conform de RIBRON-richtlijnen [6] uitgevoerd. Tabel 3 geeft een overzicht van de gehanteerde dosisconversiecoëfficiënten (DCC) voor de volgdosis bij inhalatie en ingestie [1].

Tabel 3 Dosisconversiecoëfficiënten (DCC) voor inhalatie en ingestie [1].

radionuclide	inhalatie (Sv/Bq)	ingestie (Sv/Bq)
<sup>210</sup> Pb	5,60 10 <sup>-6</sup>	6,90 10 <sup>-7</sup>
<sup>210</sup> Po	4,30 10 <sup>-6</sup>	1,20 10 <sup>-6</sup>
<sup>222</sup> Rn	6,36 10 <sup>-9</sup>	0
<sup>226</sup> Ra	9,50 10 <sup>-6</sup>	2,80 10 <sup>-7</sup>
<sup>228</sup> Ra	1,60 10 <sup>-5</sup>	6,90 10 <sup>-7</sup>
<sup>227</sup> Ac	5,50 10 <sup>-4</sup>	1,10 10 <sup>-6</sup>
<sup>228</sup> Th	4,00 10 <sup>-5</sup>	7,20 10 <sup>-8</sup>
<sup>230</sup> Th	1,00 10 <sup>-4</sup>	2,10 10 <sup>-7</sup>
<sup>232</sup> Th	1,10 10 <sup>-4</sup>	2,30 10 <sup>-7</sup>
<sup>231</sup> Pa	1,40 10 <sup>-4</sup>	7,10 10 <sup>-7</sup>
<sup>234</sup> U	9,40 10 <sup>-6</sup>	4,90 10 <sup>-8</sup>
<sup>235</sup> U	8,50 10 <sup>-6</sup>	4,70 10 <sup>-8</sup>
<sup>238</sup> U	8,00 10 <sup>-6</sup>	4,50 10 <sup>-8</sup>

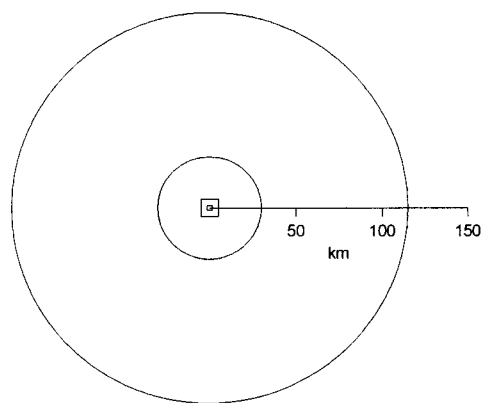
Een deel van de dosisbijdrage ten gevolge van de blootstellingsweg ingestie (consumptie van zuivel-, vlees-, akker- en tuinbouwproducten en 50% van de bladgroenten) is conform de RIBRON-richtlijn [6] gemiddeld over een COROP-gebied. De indeling van Nederland in ruim 40 COROP-gebieden werd in de jaren vijftig door de Coördinatiecommissie Regionaal Onderzoekprogramma opgesteld. Een COROP-gebied bestaat uit een aantal gemeenten die zijn samengevoegd tot één regio rekening houdend met sociaal-economische factoren en aansluitend op provinciegrenzen. Vanwege de hier gewenste generieke, locatieafhankelijke aanpak van de berekeningen is het COROP-gebied voorgesteld door een cirkelvormig oppervlak met een straal van 30 km rond het lozingspunt. Voor de Nederlandse situatie komt dit overeen met een COROP-gebied van gemiddelde omvang. De dosis via voedsel afkomstig uit het gebied buiten de 30 km-zone is gemiddeld over dit gebied.

De extra bijdrage aan de dosis als gevolg van ingroei van dochternucliden is alleen relevant voor het belastingpad 'opname van radionucliden uit de bodem door gewassen'. De extra bijdrage aan de totale individuele dosis is het hoogst voor <sup>226</sup>Ra en wordt geschat op minder dan 5%. In verband met deze geringe extra bijdrage is de ingroei van dochternucliden in de berekening verder achterwege gelaten.

Het geografische maximum in de individuele dosis (MID) is bepaald na sommatie van de dosis via de drie blootstellingswegen (inhalatie, ingestie en externe blootstelling) op elke locatie. Met uitzondering van de reductiefactoren zoals verblijfsfactoren, afscherming en voedselbereiding, die in de RIBRON-richtlijn [6] zijn vermeld, is geen rekening gehouden met het werkelijke gebruik van de omgeving. Dat wil zeggen dat de actuele individuele dosis (AID) niet is berekend.

De collectieve dosis ten gevolge van een lozing in lucht hangt af van de bevolkingsdichtheidsverdeling rond de bron. Deze afhankelijkheid is bestudeerd door een vijftal bevolkingsdichtheidsscenario's door te rekenen (Tabel 4).

*Tabel 4 De vijf scenario's voor de verdeling van de bevolkingsdichtheid ( $ha^{-1}$ ) in opeenvolgende en elkaar uitsluitende gebieden rond het lozingspunt. Het totaal aantal inwoners en de totale oppervlakte zijn overeenkomstig de werkelijke situatie in Nederlandse situatie gekozen.*



bevolkingsdichtheid (inwoners per ha)	$3 \times 3 \text{ km}^2$	$10 \times 10 \text{ km}^2$	$r < 30 \text{ km}$ "COROP"	$r < 115 \text{ km}$ "Nederland"
i gemiddeld Nederland	3,8	3,8	3,8	3,8
ii stad	120	25	1,4	3,9
iii drukke woonwijk	70	25	1,4	3,9
iv rustige woonwijk (dorp)	25	1,4	1,4	4,0
v buiten (platteland)	1,0	1,0	1,0	4,0

Scenario (i) komt overeen met een gemiddelde, constante bevolkingsdichtheid over heel Nederland. De scenario's (ii) tot en met (iv) vertegenwoordigen, in afnemende bevolkingsdichtheid in de onmiddellijke nabijheid van de bron, een bronlocatie in het centrum van een (ii) drukke stad, (iii) drukke woonwijk en (iv) een rustige woonwijk (of dorp). Het buitengebied of platteland (v) heeft de laagste bevolkingsconcentratie nabij het lozingspunt. De hier gehanteerde waarden voor de bevolkingsdichtheden zijn overgenomen uit ref. [7].

Het hanteren van een dosisafkapgrens is van invloed op de waarde van de collectieve dosis. Een indruk van de gevoeligheid voor het hanteren van een dosisafkapgrens is verkregen door de collectieve dosis bij een dosisafkapgrens van 0, 0,01 en  $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  te berekenen en met elkaar te vergelijken.

## 2.6 Resultaten

### 2.6.1 Lozingscriteria voor individuele en collectieve doses

In tabel 5 zijn de lozingscriteria gegeven voor een lozing in lucht voor de vier referentiesituaties (L1-L4) en warmte-inhoud varianten (a = laag en b = hoog) en voor alle

geselecteerde radionucliden. De tabelwaarden zijn bepaald op basis van een individuele dosis (MID) van  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  ten gevolge van het totaal aan blootstellingswegen voor leden van de bevolking.

*Tabel 5 Lozingscriteria in  $\text{GBq}\cdot\text{a}^{-1}$  per radionuclide en per referentiesituatie op basis van een maximale individuele dosis van  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  voor leden van de bevolking.*

	(L1a)	(L1b)	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	(7,0E-02)	(1,9E-01)	5,8E-01	5,2E+00	1,3E+01	1,2E+02	4,3E+02	7,8E+02
<sup>210</sup> Po	(8,8E-02)	(2,3E-01)	7,2E-01	6,5E+00	1,6E+01	1,5E+02	5,3E+02	9,2E+02
<sup>222</sup> Rn	(6,5E+01)	(1,9E+02)	5,9E+02	5,4E+03	1,4E+04	1,6E+05	7,4E+05	3,1E+06
<sup>226</sup> Ra	(4,5E-02)	(1,3E-01)	3,8E-01	3,5E+00	8,8E+00	9,7E+01	4,2E+02	1,3E+03
<sup>228</sup> Ra	(2,6E-02)	(7,4E-02)	2,2E-01	2,0E+00	5,2E+00	5,6E+01	2,3E+02	6,5E+02
<sup>227</sup> Ac	(7,9E-04)	(2,2E-03)	6,7E-03	6,2E-02	1,6E-01	1,8E+00	8,3E+00	3,3E+01
<sup>228</sup> Th	(1,1E-02)	(3,1E-02)	9,2E-02	8,5E-01	2,2E+00	2,5E+01	1,1E+02	4,7E+02
<sup>230</sup> Th	(4,3E-03)	(1,2E-02)	3,7E-02	3,4E-01	8,7E-01	9,9E+00	4,6E+01	1,8E+02
<sup>232</sup> Th	(3,9E-03)	(1,1E-02)	3,3E-02	3,1E-01	7,9E-01	9,0E+00	4,1E+01	1,7E+02
<sup>231</sup> Pa	(3,1E-03)	(8,7E-03)	2,6E-02	2,4E-01	6,2E-01	7,0E+00	3,2E+01	1,3E+02
<sup>234</sup> U	(4,6E-02)	(1,3E-01)	3,9E-01	3,6E+00	9,2E+00	1,0E+02	4,8E+02	1,9E+03
<sup>235</sup> U	(4,9E-02)	(1,4E-01)	4,1E-01	3,8E+00	9,6E+00	1,1E+02	4,9E+02	1,7E+03
<sup>238</sup> U	(5,4E-02)	(1,5E-01)	4,6E-01	4,2E+00	1,1E+01	1,2E+02	5,6E+02	2,2E+03

De lozingscriteria die zijn afgeleid uit de collectieve dosis van  $1 \text{ mensSv}\cdot\text{a}^{-1}$  bestaan uit 15 tabellen: differentiatie naar vijf bevolkingsdichtheidsscenario's en naar drie varianten voor de dosisafkapgrens (bijlage 2). Tabel 6 bevat een overzicht van de lozingscriteria op basis van de collectieve dosis. Per radionuclide en per referentiesituatie is de meest beperkende van de 15 afzonderlijke waarden genomen.

*Tabel 6 Lozingscriteria in  $\text{GBq}\cdot\text{a}^{-1}$  op basis van een collectieve dosis van  $1 \text{ mensSv}\cdot\text{a}^{-1}$  voor leden van de bevolking.*

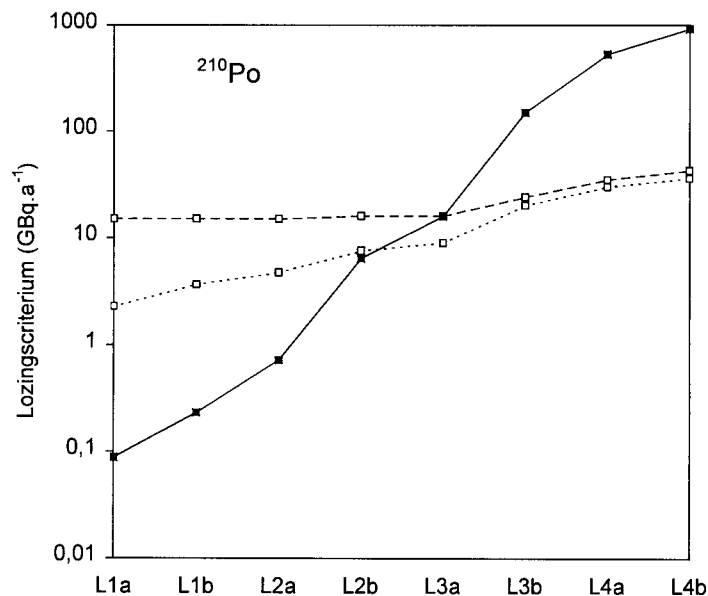
	(L1a)	(L1b)	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	(1,8E+00)	(3,0E+00)	3,8E+00	6,1E+00	7,2E+00	1,6E+01	2,4E+01	2,9E+01
<sup>210</sup> Po	(2,3E+00)	(3,7E+00)	4,8E+00	7,6E+00	9,0E+00	2,0E+01	3,0E+01	3,6E+01
<sup>222</sup> Rn	(1,7E+03)	(3,4E+03)	4,4E+03	8,0E+03	1,0E+04	3,9E+04	7,7E+04	1,8E+05
<sup>226</sup> Ra	(1,3E+00)	(2,3E+00)	3,0E+00	5,3E+00	6,8E+00	2,2E+01	3,6E+01	5,8E+01
<sup>228</sup> Ra	(7,3E-01)	(1,3E+00)	1,7E+00	3,0E+00	3,8E+00	1,2E+01	1,9E+01	2,9E+01
<sup>227</sup> Ac	(2,3E-02)	(4,2E-02)	5,4E-02	1,0E-01	1,3E-01	5,2E-01	9,3E-01	2,0E+00
<sup>228</sup> Th	(3,1E-01)	(5,8E-01)	7,5E-01	1,4E+00	1,9E+00	7,2E+00	1,3E+01	2,9E+01
<sup>230</sup> Th	(1,2E-01)	(2,3E-01)	3,0E-01	5,7E-01	7,4E-01	2,9E+00	5,2E+00	1,1E+01
<sup>232</sup> Th	(1,1E-01)	(2,1E-01)	2,7E-01	5,1E-01	6,7E-01	2,6E+00	4,7E+00	1,0E+01
<sup>231</sup> Pa	(8,8E-02)	(1,6E-01)	2,1E-01	4,0E-01	5,2E-01	2,0E+00	3,5E+00	7,4E+00
<sup>234</sup> U	(1,3E+00)	(2,4E+00)	3,2E+00	6,0E+00	7,8E+00	2,9E+01	5,2E+01	1,1E+02
<sup>235</sup> U	(1,4E+00)	(2,6E+00)	3,4E+00	6,3E+00	8,2E+00	3,0E+01	5,5E+01	1,1E+02
<sup>238</sup> U	(1,6E+00)	(2,9E+00)	3,7E+00	7,0E+00	9,1E+00	3,5E+01	6,3E+01	1,3E+02

Het schalen van de lozingscriteriatabelen is mogelijk voor zowel de tabelwaarden verkregen uit de individuele dosis als die verkregen uit de berekening van de collectieve dosis mits er geen dosisafkapgrens wordt gehanteerd. Dit betekent dat bij kiezen van een waarde van bijvoorbeeld 5 in plaats van  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  voor het individuele-dosis criterium, de waarden voor de lozingscriteria een factor 2 lager ('strenger') zullen zijn. Van de tabellen in bijlage 2 kunnen alleen die tabellen worden geschaald waarvoor geen dosisafkapgrens is gehanteerd.

Het uiteindelijke lozingscriterium per radionuclide en per referentiesituatie is het minimum van de waarden uit Tabel 5 en Tabel 6. Zoals verwacht blijkt voor lozingen op lage hoogte en

met geringe warmte-inhoud (L1-L2) het lozingscriterium op basis van het individuele-dosiscriterium beperkender dan dat op basis van het collectieve-dosiscriterium (Tabel 5). De radionucliden worden in dit geval namelijk slechts beperkt verspreid met een overeenkomstig hoge individuele dosis in de directe omgeving van de bron en een lage collectieve dosis vanwege het relatief lage aantal blootgestelde personen in de directe omgeving. Voor lozingen op grotere hoogte en bij hogere warmte-inhoud (L3-L4) zullen de radionucliden in toenemende mate een groter gebied en derhalve ook meer inwoners bereiken. In deze referentiesituaties is het lozingscriterium op basis van de collectieve dosisberekeningen het meest beperkend.

Figuur 1 toont lozingscriteria voor  $^{210}\text{Po}$ . Om een indruk te geven van de invloed van de bevolkingsdichtheidsverdeling op het lozingscriterium op basis van het collectieve-dosiscriterium (zonder dosisafkapping) is per referentiesituatie de laagste en hoogste waarde weergegeven. De bevolkingsdichtheid is alleen van invloed in situaties met lozingen op lage hoogte en bij geringe warmte-inhoud (L1-L2). Voor deze situaties is echter het lozingscriterium op basis van het individuele-dosiscriterium beperkender. Voor de andere radionucliden is het in figuur 1 getoonde verband vergelijkbaar (zie bijlage 3).

