

RIVM rapport 610310 005

**Schattingen van de individuele en collectieve  
doses als gevolg van consumentenproducten  
waarin radioactieve stoffen zijn verwerkt**

H. Eleveld en M.J.M. Pruppers

mei 2000

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 'Consumentenproducten'.

## Abstract

In this report consumer products refer to products in which radionuclides have been intentionally incorporated and which can be supplied to members of the public without special surveillance. This group of products include for instance ionisation smoke detectors and timepieces with radium painted dials. These products can cause in the various phases of their existence a radiation dose to members of the public.

In 1996 the European Council laid down the basic safety standards in Directive 96/29/Euratom for the protection of the health of the general public against the dangers arising from ionising radiation. The Directive contains activity concentrations and total activity per radionuclide, the so-called exemption levels, below which a practise using this radionuclide is exempted from the duty to report. In implementing the Directive in the Dutch legislation, the proposed policy for consumer products is to make a distinction between products with activity concentrations and total activity above and below the exemption levels. Besides the use of the exemption levels as activity criteria for the consumer products, two dose criteria are used in the proposed Dutch policy: an individual dose of  $10 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$  and a collective dose of  $1 \text{ manSv} \cdot \text{a}^{-1}$ .

In the study which resulted in this report firstly the most recent information on consumer products was collected and the activity per product and in some cases also the activity concentration was tested against the exemption levels. Next the expected individual and collective doses for members of the public were calculated in the storage and trade phase, the user phase and the disposal phase of the consumer products. In the storage and trade phase also the dose for shop personnel was estimated. Finally, the doses were tested against the dose criteria.

Gas mantles, static elimination devices, gaseous tritium light sources (GTLS), ceramic tiles, welding rods and camera lenses and eyepieces which belong to the group of consumer products for which at least one of the activity criteria is exceeded, are expected to exceed also at least one of the dose criteria. Consumer products which do not exceed the activity criteria but which may exceed at least one of the dose criteria are smoke detectors with  $^{226}\text{Ra}$ , timepieces with  $^{147}\text{Pm}$ , electronic components with  $^{60}\text{Co}$  and electrical discharge safety devices.

# Inhoud

Abstract.....	2
Samenvatting .....	4
1 Inleiding .....	5
1.1 Probleemstelling .....	5
1.2 Vraagstelling .....	5
1.3 Aanpak en leeswijzer .....	5
2 Consumentenproducten.....	6
2.1 Inleiding .....	6
2.2 Overzicht.....	6
2.2.1 Gloeikousjes .....	6
2.2.2 Rookmelders.....	7
2.2.3 Antistatische middelen .....	7
2.2.4 Starters in TL-buizen.....	7
2.2.5 Luminescentie (GTLS).....	7
2.2.6 Keramiek, mineralen en sieraden .....	7
2.2.7 Lasstaven .....	8
2.2.8 Cameralenzen en oculairs.....	9
2.2.9 Uurwerken .....	9
2.2.10 Elektronica.....	9
2.2.11 Overslagbeveiligingen.....	9
2.3 Toetsing aan <i>exemption levels</i> .....	10
3 Methode van dosisschatting .....	11
3.1 Opslag- en handelsfase .....	11
3.2 Gebruiksfase .....	11
3.3 Afvalfase.....	12
3.4 Algemene en aanvullende gegevens .....	12
4 Resultaten en discussie .....	14
4.1 Gloeikousjes .....	14
4.2 Rookmelders .....	15
4.3 Antistatische middelen.....	15
4.4 Starters in TL-buizen .....	16
4.5 Luminescentie (GTLS) .....	17
4.6 Keramiek en sieraden.....	17
4.7 Lasstaven .....	18
4.8 Cameralenzen en oculairs .....	19
4.9 Uurwerken .....	20
4.10 Elektronica.....	22
4.11 Overslagbeveiligingen .....	22
5 Conclusies .....	25
Referenties .....	28
Bijlage 1 Verzendlijst .....	30
Bijlage 2 Details van de dosisschattingen .....	31