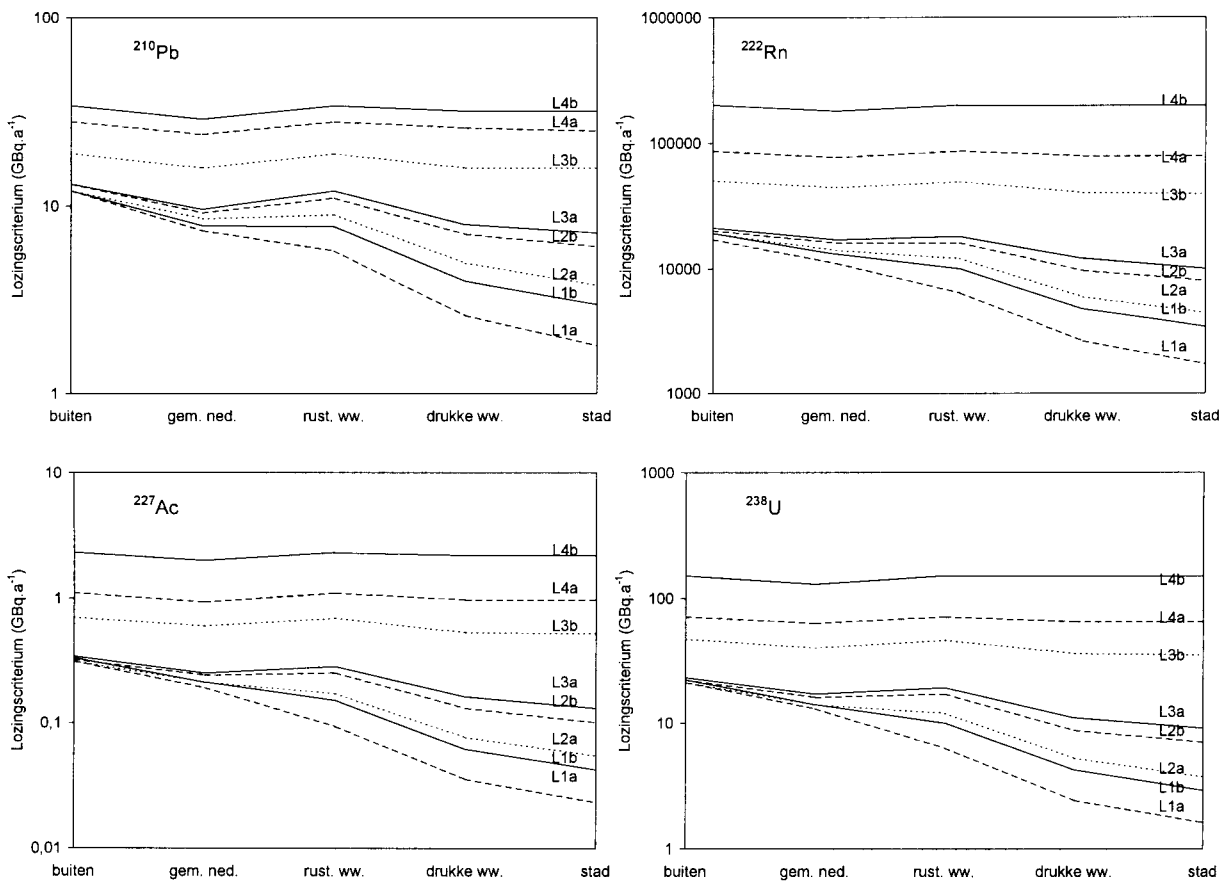


*Figuur 1* Vergelijking van lozingscriteria op basis van het individuele-dosiscriterium (—) met de laagste (-----) en de hoogste (- - - -) waarden van de lozingscriteria op basis van het collectieve-dosiscriterium (zonder dosisafkapping) die zijn berekend voor de vijf scenario's voor de bevolkingsdichtheidsverdeling). Zie bijlage 3 voor de andere radionucliden.

De lozingscriteria vertonen voor de vier referentiesituaties een grote spreiding in waarden. Het verschil tussen L1a en L4b bedraagt, afhankelijk van het beschouwde radionuclide, een factor 400 tot 2800. De spreiding reduceert tot een factor 50 tot 300 indien L1a en L1b buiten beschouwing worden gelaten. De dosisberekeningen voor de L1-situaties zijn immers binnen de huidige generieke opzet onzeker. Bij deze lage effectieve lozingshoogten is de structuur van de directe omgeving rond de bron van grote invloed op de verspreiding en depositie.

## 2.6.2 Bevolkingsdichtheidverdeling

Het samenvallen van een hoge bevolkingsdichtheid rond de bron met een sterk gepiekte dosisverdeling voor referentiesituaties L1 en L2 geeft aanleiding tot een verhoging van de collectieve dosis en een verlaging van het lozingscriterium (zie figuur 2). Het effect op het lozingscriterium voor de referentiesituaties L3 en L4 is, vanwege de grotere omvang van het verspreidingsgebied en de hiermee samenhangende vlakkere dosisverdeling, gering. Een hoge bevolkingsdichtheid rond het lozingspunt verlaagt het lozingscriterium met ongeveer een factor twee voor referentiesituatie L3 en een factor 1,1 voor referentiesituatie L4.



*Figuur 2 Invloed van de bevolkingsdichtheidsverdeling rond de bron op de lozingscriteria op basis van het collectieve-dosiscriterium voor vier radionucliden en alle referentiesituaties (zonder dosisafkapgrens).*

## 2.6.3 Dosisafkapgrens

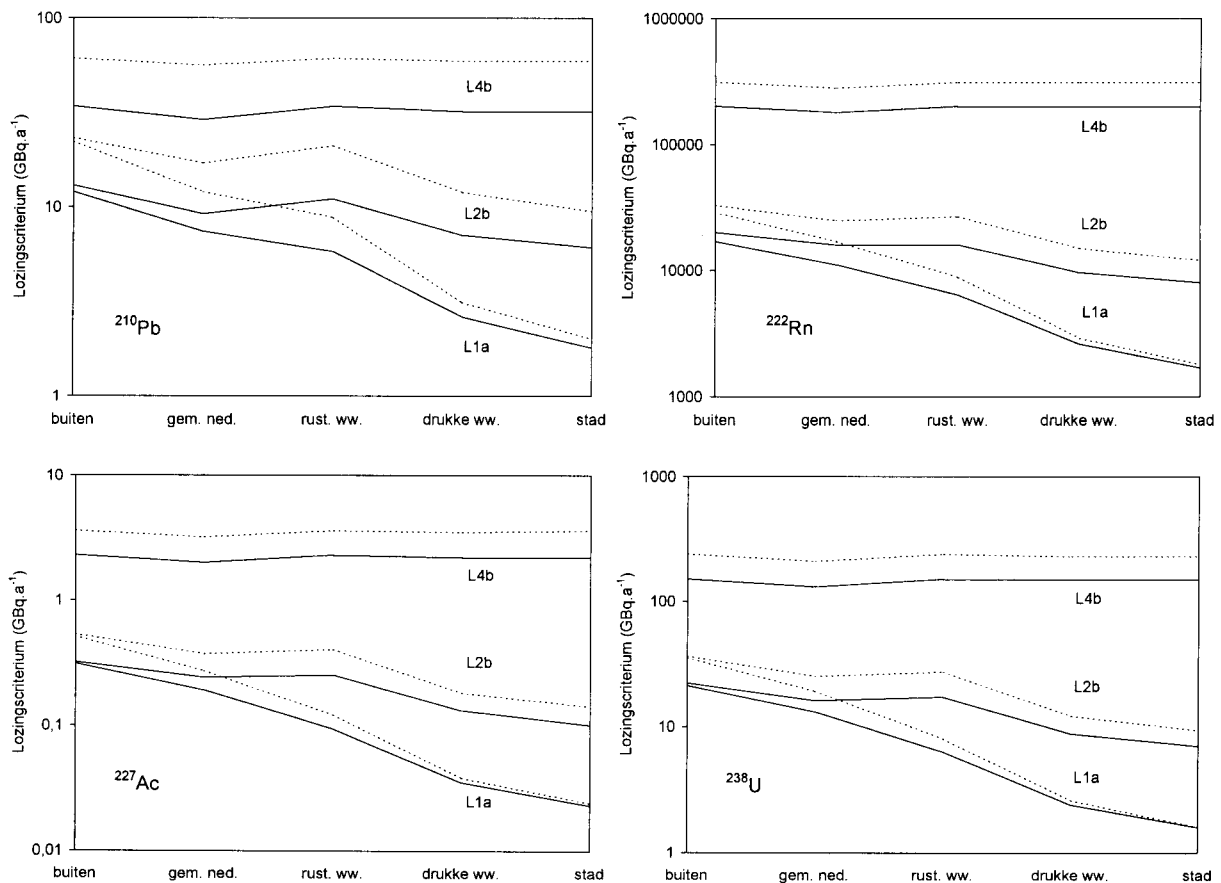
Het hanteren van een dosisafkapgrens geeft in het algemeen een lagere collectieve dosis en derhalve een hogere waarde van het lozingscriterium (figuur 3). De lozingscriteria zonder een dosisafkapgrens en bij grenswaarden van  $0,01 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  en  $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  zijn te vinden in bijlage 2. In paragraaf 2.6.1 is reeds vermeld dat het lozingscriterium ten gevolge van de collectieve dosis alleen restrictief is voor de lozingsituaties L3 en L4 en de gevolgen beperken zich derhalve tot deze twee referentiesituaties:

- Een dosisafkapgrens van  $0,01 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  voor de individuele dosis heeft geen of bij uitzondering een zeer gering effect op het lozingscriterium voor de referentiesituaties

L3 en L4. Dit wordt veroorzaakt door de (grote) uitgestrektheid van het verspreidingsgebied en het groot aantal Nederlanders. Om het relatief hoge dosis criterium van  $1 \text{ mensSv.a}^{-1}$  te bereiken zou in de L3- en L4-referentiesituaties de individuele dosis vrijwel overal in Nederland hoger dan de dosisafkapgrens van  $0,01 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  moeten zijn.

- Verhoging van de dosisafkapgrens voor de referentiesituaties tot  $0,1 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  heeft, onafhankelijk van het beschouwde radionuclide, een verhoging van het lozingscriterium tot gevolg van iets minder dan twee maal het lozingscriterium bij geen dosisafkapgrens.

In het vervolg van dit rapport wordt de dosisafkapgrens dan ook achterwege gelaten.



*Figuur 3 Invloed van het hanteren van een dosisafkapgrens op de lozingscriteria op basis van het collectieve-dosis criterium voor vier radionucliden, vijf bevolkingsdichtheidsverdelingen en drie referentiesituaties: dosisafkapgrens  $0,1 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  (-----) en zonder dosisafkapgrens (——). Een dosisafkapgrens  $0,01 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  zou in de figuur niet te onderscheiden zijn van de situatie zonder afkapgrens.*

## 3 Referentiesituaties - lozingen in water

### 3.1 Berekeningsmethode

#### 3.1.1 Typering van een lozing

Voor de hier berekende lozingscriteria is uitgegaan van reguliere en over het jaar constante lozingen in water. De geloosde radionucliden worden, samenhangend met het karakter van de procesindustrie, geacht afkomstig te zijn uit de thorium-, actinium- en uraniumreeksen. Het gaat met name om  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{227}\text{Ac}$ ,  $^{227}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Pa}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  en  $^{238}\text{U}$ . Het edelgas radon ( $^{220}\text{Rn}$  en  $^{222}\text{Rn}$ ) speelt bij lozing in water geen relevante rol, evenmin als de kortlevende vervalproducten. Er is aangenomen dat de radionucliden bij lozing vrij beschikbaar zijn, dat wil zeggen opgelost danwel gehecht aan slib. Bij het berekenen van de dosis als gevolg van lozingen in water zijn de bijdragen van ingegroeide dochternucliden in tegenstelling tot de situatie bij lozingen in lucht wel in rekening gebracht. Vooral bij  $^{210}\text{Pb}$  heeft de ingroei van dochternucliden een duidelijk reducerende invloed op de hoogte van het lozingscriterium.

#### 3.1.2 Belastingpaden

Er is bij een standaardlozing in water gekozen voor vier referentiesituaties, namelijk:

- W1 lozing op een riool afwaterend op een openbare rioolwaterzuiveringsinstallatie, die vervolgens afwatert op een rivier met afvoer naar zee;
- W2 lozing direct op het oppervlaktewater in de vorm van een rivier, met afvoer naar zee;
- W3 lozing direct op het oppervlaktewater in de vorm van een meer, met afvoer naar zee; en
- W4 directe lozing op zee of een grote zeearm.

Elk specifiek bedrijf wordt geacht in één van deze vier referentiesituaties te passen.

De voor deze referentiesituaties te berekenen dosis is het gevolg van de consumptie van de volgende producten: zoetwatervis, zeevis, schelp- en schaaldieren, drinkwater en melk en rundvlees van de overstroomde en geïrrigeerde uiterwaarden langs de rivier. Omdat uiterwaarden kunnen overstromen, worden hier meestal geen groenten verbouwd en wordt aangenomen dat er geen mensen wonen. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de diverse belastingpaden wordt verwezen naar de RIBRON-richtlijn [6]. De belastingpaden 'beregemen van land met oppervlaktewater' en 'wonen op met havenspecie opgehoogd land' zijn niet meegenomen.

Om het effect van het belastingpad drinkwater te kunnen inschatten zijn naast de situatie mét drinkwater (W1a, W2a en W3a) tevens lozingscriteria berekend voor de situatie dat drinkwater slechts in geringe mate wordt geproduceerd (W1b, W2b en W3b) en dus voor de collectieve dosis niet van belang is.

#### 3.1.3 Standaard lozingscompartimenten

Bij de lozing via het riool wordt aangenomen dat alle activiteit de rioolwaterzuiveringsinstallatie bereikt en dat daar bij zuivering slechts die fractie die zich aan het slib heeft gehecht, achterblijft. De verhouding tussen de aan het slib gebonden en de opgeloste hoeveelheid radionucliden wordt voorgesteld door de nuclid-afhankelijke distributiecöefficient  $K_d$  [6].

Het oppervlaktewater waarop direct of via een rioolwaterzuiverings-installatie wordt geloosd, is, in deze berekeningen, een grote rivier van de omvang van de Rijn (zie Tabel 7). Bij een kleine rivier, waarin weliswaar de concentratie van radionucliden hoger dan in een grote rivier zou kunnen zijn, kunnen geen realistische aannamen betreffende grote visvangst, irrigatie, drinkwaterproductie e.d. worden gemaakt. Lozing in een kleine rivier zou echter een lokaal probleem kunnen veroorzaken, zeker wanneer de lozing niet wordt gezuiverd. Hierbij valt te denken aan drinkwater voor vee en bijvoorbeeld zoetwatervis gevangen door een enkele hengelaar.

*Tabel 7 Enkele kenmerken van de rivier die het beschouwde COROP-gebied over een lengte van 20 km doorsnijdt.*

volumeriviercompartiment ( $m^3$ ):	2,0E+07 (= 20km lang x 10m diep x 100m breed)
debiet rivier ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ):	2500 (= debiet van de Rijn)
drinkwaterconsumptie ( $m^3 \cdot a^{-1}$ ):	8,6E+05 (typische waarde voor drinkwaterbedrijven aan de Rijn)
vangst zoetwatervis ( $kg \cdot a^{-1}$ ):	2,0E+03 waarschijnlijk hoge schatting
irrigatie ( $m \cdot a^{-1}$ ):	0,1 volgens RIBRON-richtlijn
oppervlakte van overstroombd/geirr.land ( $m^2$ ):	8,0E+06 (= 20km x 400m brede uiterwaarde)
sedimentophoging overstroombd land ( $m \cdot a^{-1}$ ):	0,001
dichtheid sediment ( $kg \cdot m^{-3}$ ):	1300 volgens RIBRON-richtlijn
melkproductie op overstr.land ( $l \cdot a^{-1}$ ):	9,6E+06 (= gemiddeld 2 koeien/ha en 6000 l melk per koe per jaar)
vleesproductie op overstr.land ( $kg \cdot a^{-1}$ ):	9,0E+04 gem.leeftijd koe 5 jaar -> gem. 2/5 koe/ha en ca. 280 kg vlees/koe

Aangenomen wordt dat de concentratie in de rivier direct na lozing homogeen is, waarbij de verdunning wordt bepaald door de stroomsnelheid van het rivierwater. Dat wil zeggen dat iedere Bq die per tijdseenheid wordt geloosd, wordt verdund in het aantal  $m^3$  dat per tijdseenheid door de rivier stroomt.

Wanneer lozing in een meer plaatsvindt, spelen vooral de verblijftijd van het afvalwater in en het volume van het meer een rol. Hoe groter de verblijftijd, des te hoger kan ook de concentratie van een geloosd radionuclide worden. Het IJsselmeer als voorbeeld genomen van een realistisch meer in Nederland in de referentie-situatie W3. In dit meer vindt visvangst plaats en er wordt drinkwater uit gewonnen. Door de gemiddelde verblijftijd van water in het IJsselmeer van circa 150 dagen [6] kan de concentratie hoger oplopen dan in de gemodelleerde rivier (zie Tabel 8).

*Tabel 8 Enkele kenmerken van het meercompartiment.*

volumeriviercompartiment ( $m^3$ ):	4,2E+09
gemiddelde verblijftijd (d):	150
drinkwaterconsumptie ( $m^3 \cdot a^{-1}$ ):	8,6E+05
vangst zoetwatervis ( $kg \cdot a^{-1}$ ):	3,0E+06

Vangst zoetwatervis volgens ministeries van LNV en V&W; de drinkwaterproductie is waarschijnlijk hoger

De uiteindelijk in zee geloosde radioactiviteit zal na verblijf in een meer met een groot volume en een klein verversingsvoud geringer zijn dan wanneer deze vrij direct door een rivier naar zee wordt getransporteerd. Dit geldt vooral bij het verval van de korter levende vervalproducten.



Voor zover radioactiviteit in zee belandt, zal dit in eerste instantie een mogelijke besmetting van vis, schelp- en schaaldieren in de kuststrook nabij het instroompunt van de rivier of het meer opleveren. In tweede instantie zal de activiteit zich, in het geval van lozingen vanuit Nederland, met grotere hoeveelheden zeewater in het zuidoostelijke deel van de Noordzee vermengen. Dit laatste compartiment is voor de individuele dosis veelal niet meer belangrijk. Voor de collectieve dosis is dit compartiment daarentegen weer wel belangrijk, omdat hier veel vis wordt gevangen (zie Tabel 9).

*Tabel 9 Enkele kenmerken van de lokale en regionale zeecompartimenten.*

<i>zeecompartiment lokaal</i>	
volume zeecompartiment (m <sup>3</sup> ):	2,00E+09
debiet zeecompartiment (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ):	2,54E+03
sedimentatiesnelheid zee (kg.m <sup>-3</sup> .a <sup>-1</sup> ):	5,00E-03
vangst zeevis (kg.a <sup>-1</sup> ):	9,30E+04
vangst mosselen (kg.a <sup>-1</sup> ):	6,40E+05
vangst schaaldieren (kg.a <sup>-1</sup> ):	3,50E+04
<i>zeecompartiment regionaal</i>	
volume zeecompartiment (m <sup>3</sup> ):	9,50E+11
debiet zeecompartiment (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ):	1,90E+05
sedimentatiesnelheid zee (kg.m <sup>-3</sup> .a <sup>-1</sup> ):	?
vangst zeevis (kg.a <sup>-1</sup> ):	1,60E+07
vangst mosselen (kg.a <sup>-1</sup> ):	2,00E+07
vangst schaaldieren (kg.a <sup>-1</sup> ):	1,30E+06

Grootten van zeecompartimenten evenals vangstcijfers lokaal volgens [8, 9];  
Vangstcijfers regionaal volgens ICES [10]

Er wordt aangenomen dat de concentraties van de diverse radionucliden in zee, zowel voor het lokale als voor het regionale compartiment, door de verdunning die in deze compartimenten optreedt, worden bepaald. Voor de wisselwerking sedimentatie-resuspensie wordt aangenomen dat deze, na 25 jaar, inmiddels in evenwicht is gekomen. Vooral voor de radionucliden <sup>223</sup>Ra, <sup>224</sup>Ra, <sup>227</sup>Th en <sup>234</sup>Th zou dit een te conservatieve benadering kunnen opleveren.

*Tabel 10 Gemiddelde consumptie door een volwassen persoon in Nederland [11].*

zeevis (kg.a <sup>-1</sup> *):	4
mosselen (kg.a <sup>-1</sup> ):	0,3
schaaldieren (kg.a <sup>-1</sup> ):	0,3
zoetwatervis (kg.a <sup>-1</sup> ):	0,3
drinkwater (l.a <sup>-1</sup> ):	720
melk(producten) (l.a <sup>-1</sup> ):	121
rundvlees (kg.a <sup>-1</sup> ):	13

\*) de consumptie van zeevis lijkt aan de lage kant en bedraagt volgens de FAO ongeveer 12 kg.a<sup>-1</sup>

## 3.2 Resultaten

### 3.2.1 Lozingscriteria voor individuele en collectieve doses

Hierna is voor de vier verschillende referentiesituaties het op basis van een individuele dosis van 10 µSv.a<sup>-1</sup> en een collectieve dosis van 1 mensSv.a<sup>-1</sup> berekende lozingscriterium voor het totaal aan blootstellingswegen gegeven. De lozingscriteria zijn grafisch weergegeven in bijlage 4.

Zoals in paragraaf 3.1.2 reeds is vermeld zijn naast de situatie mét drinkwater (W1a, W2a en W3a) tevens berekeningen uitgevoerd voor de situatie dat drinkwater slechts in geringe mate wordt geproduceerd (W1b, W2b en W3b), om het effect van het belastingpad drinkwater te kunnen inschatten. Hierbij wordt verondersteld dat de persoon die de besmette producten eet dezelfde persoon is die het besmette drinkwater drinkt. Dit is een conservatieve aanname want in de praktijk zijn dit vaak verschillende personen. Overigens blijkt dat voor de meeste radionucliden en referentiesituaties het collectieve-dosis criterium van 1 mensSv.a<sup>-1</sup> bepalend is voor het lozingscriterium.

#### *Lozing op het riool (referentiesituatie W1)*

Bij lozing op een riool is de uiteindelijk in het milieu gevonden radioactiviteit slechts beperkt door de mate waarin radionucliden in het zuiveringsslib zijn achtergebleven. Overigens is deze situatie vergelijkbaar met de volgende (*lozing op een rivier*).

*Tabel 11 Lozingscriterium per radionuclide bij lozing op het riool (W1) gebaseerd op het individuele-dosis criterium en het collectieve-dosis criterium, voor zowel de situatie met significante drinkwaterproductie als zonder.*

radio-nuclide	lozingscriterium (GBq.a <sup>-1</sup> ) gebaseerd op het individuele-dosis criterium van 10 µSv.a <sup>-1</sup>		lozingscriterium (GBq.a <sup>-1</sup> ) gebaseerd op het collectieve-dosis criterium van 1 mensSv.a <sup>-1</sup>	
		belangrijkste belastingpad	met significante drinkwaterproductie	zonder significante drinkwaterproductie
<sup>210</sup> Pb	8,0E+01	zeevis lokaal	1,5E+01	1,6E+01
<sup>210</sup> Po	8,2E+01	zeevis lokaal	1,6E+01	1,7E+01
<sup>223</sup> Ra	1,7E+03	melk	5,1E+02	9,4E+02
<sup>224</sup> Ra	2,7E+03	melk	7,9E+02	1,5E+03
<sup>226</sup> Ra	1,7E+02	zeevis lokaal	3,1E+01	3,4E+01
<sup>228</sup> Ra	2,6E+02	melk	6,9E+01	1,2E+02
<sup>227</sup> Ac	4,8E+01	rundvlees	1,3E+02	2,0E+02
<sup>227</sup> Th	7,4E+03	zeevis lokaal	6,5E+02	1,6E+03
<sup>228</sup> Th	5,2E+03	zeevis lokaal	5,3E+02	1,3E+03
<sup>230</sup> Th	2,9E+03	zeevis lokaal	3,4E+02	7,4E+02
<sup>232</sup> Th	7,2E+02	zeevis lokaal	1,2E+02	1,6E+02
<sup>234</sup> Th	1,9E+05	zeevis lokaal	2,2E+04	4,9E+04
<sup>231</sup> Pa	4,3E+02	rundvlees	1,1E+02	1,6E+02
<sup>234</sup> U	2,3E+04	drinkwater	1,9E+03	6,4E+04
<sup>235</sup> U	2,4E+04	drinkwater	2,0E+03	6,6E+04
<sup>238</sup> U	2,4E+04	drinkwater	1,8E+03	2,6E+04

Afhankelijk van het radionuclide kunnen alle belastingpaden voor de individuele dosis en dus voor het lozingscriterium dat hierop is gebaseerd van belang zijn. Het collectieve-dosis criterium blijkt in bijna alle gevallen een lager (=strenger) lozingscriterium dan het individuele-dosis criterium op te leveren.

#### *Lozing op een rivier (referentiesituatie W2)*

Bij lozing direct op een rivier is het belastingpad via zeevoedsel vergelijkbaar gemodelleerd aan die bij directe lozing op zee. Mogelijk kan deze route bij lozingen ver landinwaarts minder belangrijk zijn, maar zelfs dan zal na een lozingsduur van 25 jaar een groot deel van de activiteit van vooral de langer levende radionucliden naar zee zijn afgevoerd.

*Tabel 12 Lozingscriterium per radionuclide bij lozing direct op een rivier (W2) gebaseerd op het individuele-dosiscriterium en het collectieve-dosiscriterium, voor zowel de situatie met significante drinkwaterproductie als zonder*

radio-nuclide	lozingscriterium (GBq.a <sup>-1</sup> ) gebaseerd op het individuele-dosiscriterium van 10 µSv.a <sup>-1</sup>		lozingscriterium (GBq.a <sup>-1</sup> ) gebaseerd op het collectieve-dosiscriterium van 1 mensSv.a <sup>-1</sup>	
		belangrijkste belastingpad	met significante drinkwaterproductie	zonder significante drinkwaterproductie
<sup>210</sup> Pb	5,0E+01	zeevis lokaal	9,7E+00	1,0E+01
<sup>210</sup> Po	5,1E+01	zeevis lokaal	9,7E+00	1,1E+01
<sup>223</sup> Ra	1,6E+03	melk	4,6E+02	8,6E+02
<sup>224</sup> Ra	2,5E+03	melk	7,1E+02	1,3E+03
<sup>226</sup> Ra	1,6E+02	zeevis lokaal	2,8E+01	3,1E+01
<sup>228</sup> Ra	2,3E+02	melk	6,3E+01	1,1E+02
<sup>227</sup> Ac	2,2E+01	rundvlees	5,7E+01	9,2E+01
<sup>227</sup> Th	6,2E+03	zeevis lokaal	5,5E+02	1,3E+03
<sup>228</sup> Th	4,4E+03	zeevis lokaal	4,4E+02	1,1E+03
<sup>230</sup> Th	2,4E+03	zeevis lokaal	2,8E+02	6,2E+02
<sup>232</sup> Th	6,0E+02	zeevis lokaal	1,0E+02	1,3E+02
<sup>234</sup> Th	1,6E+05	zeevis lokaal	1,8E+04	4,1E+04
<sup>231</sup> Pa	2,7E+02	rundvlees	6,8E+01	1,0E+02
<sup>234</sup> U	2,3E+04	drinkwater	1,8E+03	6,3E+04
<sup>235</sup> U	2,4E+04	drinkwater	1,9E+03	6,5E+04
<sup>238</sup> U	2,3E+04	drinkwater	1,8E+03	2,6E+04

Afhankelijk van het radionuclide kunnen net als bij lozing op het riool alle belastingpaden voor de individuele dosis en dus voor het lozingscriterium dat hierop is gebaseerd van belang zijn. Het lozingscriterium wordt echter ook hier in bijna alle gevallen door het collectieve-dosiscriterium bepaald.

#### *Lozing op een meer (referentiesituatie W3)*

Bij lozing direct op een meer is het belastingpad via zeevoedsel vooral voor de korter levende radionucliden minder belangrijk omdat reeds radioactief verval in het meer heeft plaatsgevonden. Door de langere verblijftijd in een meer kan de concentratie in het water en daarmee in zoetwatervis en drinkwater voor langlevende radionucliden hoger uitvallen dan bij lozing op een rivier.

Bodembesmetting als gevolg van inname van water voor een verhoging van het grondwaterniveau, hetgeen in de zomerperiode bijvoorbeeld met IJsselmeerwater in de noordelijke provincies plaatsvindt, is in deze studie niet nader onderzocht.

Voor vrijwel alle radionucliden is drinkwater het belangrijkste belastingpad voor de individuele dosis en dus voor het lozingscriterium dat hierop is gebaseerd. Het lozingscriterium wordt echter ook hier in bijna alle gevallen door het collectieve-dosiscriterium bepaald. In het geval dat er geen significante drinkwaterproductie is, wordt het lozingscriterium vooral door de consumptie van zoetwatervis bepaald (deze situatie komt in Nederland waarschijnlijk niet voor).

**Tabel 13** *Lozingscriterium per radionuclide bij lozing direct op een meer (W3) gebaseerd op het individuele-dosiscriterium en het collectieve-dosiscriterium, voor zowel de situatie met significante drinkwaterproductie als zonder.*

radio-nuclide	lozingscriterium (GBq.a <sup>-1</sup> ) gebaseerd op het individuele-dosiscriterium van 10 µSv.a <sup>-1</sup>		lozingscriterium (GBq.a <sup>-1</sup> ) gebaseerd op het collectieve-dosiscriterium van 1 mensSv.a <sup>-1</sup>	
		belangrijkste belastingpad	met significante drinkwaterproductie	zonder significante drinkwaterproductie
<sup>210</sup> Pb	5,1E+01	zeevis lokaal	3,4E+00	5,0E+00
<sup>210</sup> Po	1,1E+02	zeevis lokaal	6,7E+00	9,5E+00
<sup>223</sup> Ra	1,5E+04	drinkwater	1,1E+03	8,2E+03
<sup>224</sup> Ra	7,1E+04	drinkwater	5,1E+03	3,8E+04
<sup>226</sup> Ra	1,6E+02	zeevis lokaal	1,5E+01	3,0E+01
<sup>228</sup> Ra	1,7E+02	drinkwater	1,2E+01	8,3E+01
<sup>227</sup> Ac	2,0E+02	drinkwater	1,4E+01	7,6E+01
<sup>227</sup> Th	1,4E+04	drinkwater	9,6E+02	6,2E+03
<sup>228</sup> Th	1,9E+03	drinkwater	1,4E+02	8,5E+02
<sup>230</sup> Th	5,6E+02	drinkwater	4,1E+01	3,4E+02
<sup>232</sup> Th	5,1E+02	drinkwater	3,1E+01	1,2E+02
<sup>234</sup> Th	2,5E+05	drinkwater	1,8E+04	1,6E+05
<sup>231</sup> Pa	2,2E+02	drinkwater	1,5E+01	9,1E+01
<sup>234</sup> U	2,0E+03	drinkwater	1,7E+02	8,9E+03
<sup>235</sup> U	2,1E+03	drinkwater	1,7E+02	9,3E+03
<sup>238</sup> U	2,2E+03	drinkwater	1,8E+02	7,7E+03

#### *Lozing op zee of een grote zeearm (referentiesituatie W4)*

Bij lozing direct op zee of in een riviermonding waar verder geen rivierwater meer wordt gebruikt, is alleen nog de opname van radionucliden door zeevis en schaal- en schelpdieren van belang. Het gaat hier vooral om de direct voor de kust en in de zuidoostelijke Noordzee gevangen producten. Veel van de in Nederland geconsumeerde zeevis komt uit de Atlantische Oceaan nabij IJsland. Deze vis wordt, gezien de stroming en de verspreiding en verdunning van de initieel geloosde radioactiviteit, geacht niet meer aan de collectieve dosis door consumptie van vis bij te dragen [6].

Onafhankelijk van het radionuclide zijn lokaal gevangen zeevis en schaal- en schelpdieren voor de individuele dosis en dus voor het lozingscriterium dat hierop is gebaseerd het belangrijkste belastingpad. Het lozingscriterium wordt echter ook hier in alle gevallen bepaald door het collectieve-dosiscriterium als gevolg van de consumptie van lokaal gevangen zeevis aangevuld met vis uit de zuidoostelijke Noordzee.

### **3.2.2 Belang van het belastingpad voor de dosis**

Zoals reeds opgemerkt, is voor lozingen in oppervlaktewater dat niet direct in zee uitmondt het belastingpad via drinkwater belangrijk. Wanneer in een meer wordt geloosd, waarbij visvangst een belangrijke rol speelt, dan kan ook de consumptie van zoetwatervis een belangrijke rol spelen in de bepaling van de collectieve dosis. Bij lozingen op zee zijn dit de zeevis en schelp- en schaaldieren.

*Tabel 14 Lozingscriterium per radionuclide voor alleen zeevoedsel (zeevis, schelp- en schaaldieren) bij lozing direct op zee of een grote zeearm (W4) gebaseerd op het individuele-dosiscriterium en het collectieve-dosiscriterium.*

radio-nuclide	lozingscriterium (GBq.a <sup>-1</sup> ) gebaseerd op het individuele-dosiscriterium van 10 µSv.a <sup>-1</sup>		lozingscriterium (GBq.a <sup>-1</sup> ) gebaseerd op het collectieve-dosiscriterium van 1 mensSv.a <sup>-1</sup>
		belangrijkste belastingpad	
<sup>210</sup> Pb	5,0E+01	zeevis lokaal	1,0E+01
<sup>210</sup> Po	5,1E+01	zeevis lokaal	1,1E+01
<sup>223</sup> Ra	6,9E+03	zeevis lokaal	1,5E+03
<sup>224</sup> Ra	1,1E+04	zeevis lokaal	2,3E+03
<sup>226</sup> Ra	1,6E+02	zeevis lokaal	3,2E+01
<sup>228</sup> Ra	8,1E+02	zeevis lokaal	1,8E+02
<sup>227</sup> Ac	1,4E+03	zeevis lokaal	1,3E+02
<sup>227</sup> Th	6,2E+03	zeevis lokaal	1,4E+03
<sup>228</sup> Th	4,4E+03	zeevis lokaal	1,1E+03
<sup>230</sup> Th	2,4E+03	zeevis lokaal	6,2E+02
<sup>232</sup> Th	6,0E+02	zeevis lokaal	1,4E+02
<sup>234</sup> Th	1,6E+05	zeevis lokaal	4,1E+04
<sup>231</sup> Pa	1,2E+03	zeevis lokaal	1,1E+02
<sup>234</sup> U	2,0E+06	zeevis lokaal	1,2E+05
<sup>235</sup> U	2,1E+06	zeevis lokaal	1,2E+05
<sup>238</sup> U	1,5E+05	zeevis lokaal	3,1E+04

De mate waarin de natuurlijke radionucliden bij de productie van drinkwater aan het oppervlaktewater worden onttrokken, is onzeker. Deze route blijkt vooral voor de uraniumisotopen een belangrijke bijdrage aan de collectieve dosis en zelfs aan de individuele dosis te kunnen opleveren. Nader onderzoek zou hier meer helderheid kunnen brengen.

### 3.2.3 Effect van een dosisafkapping

Voor de collectieve dosis door lozingen in water wordt aangenomen dat alle voor de Nederlandse bevolking geproduceerd voedsel ook daadwerkelijk door de bevolking wordt geconsumeerd. Overigens is niet bekend hoe de verspreiding van dit voedsel in realiteit plaatsvindt, laat staan hoe dit in een referentiesituatie zou moeten worden verdisconteerd. De dosisverdeling in de bevolking die hierdoor ontstaat, is dan ook niet te geven. Daarmee is ook het effect van een dosisafkapping niet te becijferen.

## 4 Specifieke situaties

### 4.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken zijn voor een aantal referentiesituaties de dosiscriteria omgerekend naar lozingscriteria. Deze lozingscriteria zijn bedoeld voor het vaststellen van de vergunningsplicht per afzonderlijk bedrijf. Wat is nu het resultaat van een toetsing van de lozingen van werkelijk in Nederland voorkomende bedrijven aan de lozingscriteria? Voor de vergunningverlener is het immers van belang te weten of de toepassing van de lozingscriteria als vergunningsidentificatiemethode bruikbaar is. Daarnaast kan de vraag worden gesteld hoe groot de kans is dat een bedrijf ten onrechte wel of niet als vergunningsplichtig wordt aangemerkt.

### 4.2 Procesindustrie in Nederland

De radiologische gevolgen van de procesindustrie in Nederland zijn in de afgelopen jaren uitgebreid in kaart gebracht [12, 13]. Voor enkele bedrijven en enkele radionucliden zijn in tabel 15 de lozingen in lucht, de lozingen in water en de bijbehorende referentiesituatie(s) verzameld.

Tabel 15 Lozingen door de procesindustrie in Nederland [11, 12].