## Samenvatting

In dit rapport worden met ‘consumentenproducten’ die producten bedoeld waarin bewust radioactieve stoffen zijn verwerkt en die zonder speciaal toezicht aan leden van de bevolking kunnen worden aangeboden. Tot deze producten behoren onder andere ionisatierookmelders en uurwerken waarvan de wijzerplaten met radiumverf zijn beschilderd. Deze producten kunnen in de diverse fasen van hun bestaan een stralingsdosis voor leden van de bevolking veroorzaken.

In 1996 stelde de Europese Raad in de Richtlijn 96/29/Euratom basisnormen vast voor de bescherming van de gezondheid van leden van de bevolking tegen de gevaren die aan ioniserende straling verbonden zijn. De richtlijn bevat per radionuclide een activiteitsconcentratie en een totale activiteit, de zogenaamde exemption levels, waaronder een handeling met deze radionuclide is vrijgesteld van meldingsplicht. Bij het implementeren van de richtlijn in de Nederlandse wetgeving bestaat het beleidsvoornemen om voor consumentenproducten onderscheid te maken tussen producten met activiteitsconcentraties en totale activiteit boven en onder de exemption levels. Naast het toepassen van de exemption levels als criteria voor de hoeveelheid radioactiviteit in de consumentenproducten worden in het voorgenomen Nederlandse beleid twee dosiscriteria gehanteerd: een individuele dosis van  $10 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$  en een collectieve dosis van  $1 \text{ mensSv} \cdot \text{a}^{-1}$ .

In het onderzoek waarvan de resultaten in het voorliggende rapport zijn beschreven, is allereerst de meest recente informatie over consumentenproducten verzameld en zijn per product de activiteit en in enkele gevallen ook de activiteitsconcentratie aan de exemption levels getoetst. Vervolgens zijn de globaal te verwachten individuele en collectieve doses voor leden van de bevolking in de opslag- en handelsfase, de gebruiksfase en de afvalfase van de consumentenproducten berekend. In de opslag- en handelsfase is ook de dosis voor winkelpersoneel geschat. Tenslotte zijn de doses aan de dosiscriteria getoetst.

Van de consumentenproducten die minstens één van de activiteitscriteria overschrijden wordt verwacht dat gloeikousjes, antistatische middelen, gaseous tritium light sources (GTLS), keramische tegels, lasstaven en cameralenzen en oculairs minstens één van de dosiscriteria overschrijden. Van de consumentenproducten die de activiteitscriteria niet overschrijden kunnen rookmelders met  $^{226}\text{Ra}$ , uurwerken met  $^{147}\text{Pm}$ , elektronica met  $^{60}\text{Co}$  en overslagbeveiligingen mogelijk minstens één van de dosiscriteria overschrijden.

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

In het kader van de implementatie van de Europese richtlijn 96/29/EURATOM [1], in het vervolg te noemen ‘de EU-richtlijn’, wordt momenteel de aanpassing van het Besluit stralenbescherming Kernenergiewet, in het vervolg te noemen ‘Bs2000’ [2], voorbereid. In het Bs2000 zullen regels worden gesteld ten aanzien van consumentenproducten waarin radioactieve stoffen zijn verwerkt.

Bij het beoordelen van de consequenties van het voorgenomen beleid voor consumentenproducten is inzicht nodig in de dosis voor leden van de bevolking tijdens drie onderscheiden fasen, namelijk de opslag- en handelsfase, de gebruiksfase en de afvalfase. Het STRAVE-rapport [3] bevat gegevens omtrent de gebruiksfase van diverse consumentenproducten, waarbij de vraag is of die gegevens nog actueel zijn. Het STRAVE-rapport bevat geen gegevens over de dosis tijdens de opslag- en handelsfase en de afvalfase.