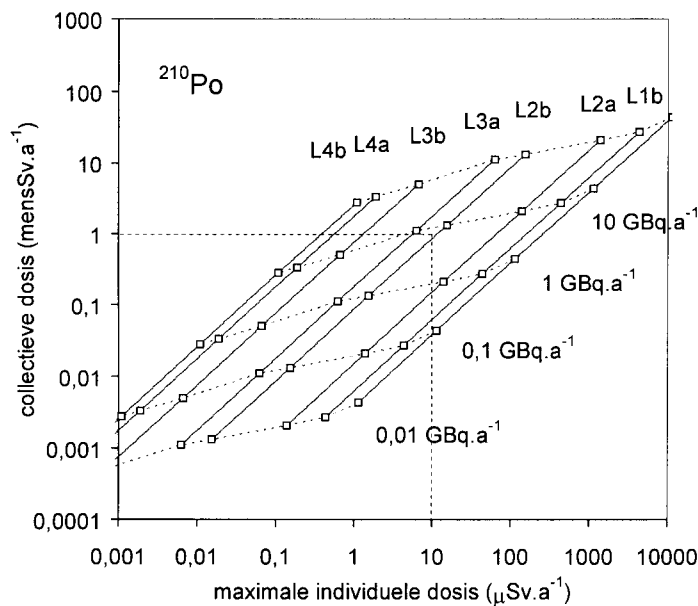
bedrijf	<sup>210</sup> Pb	<sup>210</sup> Po	<sup>222</sup> Rn	referentiesituatie
	[GBq.a <sup>-1</sup> ]	[GBq.a <sup>-1</sup> ]	[GBq.a <sup>-1</sup> ]	
lozing in lucht				
fosfor, Vlissingen	66	490	560	L3a
fosforzuur, Vlaardingen	0,08	0,14	820	L3a
fosforzuur, Pernis	0,15	0,15	1000	L3a
ijzer en staal, IJmuiden	55	91	350	L4a
cement, Maastricht	0,20	78	160	L4a
kunstmest, Amsterdam	0,044	0,034	220	L3a
minerale zanden, Amsterdam	0,73	0,73	0,73	L1a
lozing in water				
fosfor, Vlissingen	24	170	-	W4
fosforzuur, Vlaardingen	650	1000	-	W4
fosforzuur, Pernis	1100	840	-	W4
ijzer en staal, IJmuiden	0,51	8,0	-	W4
kunstmest, Amsterdam	0,11	0,12	-	W2b
minerale zanden, Amsterdam	0,066	0,066	-	W2b

### 4.3 Toepassen van criteria op werkelijke situaties

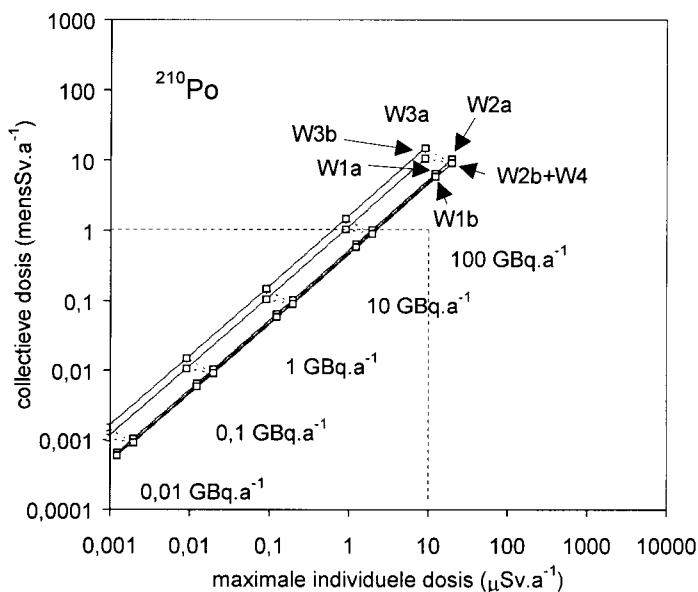
Hier worden twee methoden van toetsing gehanteerd. Methode A maakt gebruik van een grafische presentatie per radionuclide van de individuele en collectieve dosis voor standaardlozingen en voor alle referentiesituaties. Vervolgens wordt getoetst aan de oorspronkelijke dosiscriteria. Methode B maakt gebruik van enkele eenvoudige formules waarmee de som over alle radionucliden van de verhoudingen van de werkelijke lozing en het lozingscriterium wordt bepaald. Alvorens deze methode echter kan worden toegepast, moet eerst een keuze van een set lozingscriteria worden gemaakt.

### 4.3.1 Toetsing volgens methode A

Figuur 4 toont de collectieve versus de individuele dosis voor de acht referentiesituaties en vijf waarden van de lozing van  $^{210}\text{Po}$  in lucht en figuur 5 voor de zeven referentiesituaties en vijf waarden van de lozing van  $^{210}\text{Po}$  in water. De grafieken van de collectieve versus de individuele dosis voor de andere radionucliden zijn opgenomen in bijlagen 5 en 6. Als de lozing en de referentiesituatie voor een specifiek bedrijf bekend zijn, kan voor elk van de radionucliden afzonderlijk de maximale individuele en de collectieve in de grafiek worden afgelezen en is in één oogopslag duidelijk of het collectieve dan wel het individuele dosiscriterium of beiden worden overschreden.



Figuur 4 De collectieve dosis versus de maximale individuele dosis voor de acht referentiesituaties en vijf waarden van de lozing van  $^{210}\text{Po}$  in lucht.



Figuur 5 De collectieve dosis versus de maximale individuele dosis voor de zeven referentiesituaties en vijf waarden van de lozing van  $^{210}\text{Po}$  in water.

Als voor geen van de radionucliden een overschrijving wordt geconstateerd, moet wel nog de som van de individuele doses van alle radionucliden aan het individuele-dosis criterium worden getoetst. Evenzo voor de som van de collectieve doses van alle radionucliden tezamen.

In de situatie van overschrijding bij een lozing in lucht zijn er twee onafhankelijke mogelijkheden om het gebied beneden de dosis criteria te bereiken: verlagen van de lozing en verhogen van de schoorsteen en de warmte-inhoud. In figuur 4 is direct af te lezen dat voor een lozing van bijvoorbeeld  $100 \text{ GBq}\cdot\text{a}^{-1}$  het verhogen van de schoorsteen en de warmte-inhoud tot lozingsituatie L4b (150 m, 100 MW) niet toereikend is om onder de dosis criteria te komen. Voor een dergelijke lozing zou het gebied beneden de dosis criteria alleen met een lozingsreductie kunnen worden bereikt.

### 4.3.2 Toetsing volgens methode B

Eerst moet de vraag worden beantwoord welke van de doorgerkende referentiesituaties de vergunningverlener zal of moet kiezen. Deze keuze resulteert in een set criteria. Vervolgens moet worden vastgesteld volgens welk recept zal worden getoetst in het geval van lozing van meer dan één radionuclide en in het geval van lozing in lucht én lozing in water.

Hier worden voor de bedrijven en radionucliden in Tabel 15 de volgende drie mogelijkheden onderzocht:

- 1 Kies voor elk radionuclide de meest restrictieve lozingscriteria (L1a en W3a.). De kans is dan groot dat vele bedrijven onterecht als vergunningplichtig moeten worden aangemerkt.
- 2 Kies de criteria die behoren bij 'gemiddelde referentiesituaties': bijvoorbeeld L2b voor lozing in lucht en W2a voor lozing in water.
- 3 Bepaal eerst de referentiesituatie die het meest in overeenstemming is met de specifieke situatie en hanteer de bij die referentiesituatie horende criteria (zie Tabel 15). De criteria worden dan dus niet alleen radionuclide-, maar ook situatie-afhankelijk.

In het geval van lozing van meer dan één radionuclide wordt de som van de verhoudingen tussen de werkelijke lozing  $L_i$  van radionuclide  $i$  en het lozingscriterium  $LC_i$  voor zowel het individuele-dosis criterium als het collectieve-dosis criterium volgens de formules berekend:

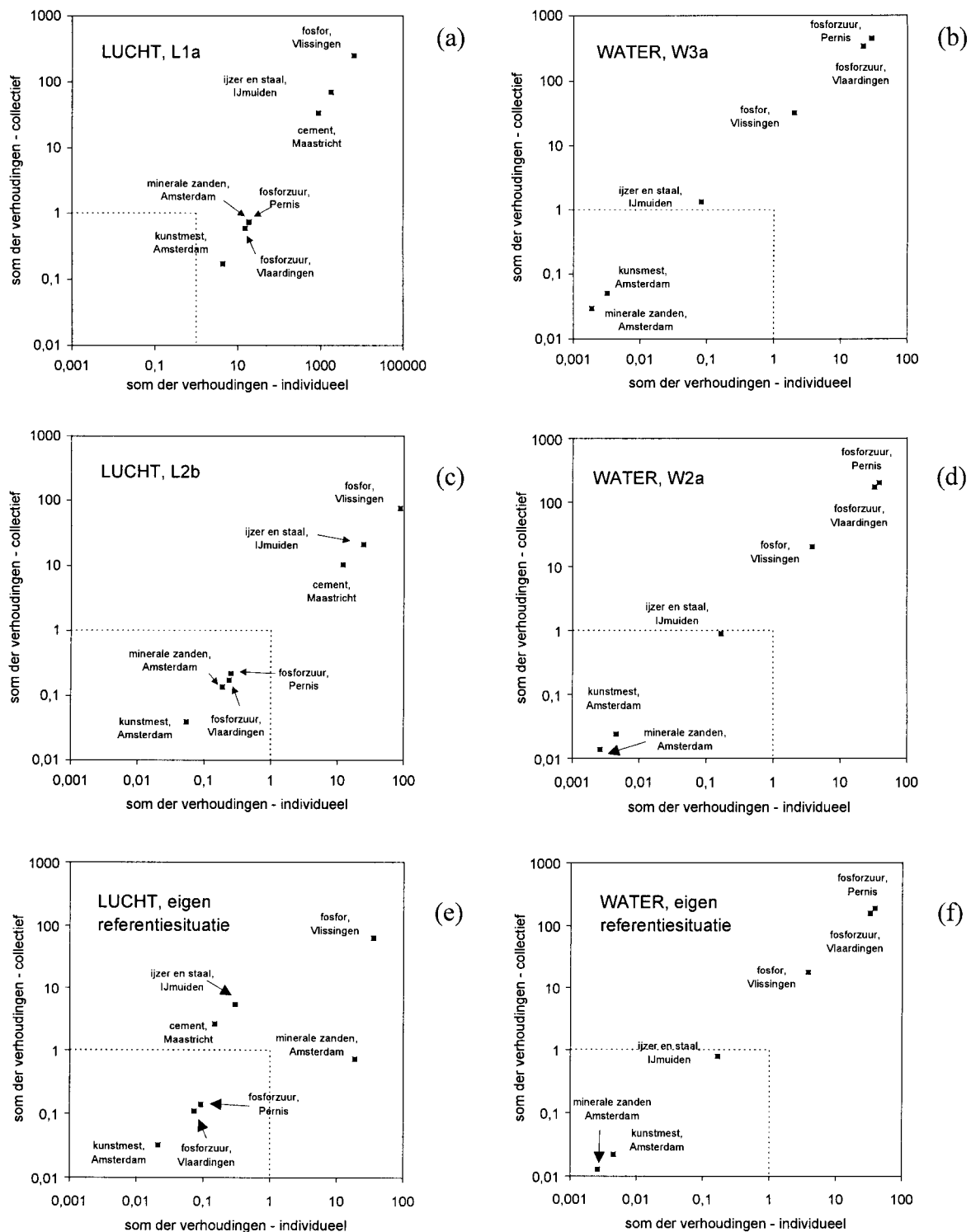
$$V_{\text{ind}} = \sum_i L_i / LC_{i, \text{ind}} \quad \text{en} \quad V_{\text{coll}} = \sum_i L_i / LC_{i, \text{coll}}$$

Alleen als beide verhoudingen lager dan 1 zijn, is er geen vergunningplicht. In het geval dat een bedrijf én in lucht én in water loost, is het in principe mogelijk, indien de vergunningverlener dit wenst, de verhoudingen voor lozingen in lucht en lozingen in water op te tellen. Tenslotte kunnen deze twee waarden grafisch tegen elkaar worden uitgezet.

Toetsingsmogelijkheid 3 volgt in principe hetzelfde recept als de mogelijkheden 1 en 2, met dit verschil dat het specifieke bedrijf eerst wordt ingedeeld in de referentiesituatie waartoe het bedrijf behoort (zie Tabel 15) en dat de bij de referentiesituatie horende criteria worden gebruikt. Bij twijfel over welke referentiesituatie van toepassing is op het specifieke bedrijf is altijd die referentiesituatie gekozen met het laagste criterium.



Het resultaat van de toetsing is weergegeven in Figuur 6. Toepassen van de meest restrictieve criteria heeft tot gevolg dat voor lozingen in lucht alle en voor lozingen in water bijna alle bedrijven de criteria overschrijden (a en b).

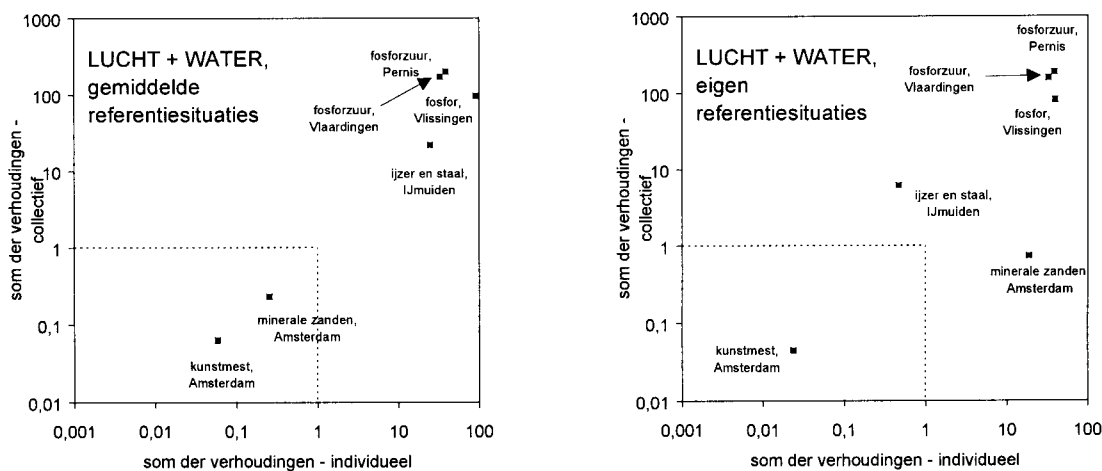


*Figuur 6 Toetsing van werkelijke lozingen van bedrijven aan achtereenvolgens (a en b) de meest restrictieve criteria, (c en d) criteria behorende bij 'gemiddelde referentiesituaties' en (e en f) criteria voor de referentiesituatie die van toepassing is op elk specifiek bedrijf afzonderlijk.*

Toepassen van criteria behorende bij 'gemiddelde referentiesituaties' leidt tot de situatie waarin voor lozingen in lucht 3 bedrijven de criteria wel en 4 deze niet overschrijden (c). Voor lozingen in water overschrijden 3 bedrijven de criteria wel en 3 niet (d).

Het toepassen van de bij de specifieke situatie horende criteria geeft het meest realistische beeld. In deze situatie overschrijden voor lozingen in lucht 4 bedrijven de criteria wel en 3 niet (e) en voor lozingen in water 3 wel en 3 niet (f).

Figuur 7 toont tenslotte een vergelijking van de totale situatie, dat wil zeggen voor alle radionucliden en voor lozingen in lucht en lozingen in water tezamen.



*Figuur 7 Toetsing van werkelijke lozingen in lucht en lozingen in water tezamen aan de criteria behorende bij 'gemiddelde referentiesituaties' (links) en criteria voor de referentiesituatie die van toepassing is op elk specifiek bedrijf afzonderlijk (rechts).*

## 4.4 Discussie

In de vorige paragrafen zijn twee methoden van toetsing besproken. Het belangrijkste verschil tussen beide methoden is dat bij methode A toetsing aan de oorspronkelijke dosiscriteria terwijl bij methode B toetsing aan de afgeleide lozingscriteria plaatsvindt.

Methode B vergt wel eerst een keuze van één set criteria, tenzij de meest ingewikkelde variant (nr. 3) wordt gevolgd. Keuze van de meest restrictieve criteria heeft tot gevolg dat de meeste bedrijven de criteria zullen overschrijden. Rekening houden met de op het bedrijf van toepassing zijnde referentiesituatie maakt de toetsing weliswaar complex maar maakt wel de kans dat een bedrijf ten onrechte geen vergunningsplicht krijgt opgelegd kleiner. Dit wordt geïllustreerd door de verschuiving van 'minerale zanden, Amsterdam' in Figuur 7: bij hanteren van gemiddelde referentiesituaties overschrijdt het bedrijf de criteria niet, bij hanteren van de eigen referentiesituaties wel.

## 5 Conclusies

In deze studie zijn voor een reeks aan referentiesituaties uitgaande van het individuele-dosis criterium van  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  en het collectieve-dosis criterium van  $1 \text{ mensSv}\cdot\text{a}^{-1}$  per radionuclide lozingscriteria berekend. Hoewel de invloed wel is onderzocht is bij het berekenen van de lozingscriteria geen dosisafkapping gehanteerd. Voor lozingen in lucht blijkt het lozingscriterium vele orden van grootte te variëren afhankelijk van de schoorsteenhoogte en de warmte-inhoud. Voor lage lozingen met een lage warmte-inhoud is het individuele-dosis criterium bepalend; voor hoge lozingen met een hoge warmte-inhoud het collectieve-dosis criterium. Voor lozingen in water is in vrijwel alle gevallen het lozingscriterium op basis van het collectieve-dosis criterium het meest restrictief. Bovendien is het voor lozingen in water van belang op welk type water wordt geloosd en of er stroomafwaarts wel of geen drinkwater wordt gewonnen.

Met behulp van de lozingscriteria is het mogelijk om per radionuclide snel een eerste indruk van een mogelijke overschrijding van de individuele- en collectieve-dosis criteria te verkrijgen.

Door de berekende criteria te leggen naast de werkelijke lozingen door enkele bedrijven uit de procesindustrie in Nederland is een indruk van de toepasbaarheid in de praktijk van vergunningverlening verkregen. De uiteindelijke keuze van de set van criteria door de vergunningverlener is echter een afweging tussen enerzijds de eenvoud van het systeem met het oog op de praktische toepasbaarheid en anderzijds het minimaliseren van de kans op ten onrecht wel of niet een vergunningplicht opleggen.

## Literatuur

- [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. Publikatieblad van de Europese Gemeenschappen, L 159, 29 juni 1996.
- [2] R.O. Blaauboer en M.J.M. Pruppers. Basiscriteria procesindustrie. Briefrapport aan DGM/SVS/SNB, 3 april 1998.
- [3] Pruppers MJM, Blaauboer RO, Twenhöfel CJW and Lembrechts J. *Operational criteria for authorizing emissions of radionuclides from the process industry. Proceedings of the Second International Symposium on the Treatment of Naturally Occurring Radioactive Materials*, p. 158. Krefeld, November 1998.
- [4] Beychok MR. *Fundamentals of Stack Gas Dispersion*, 1994.
- [5] Jaarsveld JA van. *An Operational atmospheric transport model for Priority Substances; specifications and instructions for use*. RIVM, Bilthoven. rapport nr. 222501002, 1990.
- [6] Laheij GMH, Blaauboer RO, Lembrechts JFMM. Risicoberekening voor in het milieu geloosde radionucliden - onderbouwing richtlijn voor vergunningen (RIBRON). EERSTE HERZIENE VERSIE. RIVM-rapportnr. 610053005, Bilthoven, 1996.
- [7] Commissie Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen. Methoden voor het bepalen van mogelijke schade, CPR16, 1990.
- [8] Hallstadius L, Garcia-Montaña E, Nilsson U, Boelskifte S. *An improved and validated dispersion model for the North sea and adjacent waters*, *J. of Env. Radioactivity*, 1986.
- [9] Charles D, Jones M, Cooper JR. *The radiological impact on EC member states of routine discharges to north European waters. Report of working group IV of CEC Project MARINA*, NRPB, Chilton Didcot, UK, 1989.
- [10] *ICES Fisheries Statistics, Annual reports on fisheries statistics*, ICES Copenhagen.
- [11] Beleidsstandpunten Stralingshygiëne t.b.v. vergunningverlening: deel I, reguliere toepassingen. Versie 15 december 1993, VROM, Den Haag.
- [12] Leenhouts HP, Stoop P, Tuinen ST van. *Non-nuclear industries in the Netherlands and radiological risks*. RIVM Report No. 610053003, Bilthoven, 1996.
- [13] Pruppers MJM, Blaauboer RO, Janssen MPM, Van Tuinen ST, Stoop P and Leenhouts HP. *Radiological risks of non-nuclear industries in the Netherlands*. Proc. Int. Symp. 'Radiological problems with natural radioactivity in the non-nuclear industry'. Amsterdam, 8-10 sept. 1997.

## **Bijlage 1 Verzendlijst**

1-30	Hoofd van de afdeling Straling, Nucleaire en Biologische Veiligheid
31	Directeur van de Directie Stoffen, Veiligheid en Straling
32	Plaatsvervangend Directeur-Generaal Milieubeheer
33	Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
34	Directie RIVM
35	Directeur Sector Risico's, Milieu en Gezondheid
36	Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
37	Hoofd van de afdeling Modellen en Procesonderzoek
38-40	Auteurs
41	Hoofd Voorlichting & Public Relations
42	Bureau Rapportenregistratie
43	Bibliotheek RIVM
44	Bibliotheek LSO
45-54	Bureau Rapportenbeheer
55-64	Reserve-exemplaren LSO

## Bijlage 2 Lozingscriteria op basis van het collectieve-dosis criterium (lozingen in lucht)

In totaal vijftien tabellen met criteria voor lozingen in lucht in GBq.a<sup>-1</sup>.

Tabel 2.1.a Gemiddeld Nederland, zonder dosisafkapgrens.

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	7,4E+00	7,9E+00	8,6E+00	9,2E+00	9,6E+00	1,6E+01	2,4E+01	2,9E+01
<sup>210</sup> Po	9,3E+00	9,9E+00	1,1E+01	1,2E+01	1,2E+01	2,0E+01	3,0E+01	3,6E+01
<sup>222</sup> Rn	1,1E+04	1,3E+04	1,4E+04	1,6E+04	1,7E+04	4,4E+04	7,7E+04	1,8E+05
<sup>226</sup> Ra	8,6E+00	9,5E+00	9,9E+00	1,1E+01	1,2E+01	2,4E+01	3,6E+01	5,8E+01
<sup>228</sup> Ra	4,7E+00	5,2E+00	5,4E+00	5,9E+00	6,2E+00	1,2E+01	1,9E+01	2,9E+01
<sup>227</sup> Ac	1,9E-01	2,1E-01	2,1E-01	2,4E-01	2,5E-01	6,0E-01	9,3E-01	2,0E+00
<sup>228</sup> Th	2,6E+00	2,9E+00	2,9E+00	3,3E+00	3,5E+00	8,4E+00	1,3E+01	2,9E+01
<sup>230</sup> Th	1,0E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,3E+00	1,4E+00	3,3E+00	5,2E+00	1,1E+01
<sup>232</sup> Th	9,4E-01	1,1E+00	1,1E+00	1,2E+00	1,3E+00	3,0E+00	4,7E+00	1,0E+01
<sup>231</sup> Pa	7,2E-01	8,2E-01	8,2E-01	9,1E-01	9,7E-01	2,3E+00	3,5E+00	7,4E+00
<sup>234</sup> U	1,1E+01	1,2E+01	1,2E+01	1,4E+01	1,5E+01	3,4E+01	5,2E+01	1,1E+02
<sup>235</sup> U	1,2E+01	1,3E+01	1,3E+01	1,5E+01	1,5E+01	3,5E+01	5,5E+01	1,1E+02
<sup>238</sup> U	1,3E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,6E+01	1,7E+01	4,0E+01	6,3E+01	1,3E+02

Tabel 2.1.b Gemiddeld Nederland, dosisafkapgrens 0,01 μSv.a<sup>-1</sup>.

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	7,4E+00	7,9E+00	8,7E+00	9,2E+00	9,6E+00	1,6E+01	2,4E+01	2,9E+01
<sup>210</sup> Po	9,3E+00	9,9E+00	1,1E+01	1,2E+01	1,2E+01	2,0E+01	3,0E+01	3,6E+01
<sup>222</sup> Rn	1,1E+04	1,3E+04	1,4E+04	1,6E+04	1,7E+04	4,4E+04	7,7E+04	1,8E+05
<sup>226</sup> Ra	8,7E+00	9,6E+00	9,9E+00	1,1E+01	1,2E+01	2,4E+01	3,6E+01	5,9E+01
<sup>228</sup> Ra	4,7E+00	5,2E+00	5,4E+00	5,9E+00	6,2E+00	1,2E+01	1,9E+01	2,9E+01
<sup>227</sup> Ac	1,9E-01	2,1E-01	2,1E-01	2,4E-01	2,5E-01	6,0E-01	9,3E-01	2,0E+00
<sup>228</sup> Th	2,6E+00	3,0E+00	2,9E+00	3,3E+00	3,5E+00	8,4E+00	1,3E+01	2,9E+01
<sup>230</sup> Th	1,0E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,3E+00	1,4E+00	3,3E+00	5,2E+00	1,1E+01
<sup>232</sup> Th	9,5E-01	1,1E+00	1,1E+00	1,2E+00	1,3E+00	3,0E+00	4,7E+00	1,0E+01
<sup>231</sup> Pa	7,3E-01	8,2E-01	8,2E-01	9,1E-01	9,7E-01	2,3E+00	3,5E+00	7,4E+00
<sup>234</sup> U	1,1E+01	1,2E+01	1,2E+01	1,4E+01	1,5E+01	3,4E+01	5,2E+01	1,1E+02
<sup>235</sup> U	1,2E+01	1,3E+01	1,3E+01	1,5E+01	1,5E+01	3,5E+01	5,5E+01	1,1E+02
<sup>238</sup> U	1,3E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,6E+01	1,7E+01	4,0E+01	6,3E+01	1,3E+02

Tabel 2.1.c Gemiddeld Nederland, dosisafkapgrens 0,1 μSv.a<sup>-1</sup>.

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	1,2E+01	1,4E+01	1,5E+01	1,7E+01	1,7E+01	3,1E+01	4,5E+01	5,6E+01
<sup>210</sup> Po	1,5E+01	1,7E+01	1,9E+01	2,1E+01	2,2E+01	3,8E+01	5,6E+01	6,9E+01
<sup>222</sup> Rn	1,7E+04	2,1E+04	2,2E+04	2,5E+04	2,7E+04	7,4E+04	1,3E+05	2,8E+05
<sup>226</sup> Ra	1,3E+01	1,5E+01	1,6E+01	1,8E+01	1,9E+01	4,2E+01	6,4E+01	1,0E+02
<sup>228</sup> Ra	7,2E+00	8,2E+00	8,7E+00	9,7E+00	1,0E+01	2,2E+01	3,4E+01	5,1E+01
<sup>227</sup> Ac	2,7E-01	3,2E-01	3,2E-01	3,7E-01	4,0E-01	1,0E+00	1,6E+00	3,2E+00
<sup>228</sup> Th	3,8E+00	4,4E+00	4,4E+00	5,1E+00	5,5E+00	1,4E+01	2,2E+01	4,5E+01
<sup>230</sup> Th	1,5E+00	1,8E+00	1,8E+00	2,0E+00	2,2E+00	5,5E+00	8,6E+00	1,8E+01
<sup>232</sup> Th	1,4E+00	1,6E+00	1,6E+00	1,8E+00	2,0E+00	5,0E+00	7,9E+00	1,6E+01
<sup>231</sup> Pa	1,1E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,4E+00	1,5E+00	3,8E+00	5,9E+00	1,2E+01
<sup>234</sup> U	1,6E+01	1,8E+01	1,8E+01	2,1E+01	2,3E+01	5,7E+01	8,8E+01	1,7E+02
<sup>235</sup> U	1,7E+01	1,9E+01	2,0E+01	2,3E+01	2,4E+01	5,9E+01	9,1E+01	1,7E+02
<sup>238</sup> U	1,9E+01	2,1E+01	2,2E+01	2,5E+01	2,7E+01	6,8E+01	1,1E+02	2,1E+02

Tabel 2.2.a Stad, zonder dosisafkappingen.

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	1,8E+00	3,0E+00	3,8E+00	6,1E+00	7,2E+00	1,6E+01	2,5E+01	3,2E+01
<sup>210</sup> Po	2,3E+00	3,7E+00	4,8E+00	7,6E+00	9,0E+00	2,0E+01	3,2E+01	3,9E+01
<sup>222</sup> Rn	1,7E+03	3,4E+03	4,4E+03	8,0E+03	1,0E+04	3,9E+04	7,9E+04	2,0E+05
<sup>226</sup> Ra	1,3E+00	2,3E+00	3,0E+00	5,3E+00	6,8E+00	2,2E+01	3,8E+01	6,4E+01
<sup>228</sup> Ra	7,3E-01	1,3E+00	1,7E+00	3,0E+00	3,8E+00	1,2E+01	2,0E+01	3,1E+01
<sup>227</sup> Ac	2,3E-02	4,2E-02	5,4E-02	1,0E-01	1,3E-01	5,2E-01	9,7E-01	2,2E+00
<sup>228</sup> Th	3,1E-01	5,8E-01	7,5E-01	1,4E+00	1,9E+00	7,2E+00	1,3E+01	3,2E+01
<sup>230</sup> Th	1,2E-01	2,3E-01	3,0E-01	5,7E-01	7,4E-01	2,9E+00	5,3E+00	1,3E+01
<sup>232</sup> Th	1,1E-01	2,1E-01	2,7E-01	5,1E-01	6,7E-01	2,6E+00	4,9E+00	1,1E+01
<sup>231</sup> Pa	8,8E-02	1,6E-01	2,1E-01	4,0E-01	5,2E-01	2,0E+00	3,7E+00	8,1E+00
<sup>234</sup> U	1,3E+00	2,4E+00	3,2E+00	6,0E+00	7,8E+00	2,9E+01	5,4E+01	1,2E+02
<sup>235</sup> U	1,4E+00	2,6E+00	3,4E+00	6,3E+00	8,2E+00	3,0E+01	5,6E+01	1,2E+02
<sup>238</sup> U	1,6E+00	2,9E+00	3,7E+00	7,0E+00	9,1E+00	3,5E+01	6,5E+01	1,5E+02

Tabel 2.2.b Stad, dosisafkappingen 0,01  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	2,0E+00	3,1E+00	3,8E+00	6,1E+00	7,2E+00	1,6E+01	2,5E+01	3,2E+01
<sup>210</sup> Po	2,5E+00	3,8E+00	4,8E+00	7,6E+00	9,0E+00	2,0E+01	3,2E+01	3,9E+01
<sup>222</sup> Rn	1,8E+03	3,6E+03	4,6E+03	8,1E+03	1,0E+04	3,9E+04	7,9E+04	2,0E+05
<sup>226</sup> Ra	1,3E+00	2,4E+00	3,1E+00	5,4E+00	6,8E+00	2,2E+01	3,8E+01	6,4E+01
<sup>228</sup> Ra	7,8E-01	1,4E+00	1,8E+00	3,0E+00	3,8E+00	1,2E+01	2,0E+01	3,1E+01
<sup>227</sup> Ac	2,4E-02	4,5E-02	5,8E-02	1,1E-01	1,4E-01	5,2E-01	9,7E-01	2,2E+00
<sup>228</sup> Th	3,2E-01	6,1E-01	8,0E-01	1,5E+00	1,9E+00	7,2E+00	1,4E+01	3,2E+01
<sup>230</sup> Th	1,3E-01	2,5E-01	3,2E-01	5,9E-01	7,5E-01	2,9E+00	5,3E+00	1,3E+01
<sup>232</sup> Th	1,2E-01	2,2E-01	2,9E-01	5,4E-01	6,9E-01	2,6E+00	4,9E+00	1,1E+01
<sup>231</sup> Pa	9,2E-02	1,7E-01	2,3E-01	4,2E-01	5,3E-01	2,0E+00	3,7E+00	8,1E+00
<sup>234</sup> U	1,4E+00	2,6E+00	3,4E+00	6,2E+00	7,9E+00	2,9E+01	5,4E+01	1,2E+02
<sup>235</sup> U	1,5E+00	2,7E+00	3,6E+00	6,6E+00	8,3E+00	3,0E+01	5,6E+01	1,2E+02
<sup>238</sup> U	1,6E+00	3,0E+00	4,0E+00	7,3E+00	9,3E+00	3,5E+01	6,5E+01	1,5E+02

Tabel 2.2.c Stad, dosisafkappingen 0,1  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	2,0E+00	3,6E+00	4,9E+00	9,5E+00	1,2E+01	3,1E+01	4,7E+01	5,9E+01
<sup>210</sup> Po	2,6E+00	4,5E+00	6,2E+00	1,2E+01	1,5E+01	3,8E+01	5,9E+01	7,2E+01
<sup>222</sup> Rn	1,8E+03	4,0E+03	5,4E+03	1,2E+04	1,6E+04	6,7E+04	1,3E+05	3,1E+05
<sup>226</sup> Ra	1,4E+00	2,6E+00	3,5E+00	7,4E+00	1,0E+01	3,9E+01	6,7E+01	1,1E+02
<sup>228</sup> Ra	8,0E-01	1,5E+00	2,1E+00	4,2E+00	5,8E+00	2,1E+01	3,5E+01	5,5E+01
<sup>227</sup> Ac	2,4E-02	4,7E-02	6,4E-02	1,4E-01	1,9E-01	8,8E-01	1,6E+00	3,6E+00
<sup>228</sup> Th	3,3E-01	6,5E-01	8,7E-01	1,9E+00	2,6E+00	1,2E+01	2,3E+01	5,0E+01
<sup>230</sup> Th	1,3E-01	2,6E-01	3,5E-01	7,5E-01	1,1E+00	4,9E+00	9,0E+00	2,0E+01
<sup>232</sup> Th	1,2E-01	2,4E-01	3,2E-01	6,8E-01	9,5E-01	4,4E+00	8,2E+00	1,8E+01
<sup>231</sup> Pa	9,4E-02	1,8E-01	2,5E-01	5,3E-01	7,4E-01	3,4E+00	6,2E+00	1,3E+01
<sup>234</sup> U	1,4E+00	2,7E+00	3,7E+00	7,9E+00	1,1E+01	5,0E+01	9,2E+01	1,9E+02
<sup>235</sup> U	1,5E+00	2,9E+00	3,9E+00	8,4E+00	1,2E+01	5,2E+01	9,5E+01	1,9E+02
<sup>238</sup> U	1,6E+00	3,2E+00	4,4E+00	9,3E+00	1,3E+01	5,9E+01	1,1E+02	2,3E+02

Tabel 2.3.a Drukke woonwijk, zonder dosisafkapgrens.