## 1.2 Vraagstelling

In het voorgenomen Nederlandse beleid wordt onderscheid gemaakt in consumentenproducten met activiteitsconcentraties en totale activiteit boven en onder de zogenaamde *exemption levels* [1]. Daarnaast worden er twee dosiscriteria gehanteerd: een individuele dosis van  $10 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$  en een collectieve dosis van  $1 \text{ mensSv} \cdot \text{a}^{-1}$ .

De eerste vraag is welke groep consumentenproducten tot de categorie boven en welke tot de categorie onder *exemption levels* behoort. Voor beide categorieën is het vervolgens de vraag hoe hoog de globaal te verwachten individuele en collectieve dosis van leden van de bevolking in de drie fasen in normale omstandigheden zijn en of er mogelijk minstens één van de twee dosiscriteria wordt overschreden. Voor de opslag- en handelsfase is het bovendien de vraag hoe hoog de globaal te verwachten individuele en collectieve doses voor personeel onder normale omstandigheden en voor leden van de bevolking ten gevolge ‘brand in een opslag’, als bijzonder geval van een ‘niet-normale omstandigheid’, zijn. Voor de gebruiksfase en de afvalfase zijn de niet-normale omstandigheden voor de beschouwde consumentenproducten zo divers en bovendien nauwelijks met enige zekerheid te definiëren dat deze buiten beschouwing zijn gebleven. Om dezelfde reden zijn ongevallen tijdens vervoer niet beschouwd.

Voorlopige resultaten zijn reeds in augustus 1998 in een briefrapport gerapporteerd [4].

## 1.3 Aanpak en leeswijzer

Allereerst is de meest recente informatie over de relevante consumentenproducten verzameld. Per radionuclide is een toetsing van de activiteitsconcentraties en de totale activiteit aan de *exemption levels* uitgevoerd. Hoofdstuk 2 bevat een overzicht van de consumentenproducten die in dit rapport aan de orde zijn en het resultaat van de indeling in de categorieën boven en onder *exemption level*. In hoofdstuk 3 is beschreven welke methode voor het schatten van de individuele en collectieve doses is gevolgd. De resultaten zijn beschreven en bediscussieerd in hoofdstuk 4. Het rapport besluit met de conclusies in hoofdstuk 5.

## 2 Consumentenproducten

### 2.1 Inleiding

In artikel 22 en in de toelichting bij de artikelen 23 en 24 van het (concept) Bs2000 [2] is er sprake van ‘artikelen, bestemd voor gebruik op of in de directe omgeving van personen’ en van ‘gebruiksartikelen’.

De definitie van consumentenproducten die in het voorliggende rapport is gehanteerd, is afkomstig uit een EU-rapport [5] en luidt ‘*Manufactured products or appliances or miscellaneous sources in which radionuclides have been intentionally incorporated and which can be supplied to members of the public without special surveillance*’ en die hier wordt vertaald met ‘Producten of toestellen of diverse bronnen waarin bewust radioactieve stoffen zijn verwerkt en die zonder speciaal toezicht aan leden van de bevolking kunnen worden aangeboden’.

In dit rapport komen alleen consumentenproducten aan de orde waarin radioactieve stoffen zijn verwerkt, en dus geen toestellen. Dit betekent dat beeldschermen, apparatuur voor bagageonderzoek, fluorescentie-buizen en andere toestellen die ioniserende straling uitzenden niet worden behandeld.

Volgens de EU-richtlijn ‘staan de Lid-Staten niet toe dat er bij de productie van levensmiddelen, speelgoed, sieraden en cosmetische producten opzettelijk radioactieve stoffen worden toegevoegd, of dat dergelijke goederen worden in- of uitgevoerd’ (Artikel 6, 5e lid). Deze producten blijven in dit rapport daarom eveneens buiten beschouwing.