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	2,6E+00	4,0E+00	5,0E+00	7,1E+00	8,0E+00	1,6E+01	2,6E+01	3,2E+01
<sup>210</sup> Po	3,3E+00	5,0E+00	6,2E+00	8,8E+00	1,0E+01	2,0E+01	3,2E+01	4,0E+01
<sup>222</sup> Rn	2,6E+03	4,7E+03	5,9E+03	9,6E+03	1,2E+04	4,0E+04	7,9E+04	2,0E+05
<sup>226</sup> Ra	1,9E+00	3,3E+00	4,0E+00	6,5E+00	7,9E+00	2,2E+01	3,8E+01	6,4E+01
<sup>228</sup> Ra	1,1E+00	1,9E+00	2,3E+00	3,7E+00	4,4E+00	1,2E+01	2,0E+01	3,1E+01
<sup>227</sup> Ac	3,5E-02	6,1E-02	7,6E-02	1,3E-01	1,6E-01	5,3E-01	9,7E-01	2,2E+00
<sup>228</sup> Th	4,8E-01	8,4E-01	1,0E+00	1,8E+00	2,2E+00	7,3E+00	1,3E+01	3,2E+01
<sup>230</sup> Th	1,9E-01	3,4E-01	4,2E-01	7,0E-01	8,7E-01	2,9E+00	5,3E+00	1,3E+01
<sup>232</sup> Th	1,8E-01	3,1E-01	3,8E-01	6,4E-01	7,9E-01	2,7E+00	4,9E+00	1,1E+01
<sup>231</sup> Pa	1,4E-01	2,4E-01	3,0E-01	5,0E-01	6,1E-01	2,0E+00	3,7E+00	8,1E+00
<sup>234</sup> U	2,0E+00	3,5E+00	4,4E+00	7,4E+00	9,1E+00	3,0E+01	5,4E+01	1,2E+02
<sup>235</sup> U	2,2E+00	3,7E+00	4,7E+00	7,8E+00	9,6E+00	3,1E+01	5,6E+01	1,2E+02
<sup>238</sup> U	2,4E+00	4,2E+00	5,2E+00	8,7E+00	1,1E+01	3,6E+01	6,5E+01	1,5E+02

Tabel 2.3.b Drukke woonwijk, dosisafkapgrens 0,01  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	2,8E+00	4,0E+00	5,0E+00	7,1E+00	8,1E+00	1,6E+01	2,6E+01	3,2E+01
<sup>210</sup> Po	3,5E+00	5,0E+00	6,2E+00	8,8E+00	1,0E+01	2,0E+01	3,2E+01	4,0E+01
<sup>222</sup> Rn	2,7E+03	5,0E+03	6,1E+03	9,6E+03	1,2E+04	4,0E+04	7,9E+04	2,0E+05
<sup>226</sup> Ra	2,1E+00	3,5E+00	4,2E+00	6,5E+00	7,9E+00	2,2E+01	3,8E+01	6,4E+01
<sup>228</sup> Ra	1,2E+00	2,0E+00	2,4E+00	3,7E+00	4,4E+00	1,2E+01	2,0E+01	3,1E+01
<sup>227</sup> Ac	3,7E-02	6,5E-02	8,0E-02	1,3E-01	1,6E-01	5,3E-01	9,7E-01	2,2E+00
<sup>228</sup> Th	5,1E-01	8,9E-01	1,1E+00	1,8E+00	2,2E+00	7,3E+00	1,3E+01	3,2E+01
<sup>230</sup> Th	2,0E-01	3,6E-01	4,4E-01	7,2E-01	8,8E-01	2,9E+00	5,3E+00	1,3E+01
<sup>232</sup> Th	1,8E-01	3,2E-01	4,0E-01	6,6E-01	8,0E-01	2,7E+00	4,9E+00	1,1E+01
<sup>231</sup> Pa	1,4E-01	2,5E-01	3,1E-01	5,1E-01	6,1E-01	2,0E+00	3,7E+00	8,1E+00
<sup>234</sup> U	2,1E+00	3,8E+00	4,7E+00	7,6E+00	9,2E+00	3,0E+01	5,4E+01	1,2E+02
<sup>235</sup> U	2,3E+00	4,0E+00	5,0E+00	8,0E+00	9,7E+00	3,1E+01	5,6E+01	1,2E+02
<sup>238</sup> U	2,5E+00	4,4E+00	5,5E+00	8,9E+00	1,1E+01	3,6E+01	6,5E+01	1,5E+02

Tabel 2.3.c Drukke woonwijk, dosisafkapgrens 0,1  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	3,1E+00	5,3E+00	7,0E+00	1,2E+01	1,4E+01	3,1E+01	4,7E+01	5,9E+01
<sup>210</sup> Po	3,9E+00	6,6E+00	8,8E+00	1,5E+01	1,8E+01	3,9E+01	5,9E+01	7,3E+01
<sup>222</sup> Rn	2,9E+03	6,0E+03	7,9E+03	1,5E+04	1,8E+04	6,9E+04	1,3E+05	3,1E+05
<sup>226</sup> Ra	2,2E+00	3,9E+00	5,1E+00	9,6E+00	1,2E+01	4,0E+01	6,7E+01	1,1E+02
<sup>228</sup> Ra	1,3E+00	2,3E+00	3,0E+00	5,5E+00	6,9E+00	2,1E+01	3,5E+01	5,5E+01
<sup>227</sup> Ac	3,8E-02	7,2E-02	9,4E-02	1,8E-01	2,3E-01	9,0E-01	1,6E+00	3,5E+00
<sup>228</sup> Th	5,3E-01	9,9E-01	1,3E+00	2,5E+00	3,2E+00	1,2E+01	2,3E+01	5,0E+01
<sup>230</sup> Th	2,1E-01	3,9E-01	5,1E-01	9,8E-01	1,3E+00	5,0E+00	9,0E+00	2,0E+01
<sup>232</sup> Th	1,9E-01	3,6E-01	4,7E-01	8,9E-01	1,2E+00	4,5E+00	8,2E+00	1,8E+01
<sup>231</sup> Pa	1,5E-01	2,8E-01	3,7E-01	7,0E-01	9,0E-01	3,4E+00	6,2E+00	1,3E+01
<sup>234</sup> U	2,2E+00	4,2E+00	5,5E+00	1,0E+01	1,3E+01	5,1E+01	9,2E+01	1,9E+02
<sup>235</sup> U	2,4E+00	4,4E+00	5,8E+00	1,1E+01	1,4E+01	5,3E+01	9,5E+01	1,9E+02
<sup>238</sup> U	2,6E+00	4,9E+00	6,4E+00	1,2E+01	1,6E+01	6,1E+01	1,1E+02	2,3E+02



Tabel 2.4.a Rustige woonwijk, zonder dosisafkapgrens.

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	5,8E+00	7,8E+00	9,0E+00	1,1E+01	1,2E+01	1,9E+01	2,8E+01	3,4E+01
<sup>210</sup> Po	7,3E+00	9,7E+00	1,1E+01	1,4E+01	1,5E+01	2,4E+01	3,4E+01	4,2E+01
<sup>222</sup> Rn	6,4E+03	1,0E+04	1,2E+04	1,6E+04	1,8E+04	4,9E+04	8,6E+04	2,0E+05
<sup>226</sup> Ra	4,9E+00	7,5E+00	8,7E+00	1,2E+01	1,3E+01	2,8E+01	4,1E+01	6,7E+01
<sup>228</sup> Ra	2,8E+00	4,2E+00	4,9E+00	6,5E+00	7,2E+00	1,4E+01	2,2E+01	3,3E+01
<sup>227</sup> Ac	9,3E-02	1,5E-01	1,7E-01	2,5E-01	2,8E-01	6,9E-01	1,1E+00	2,3E+00
<sup>228</sup> Th	1,3E+00	2,1E+00	2,4E+00	3,4E+00	3,9E+00	9,6E+00	1,5E+01	3,2E+01
<sup>230</sup> Th	5,1E-01	8,2E-01	9,6E-01	1,4E+00	1,6E+00	3,8E+00	5,9E+00	1,3E+01
<sup>232</sup> Th	4,7E-01	7,5E-01	8,7E-01	1,2E+00	1,4E+00	3,5E+00	5,3E+00	1,1E+01
<sup>231</sup> Pa	3,6E-01	5,8E-01	6,7E-01	9,6E-01	1,1E+00	2,6E+00	4,0E+00	8,2E+00
<sup>234</sup> U	5,4E+00	8,6E+00	1,0E+01	1,4E+01	1,6E+01	3,9E+01	6,0E+01	1,2E+02
<sup>235</sup> U	5,8E+00	9,1E+00	1,1E+01	1,5E+01	1,7E+01	4,0E+01	6,2E+01	1,2E+02
<sup>238</sup> U	6,3E+00	1,0E+01	1,2E+01	1,7E+01	1,9E+01	4,6E+01	7,1E+01	1,5E+02

Tabel 2.4.b Rustige woonwijk, dosisafkapgrens 0,01  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	5,8E+00	7,8E+00	9,0E+00	1,1E+01	1,2E+01	1,9E+01	2,8E+01	3,4E+01
<sup>210</sup> Po	7,3E+00	9,7E+00	1,1E+01	1,4E+01	1,5E+01	2,4E+01	3,5E+01	4,2E+01
<sup>222</sup> Rn	6,6E+03	1,0E+04	1,2E+04	1,6E+04	1,8E+04	4,9E+04	8,6E+04	2,0E+05
<sup>226</sup> Ra	5,1E+00	7,5E+00	8,7E+00	1,2E+01	1,3E+01	2,8E+01	4,1E+01	6,7E+01
<sup>228</sup> Ra	2,9E+00	4,2E+00	4,9E+00	6,5E+00	7,2E+00	1,4E+01	2,2E+01	3,3E+01
<sup>227</sup> Ac	9,8E-02	1,5E-01	1,7E-01	2,5E-01	2,8E-01	6,9E-01	1,1E+00	2,3E+00
<sup>228</sup> Th	1,4E+00	2,1E+00	2,4E+00	3,4E+00	3,9E+00	9,6E+00	1,5E+01	3,2E+01
<sup>230</sup> Th	5,4E-01	8,4E-01	9,6E-01	1,4E+00	1,6E+00	3,8E+00	5,9E+00	1,3E+01
<sup>232</sup> Th	4,9E-01	7,7E-01	8,7E-01	1,2E+00	1,4E+00	3,5E+00	5,3E+00	1,1E+01
<sup>231</sup> Pa	3,8E-01	5,9E-01	6,8E-01	9,6E-01	1,1E+00	2,6E+00	4,0E+00	8,2E+00
<sup>234</sup> U	5,7E+00	8,8E+00	1,0E+01	1,4E+01	1,6E+01	3,9E+01	6,0E+01	1,2E+02
<sup>235</sup> U	6,1E+00	9,3E+00	1,1E+01	1,5E+01	1,7E+01	4,0E+01	6,2E+01	1,2E+02
<sup>238</sup> U	6,7E+00	1,0E+01	1,2E+01	1,7E+01	1,9E+01	4,6E+01	7,1E+01	1,5E+02

Tabel 2.4.c Rustige woonwijk, dosisafkapgrens 0,1  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	8,8E+00	1,4E+01	1,6E+01	2,1E+01	2,2E+01	3,4E+01	5,0E+01	6,1E+01
<sup>210</sup> Po	1,1E+01	1,7E+01	2,1E+01	2,6E+01	2,8E+01	4,3E+01	6,2E+01	7,6E+01
<sup>222</sup> Rn	8,8E+03	1,6E+04	1,9E+04	2,7E+04	3,1E+04	8,3E+04	1,4E+05	3,1E+05
<sup>226</sup> Ra	6,4E+00	1,1E+01	1,4E+01	2,0E+01	2,3E+01	4,8E+01	7,3E+01	1,2E+02
<sup>228</sup> Ra	3,7E+00	6,5E+00	7,8E+00	1,1E+01	1,3E+01	2,5E+01	3,8E+01	5,7E+01
<sup>227</sup> Ac	1,2E-01	2,1E-01	2,6E-01	4,0E-01	4,6E-01	1,2E+00	1,8E+00	3,6E+00
<sup>228</sup> Th	1,6E+00	2,9E+00	3,6E+00	5,4E+00	6,4E+00	1,6E+01	2,5E+01	5,0E+01
<sup>230</sup> Th	6,5E-01	1,2E+00	1,4E+00	2,2E+00	2,5E+00	6,3E+00	9,9E+00	2,0E+01
<sup>232</sup> Th	5,9E-01	1,1E+00	1,3E+00	2,0E+00	2,3E+00	5,8E+00	9,0E+00	1,8E+01
<sup>231</sup> Pa	4,6E-01	8,3E-01	1,0E+00	1,5E+00	1,8E+00	4,4E+00	6,8E+00	1,3E+01
<sup>234</sup> U	6,8E+00	1,2E+01	1,5E+01	2,3E+01	2,7E+01	6,5E+01	1,0E+02	2,0E+02
<sup>235</sup> U	7,3E+00	1,3E+01	1,6E+01	2,4E+01	2,8E+01	6,8E+01	1,1E+02	1,9E+02
<sup>238</sup> U	8,0E+00	1,5E+01	1,8E+01	2,7E+01	3,1E+01	7,7E+01	1,2E+02	2,4E+02

Tabel 2.5.a Buiten, zonder dosisafkapping.

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	1,2E+01	1,2E+01	1,2E+01	1,3E+01	1,3E+01	1,9E+01	2,8E+01	3,4E+01
<sup>210</sup> Po	1,5E+01	1,5E+01	1,5E+01	1,6E+01	1,6E+01	2,4E+01	3,5E+01	4,3E+01
<sup>222</sup> Rn	1,7E+04	1,9E+04	1,9E+04	2,0E+04	2,1E+04	5,0E+04	8,6E+04	2,0E+05
<sup>226</sup> Ra	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,5E+01	1,5E+01	2,8E+01	4,2E+01	6,7E+01
<sup>228</sup> Ra	7,6E+00	7,8E+00	7,8E+00	8,0E+00	8,2E+00	1,5E+01	2,2E+01	3,3E+01
<sup>227</sup> Ac	3,1E-01	3,3E-01	3,1E-01	3,2E-01	3,4E-01	7,0E-01	1,1E+00	2,3E+00
<sup>228</sup> Th	4,4E+00	4,5E+00	4,3E+00	4,5E+00	4,7E+00	9,8E+00	1,5E+01	3,2E+01
<sup>230</sup> Th	1,7E+00	1,8E+00	1,7E+00	1,8E+00	1,9E+00	3,9E+00	5,9E+00	1,3E+01
<sup>232</sup> Th	1,6E+00	1,6E+00	1,6E+00	1,6E+00	1,7E+00	3,5E+00	5,4E+00	1,1E+01
<sup>231</sup> Pa	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,3E+00	2,7E+00	4,0E+00	8,2E+00
<sup>234</sup> U	1,8E+01	1,9E+01	1,8E+01	1,9E+01	1,9E+01	4,0E+01	6,0E+01	1,2E+02
<sup>235</sup> U	1,9E+01	2,0E+01	1,9E+01	2,0E+01	2,0E+01	4,1E+01	6,2E+01	1,2E+02
<sup>238</sup> U	2,1E+01	2,2E+01	2,1E+01	2,2E+01	2,3E+01	4,7E+01	7,1E+01	1,5E+02

Tabel 2.5.b Buiten, dosisafkapping 0,01  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

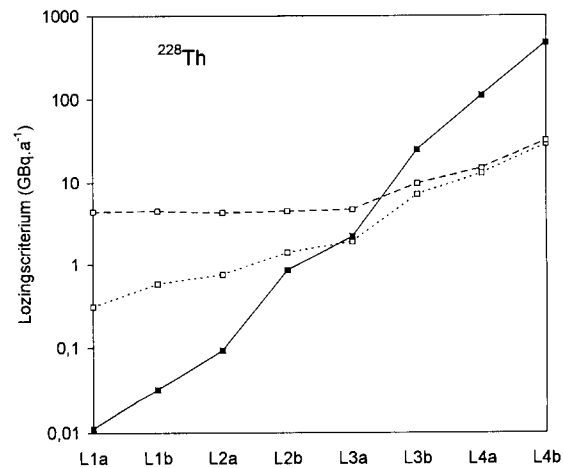
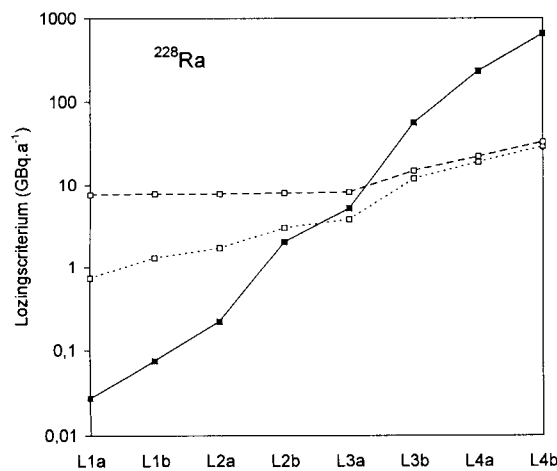
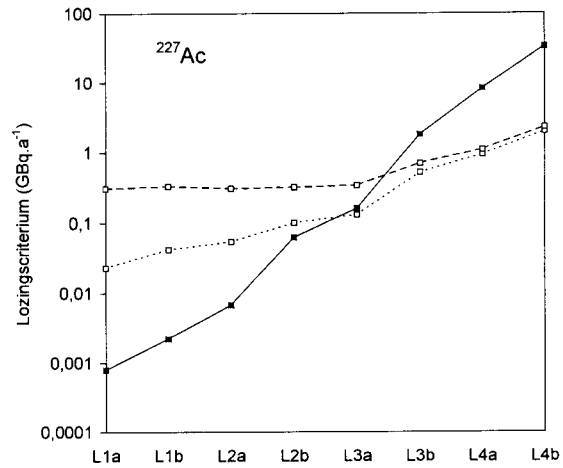
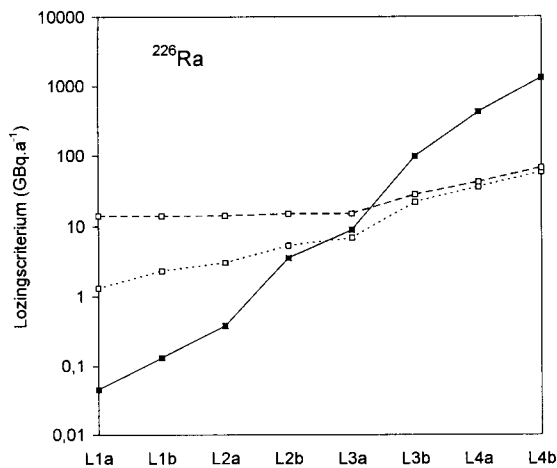
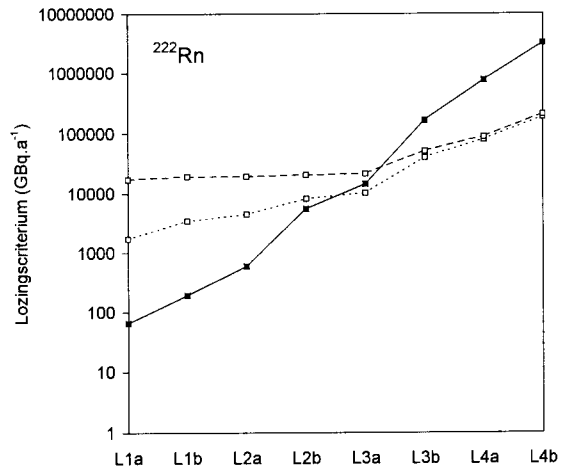
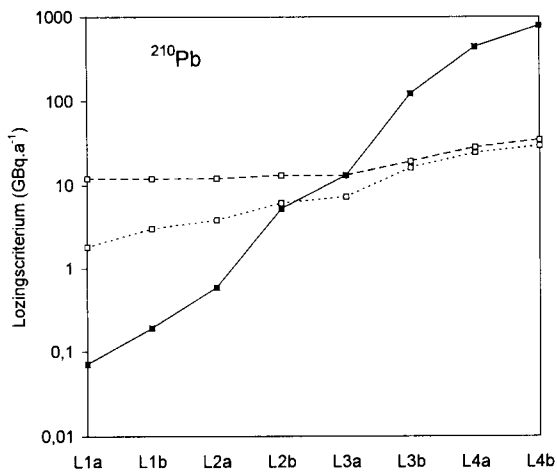
	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	1,2E+01	1,2E+01	1,2E+01	1,3E+01	1,3E+01	1,9E+01	2,8E+01	3,4E+01
<sup>210</sup> Po	1,5E+01	1,5E+01	1,6E+01	1,6E+01	1,6E+01	2,4E+01	3,5E+01	4,3E+01
<sup>222</sup> Rn	1,7E+04	1,9E+04	1,9E+04	2,0E+04	2,1E+04	5,0E+04	8,6E+04	2,0E+05
<sup>226</sup> Ra	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,5E+01	1,5E+01	2,8E+01	4,2E+01	6,7E+01
<sup>228</sup> Ra	7,6E+00	7,8E+00	7,8E+00	8,0E+00	8,2E+00	1,5E+01	2,2E+01	3,3E+01
<sup>227</sup> Ac	3,1E-01	3,3E-01	3,1E-01	3,2E-01	3,4E-01	7,0E-01	1,1E+00	2,3E+00
<sup>228</sup> Th	4,4E+00	4,5E+00	4,3E+00	4,5E+00	4,7E+00	9,8E+00	1,5E+01	3,2E+01
<sup>230</sup> Th	1,7E+00	1,8E+00	1,7E+00	1,8E+00	1,9E+00	3,9E+00	5,9E+00	1,3E+01
<sup>232</sup> Th	1,6E+00	1,6E+00	1,6E+00	1,6E+00	1,7E+00	3,5E+00	5,4E+00	1,1E+01
<sup>231</sup> Pa	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,3E+00	2,7E+00	4,0E+00	8,2E+00
<sup>234</sup> U	1,8E+01	1,9E+01	1,8E+01	1,9E+01	1,9E+01	4,0E+01	6,0E+01	1,2E+02
<sup>235</sup> U	1,9E+01	2,0E+01	1,9E+01	2,0E+01	2,0E+01	4,1E+01	6,2E+01	1,2E+02
<sup>238</sup> U	2,1E+01	2,2E+01	2,1E+01	2,2E+01	2,3E+01	4,7E+01	7,1E+01	1,5E+02