Hoewel radioactieve stoffen, zoals  $^{210}\text{Po}$ , die van nature in tabaksproducten aanwezig zijn, aanleiding kunnen geven tot een aanzienlijke dosis voor rokers, worden tabaksproducten hier niet beschouwd. Melding- of vergunningplichtige producten zoals sommige rookmelders en bliksemafleiders worden niet beschouwd, aangezien ze niet binnen de hier gehanteerde definitie van consumentenproducten vallen.

### 2.2 Overzicht

Deze paragraaf bevat een overzicht van de beschouwde consumentenproducten. Per product of groep van producten wordt kort ingegaan op de toepassing, het nut, de aard en de hoeveelheid van de aanwezige radioactiviteit. Er is uitgegaan van de meest recente literatuur. In sommige gevallen was het noodzakelijk gebruik te maken van literatuur uit de jaren tachtig of uit nog eerdere jaren.

#### 2.2.1 Gloeikousjes

Gloeikousjes worden toegepast in gasverlichting die voornamelijk in tenten en caravans wordt gebruikt. In gloeikousjes is thoriumnitraat verwerkt waaruit bij verbranding thoriumoxide ontstaat dat een helder licht verspreidt [6]. De hoeveelheid van moedernuclide  $^{232}\text{Th}$ , die in seculair evenwicht is met haar dochternucliden, wordt geschat op 1 à 1,8 kBq per gloeikousje [3]. Sinds 1992 is het mogelijk om thoriumvrije gloeikousjes te verkrijgen. Het is echter niet duidelijk hoe groot het marktaandeel van het nieuwe product is [5].

### 2.2.2 Rookmelders

Rookmelders worden gebruikt om rook of brand te detecteren. Straling afkomstig van een radioactieve bron in de rookmelder ioniseert de lucht in een ionisatiekamer. Onder invloed van een elektrisch veld in de ionisatiekamer ontstaat er een stroom. Rookdeeltjes in de lucht verstoren de geleiding en ionisatiegraad waardoor de stroomsterkte in de ionisatiekamer zal veranderen. Deze verandering wordt gedetecteerd.

Rookmelders kunnen zijn uitgevoerd met  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  en  $^{85}\text{Kr}$ . In het kader van de Kernenergiewet [7] is bepaald dat rookmelders met  $^{241}\text{Am}$  en  $^{226}\text{Ra}$  vrijgesteld zijn van vergunningverlening, mits onder andere de totale activiteit maximaal respectievelijk 37 kBq en 3,7 kBq is.  $^{85}\text{Kr}$ -houdende rookmelders zijn vergunningplichtig, dus vallen buiten het onderzoek. Overigens wordt  $^{85}\text{Kr}$  niet of nauwelijks meer toegepast.

### 2.2.3 Antistatische middelen

Antistatische middelen zoals borstels waaraan  $^{241}\text{Am}$  of  $^{210}\text{Po}$  is toegevoegd, worden toegepast om statische elektriciteit op bijvoorbeeld fotografisch materiaal te verminderen [8]. De lucht rondom het object wordt geïoniseerd door de radioactiviteit, waardoor de statische elektriciteit wordt geneutraliseerd. De radioactiviteit wordt daarbij verwerkt in microscopisch kleine bolletjes van keramisch materiaal. Het STRAVE-rapport meldt activiteiten van 18 MBq  $^{210}\text{Po}$  en 1 MBq  $^{241}\text{Am}$  per product onder verwijzing naar een OECD-rapport uit 1985 [9]. Hoewel andere bronnen in de literatuur hogere waarden van 20 MBq [10] en 18,5 tot 37 MBq en 46 MBq [8] voor de  $^{210}\text{Po}$ -activiteit vermelden, zijn mede vanwege de korte halveringstijd van  $^{210}\text{Po}$  van 138 dagen de berekeningen met de (lagere) waarden uit het STRAVE-rapport uitgevoerd.