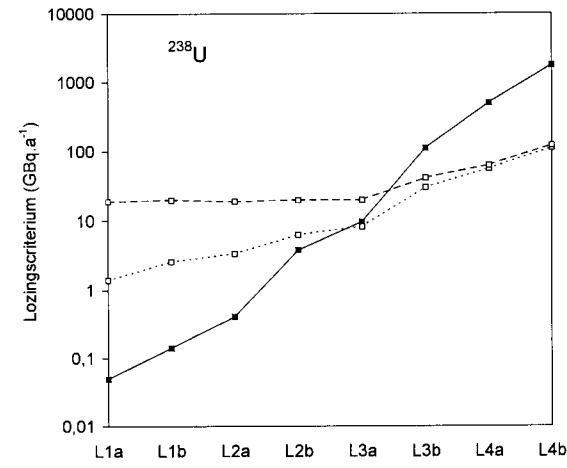
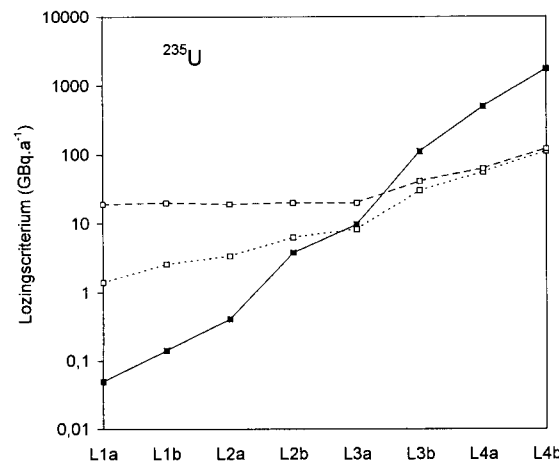
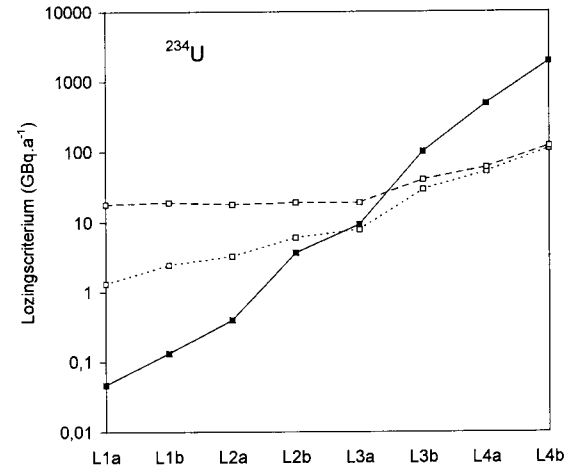
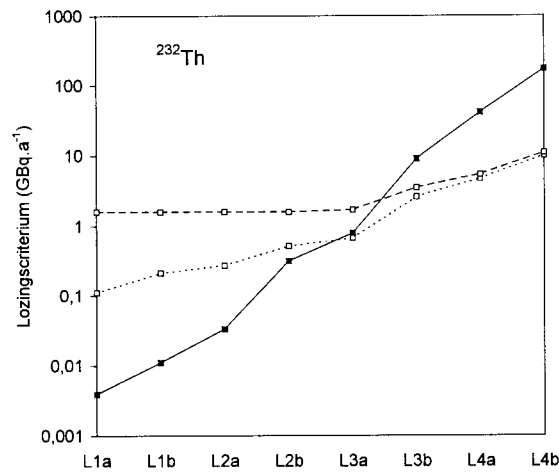
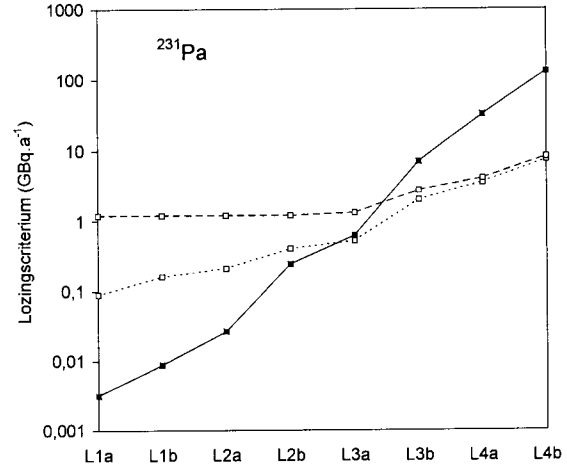
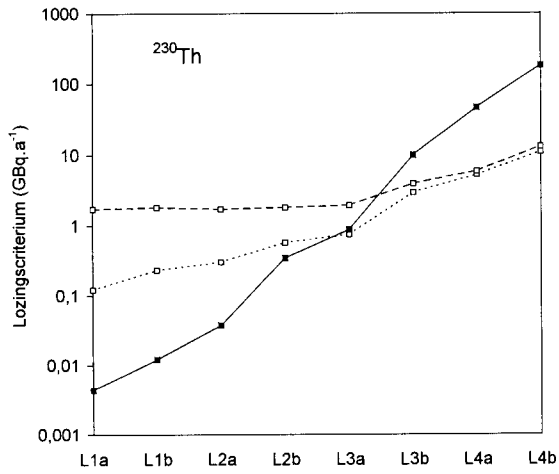
Tabel 2.5.c Buiten, dosisafkapping 0,1  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

	L1a	L1b	L2a	L2b	L3a	L3b	L4a	L4b
<sup>210</sup> Pb	2,2E+01	2,2E+01	2,3E+01	2,3E+01	2,4E+01	3,4E+01	5,0E+01	6,1E+01
<sup>210</sup> Po	2,8E+01	2,8E+01	2,9E+01	2,9E+01	2,9E+01	4,3E+01	6,2E+01	7,6E+01
<sup>222</sup> Rn	2,9E+04	3,1E+04	3,1E+04	3,3E+04	3,5E+04	8,4E+04	1,4E+05	3,1E+05
<sup>226</sup> Ra	2,4E+01	2,5E+01	2,5E+01	2,5E+01	2,6E+01	4,9E+01	7,3E+01	1,2E+02
<sup>228</sup> Ra	1,3E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	2,6E+01	3,8E+01	5,7E+01
<sup>227</sup> Ac	5,1E-01	5,3E-01	5,1E-01	5,3E-01	5,5E-01	1,2E+00	1,8E+00	3,6E+00
<sup>228</sup> Th	7,1E+00	7,3E+00	7,0E+00	7,3E+00	7,6E+00	1,6E+01	2,5E+01	5,0E+01
<sup>230</sup> Th	2,8E+00	2,9E+00	2,8E+00	2,9E+00	3,0E+00	6,4E+00	9,9E+00	2,0E+01
<sup>232</sup> Th	2,6E+00	2,6E+00	2,5E+00	2,7E+00	2,8E+00	5,9E+00	9,0E+00	1,8E+01
<sup>231</sup> Pa	2,0E+00	2,0E+00	2,0E+00	2,1E+00	2,1E+00	4,5E+00	6,8E+00	1,3E+01
<sup>234</sup> U	2,9E+01	3,0E+01	2,9E+01	3,1E+01	3,2E+01	6,6E+01	1,0E+02	2,0E+02
<sup>235</sup> U	3,1E+01	3,2E+01	3,1E+01	3,3E+01	3,4E+01	6,9E+01	1,1E+02	1,9E+02
<sup>238</sup> U	3,5E+01	3,6E+01	3,4E+01	3,6E+01	3,7E+01	7,9E+01	1,2E+02	2,4E+02

## Bijlage 3 Grafische weergave van lozingscriteria - lucht

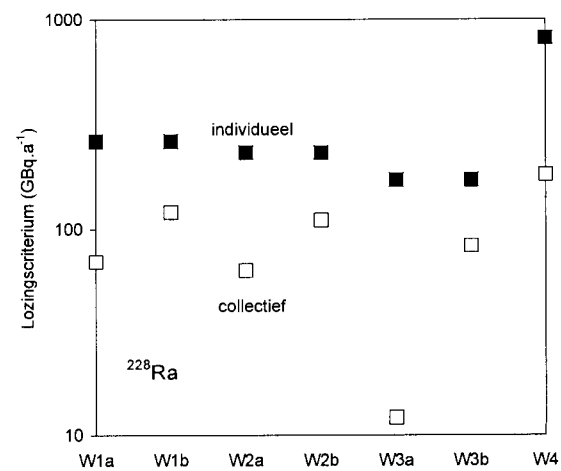
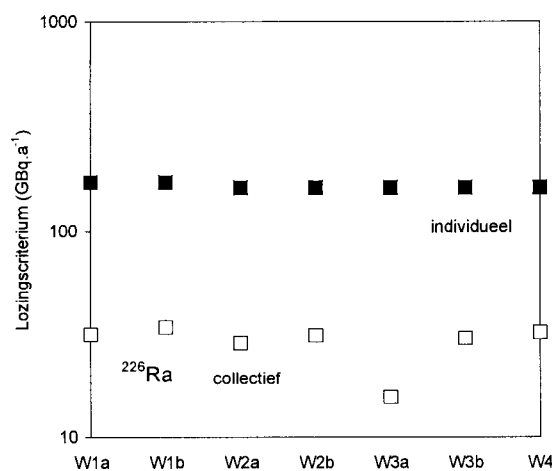
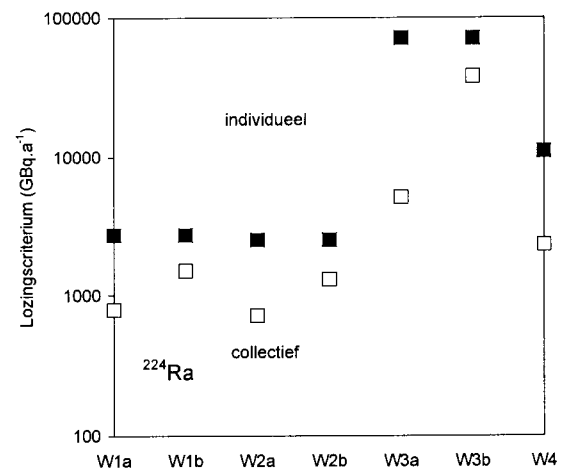
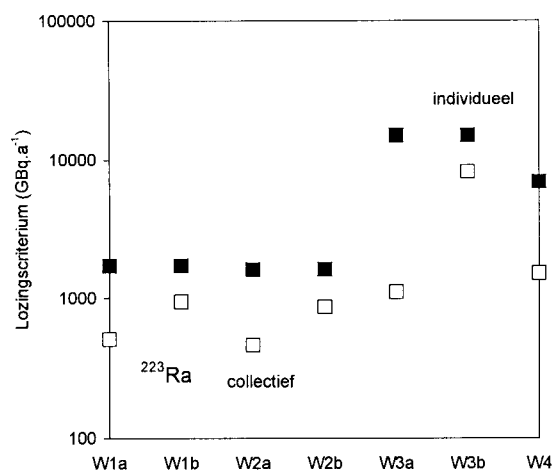
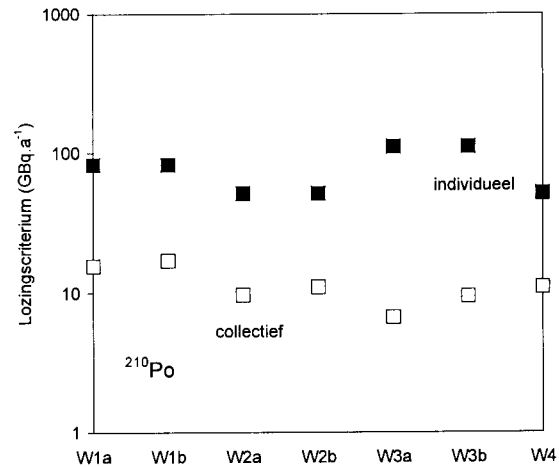
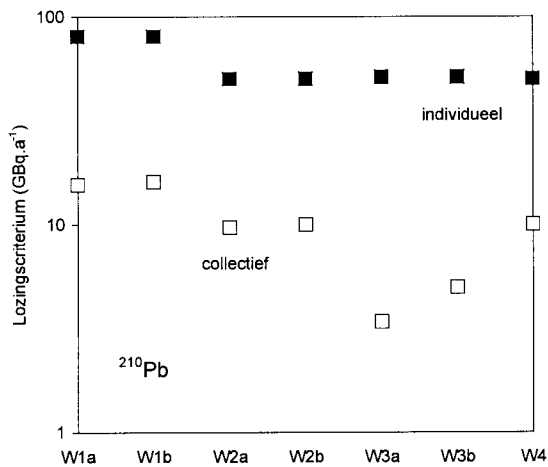
Lozingscriteria voor lozingen in lucht voor twaalf radionucliden (zie figuur 1 voor  $^{210}\text{Po}$ ); (—) gebaseerd op het individuele-dosis-criterium; (-----) laagste en (- - -) hoogste waarden voor het lozingscriterium gebaseerd op het collectieve-dosis-criterium die (zonder dosisafkapping) voor de vijf scenario's voor de bevolkingsdichtheidsverdeling zijn berekend.

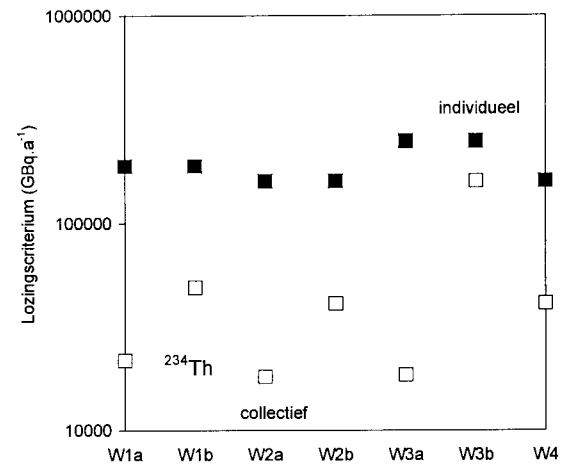
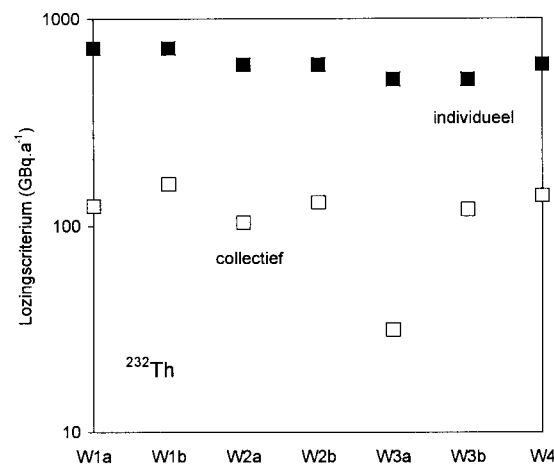
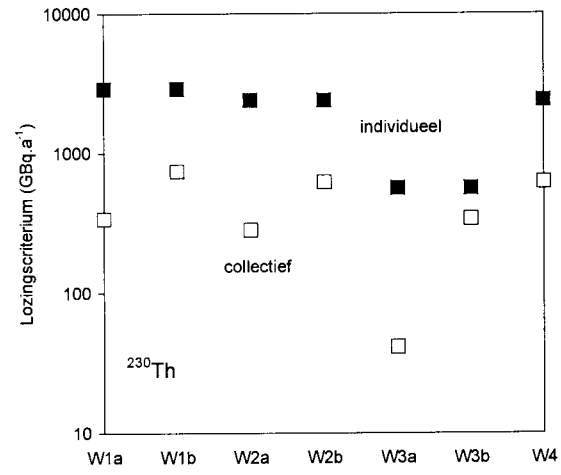
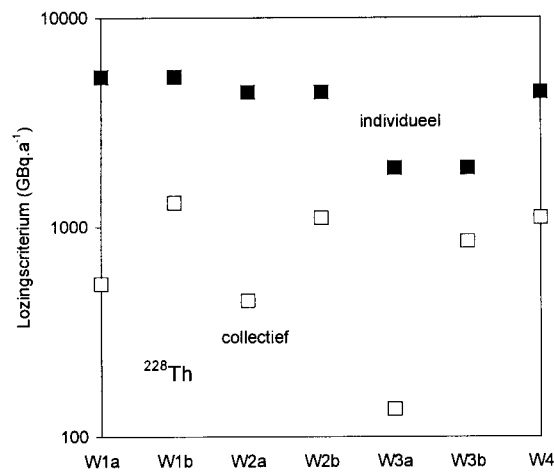
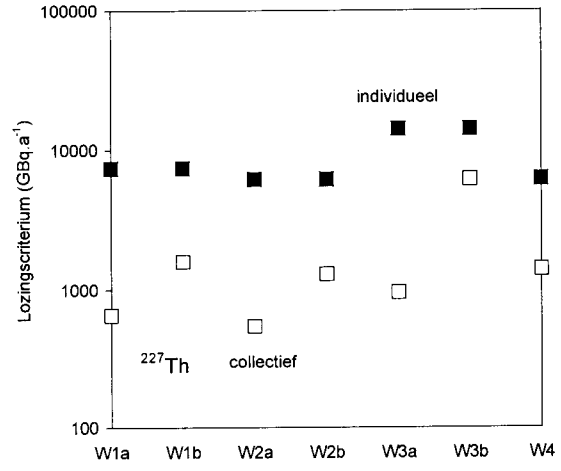
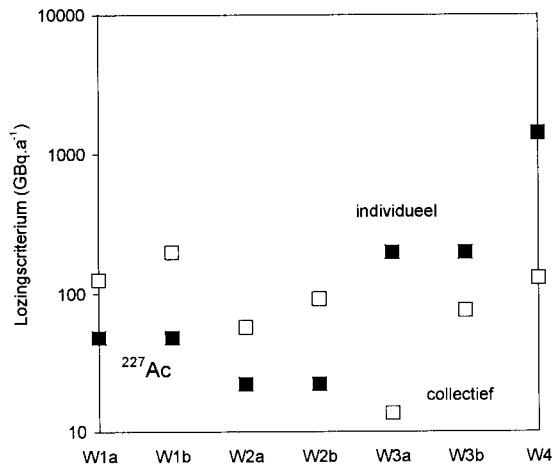


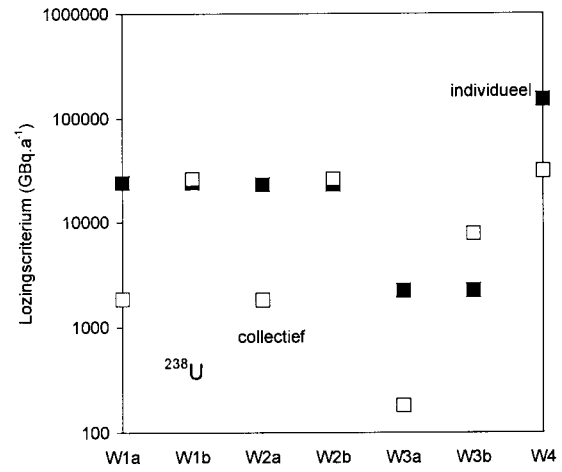
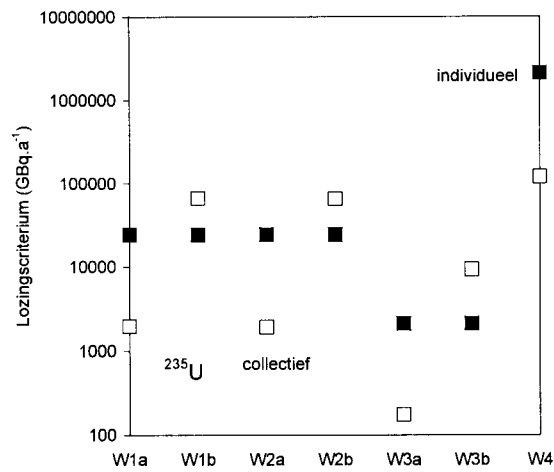
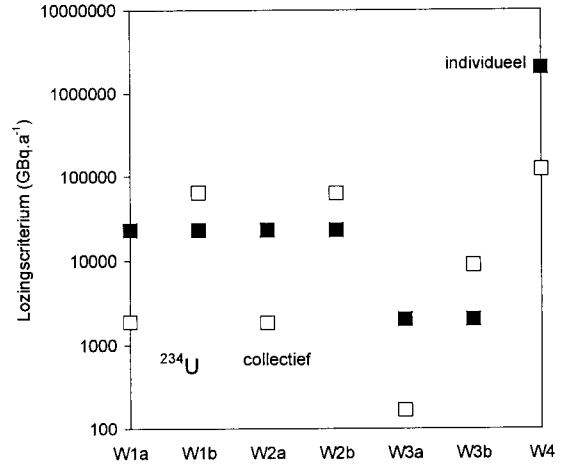
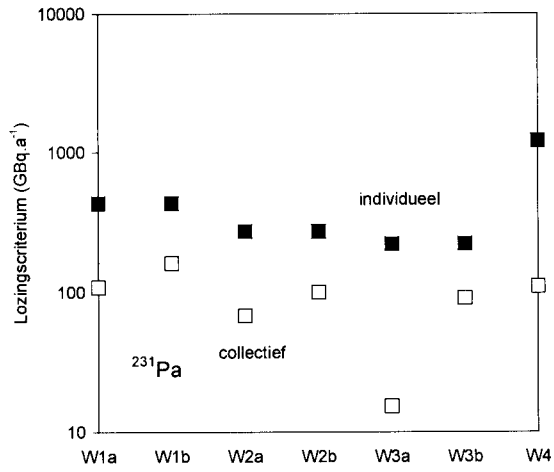


## Bijlage 4 Grafische weergave van lozingscriteria - water

Lozingscriteria voor lozingen in water voor zestien radionucliden en zeven referentiesituaties (W1- riool; W2 - rivier; W3 - meer; W4 - zee; a - met significante drinkwaterproductie; b - zonder significante drinkwaterproductie).

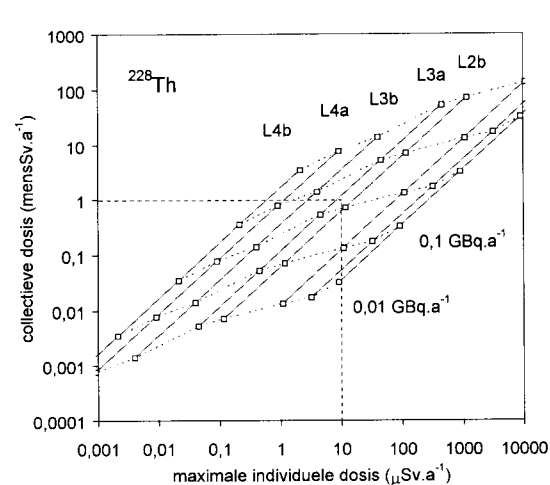
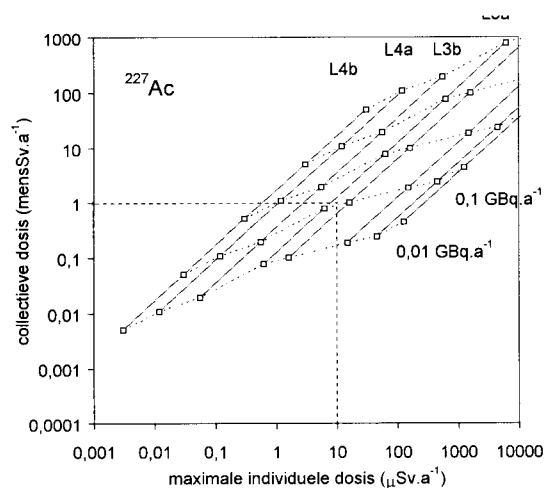
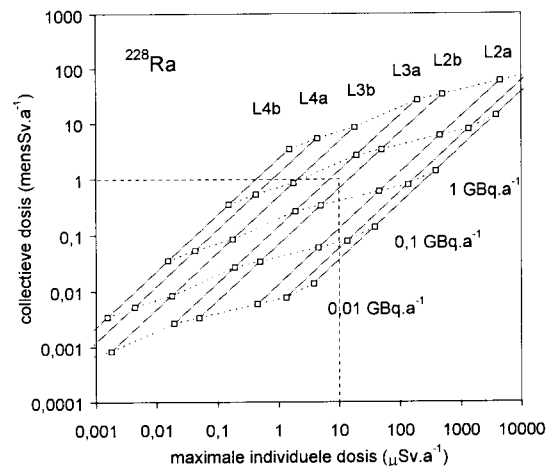
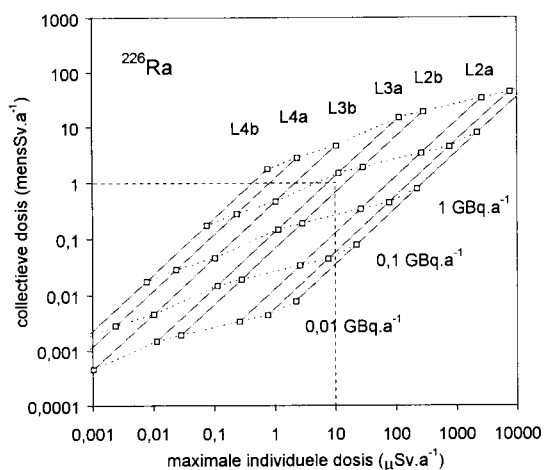
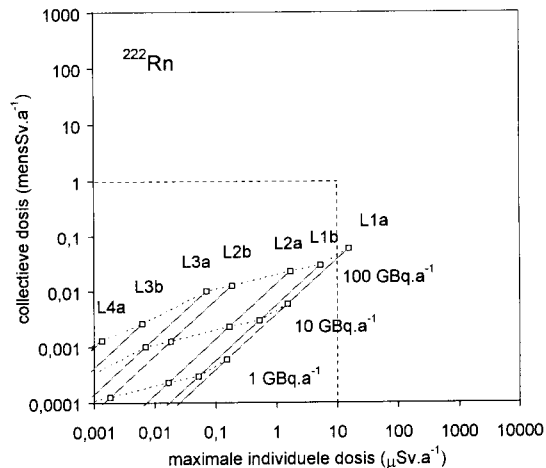
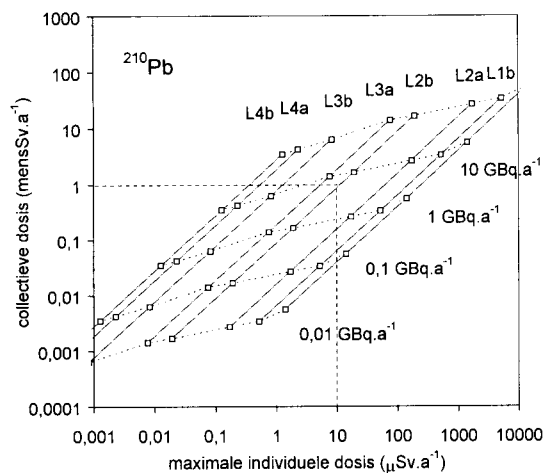




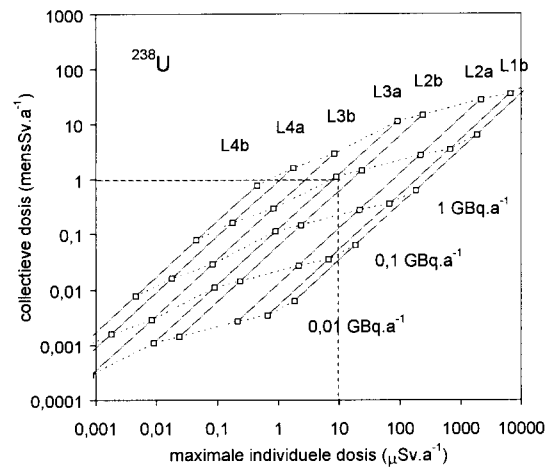
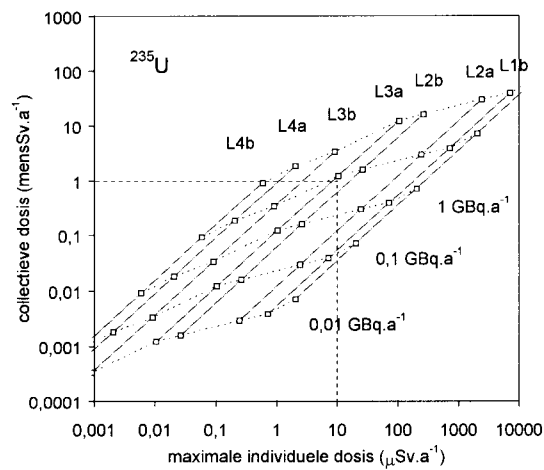
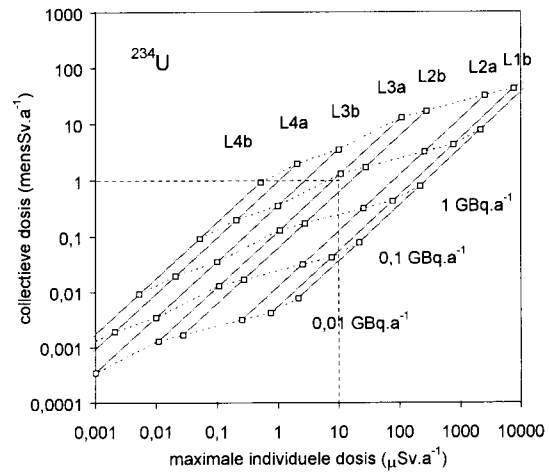
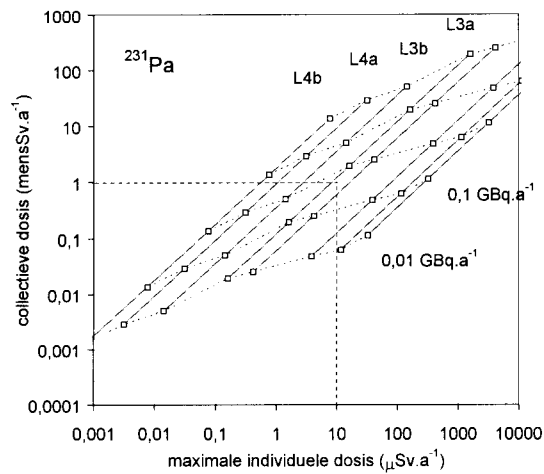
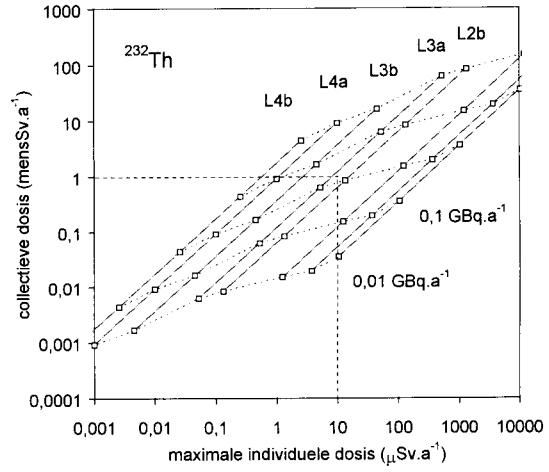
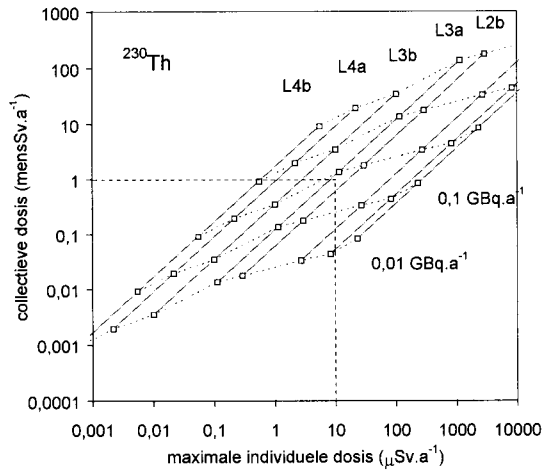


## Bijlage 5 Collectieve versus individuele dosis - lucht

In totaal twaalf figuren met lozingscriteria voor lozingen in lucht per radionuclide voor acht referentiesituaties.







## Bijlage 6 Collectieve versus individuele dosis - water

In totaal vijftien figuren met lozingscriteria voor lozingen in water per radionuclide voor zeven referentiesituaties (W1 - riool; W2 - rivier; W3 - meer; W4 - zee; a - met significante drinkwaterproductie; b - zonder significante drinkwaterproductie).