### 2.2.4 Starters in TL-buizen

TL-starters zijn vaak voorzien van radioactiviteit ( $^3\text{H}$  of  $^{85}\text{Kr}$ ), om de vonk, die nodig is om de lamp te starten, te voorzien van een initiële ionisatie. De hoeveelheid activiteit per starter is 11 kBq  $^3\text{H}$  of 19 kBq  $^{85}\text{Kr}$  [3]. Recentere gegevens zijn niet bekend.

### 2.2.5 Luminescentie (GTLS)

Een *gaseous tritium light source* (GTLS) bestaat uit een glazen buisje waarvan de binnenkant met luminescerend materiaal is bekleed en dat met tritium tot activiteiten tussen 1,7 en 7,4 GBq is gevuld [10]. Het STRAVE-rapport meldt een range van 7 tot 15 GBq. In de berekeningen in dit rapport is uitgegaan van 10 GBq per product.

### 2.2.6 Keramiek, mineralen en sieraden

Keramische producten, zoals bakstenen, dakpannen, vloer- en wandtegels bevatten van nature voorkomende radionucliden uit de uranium- en thorium-reeksen. Uraniumzouten worden ook bewust toegevoegd voor ondermeer het kleuren van keramiek [10, 11]. Zirkoon ( $\text{ZrSiO}_4$ ), een mineraal dat van nature kleine hoeveelheden uranium- en thoriumoxiden bevat, wordt aan de buitenste glazuurlaag van tegels toegevoegd. De gegevens over de activiteitsconcentraties in dergelijk glazuur zijn schaars. O'Brien *et al.* [12] melden dat deze glazuurlaag 3 kBq.kg<sup>-1</sup>  $^{226}\text{Ra}$  bevat en dat de activiteit per tegel 100 à 200 Bq bedraagt. Een pakket van 1300 tegels, dat voor het betegelen van één badkamer nodig is, heeft dus een totale  $^{226}\text{Ra}$ -activiteit van 0,1 à 0,3 MBq.

Overigens moet worden opgemerkt dat niet alle keramische producten als consumentenproducten moeten worden beschouwd. Deze producten zijn namelijk ook onderwerp van aparte beleidsterreinen, zoals het radonbeleid en het beleid gericht op emissies door de procesindustrie. In de uitwerking van het radonbeleid in een normvoorschrift voor de stralingsprestatienorm (SPN) van een woning zullen bijvoorbeeld vloer- en wandtegels in de woonkamer en keuken zeker niet worden beschouwd, aangezien deze niet tot de (bouw)vergunningsplichtige bouwdelen behoren. Tegels in de badkamer en het toilet kunnen wel onderdeel gaan uitmaken van de SPN wanneer de tegels - zoals vaak het geval is - zorgdragen voor de vereiste waterwerendheid van de wand- en vloerconstructies. [13].

Volgens het STRAVE-rapport [3] bevat keramiek, veelal emaille, dat wordt toegepast in sieraden  $400 \text{ Bq.g}^{-1} {}^{238}\text{U}$  [9]. Met deze gegevens zijn berekeningen uitgevoerd, ervan uitgaande dat alle radionucliden uit de  ${}^{238}\text{U}$ -reeks aanwezig zijn, en dat het keramische deel van het sieraad 0,5 g weegt.

Voor andere keramische producten, zoals sanitair, huishoudelijk aardewerk en porselein ontbreken de nodige gegevens om een zinvolle berekening van de dosis in de diverse situaties te kunnen uitvoeren.

Mineralen bevatten net als keramiek van nature voorkomende radionucliden. De diversiteit aan mineralen is groot en gegevens over activiteiten in de diverse mineralen en ook over realistische samenstellingen van mineralenverzamelingen in winkels, musea en bij particulieren ontbreken. Omdat hiervoor minimaal een uitgebreid literatuuronderzoek, en eigenlijk ook een onderzoek naar de handel in en het verzamelen van mineralen in Nederland moet worden uitgevoerd, zijn in het huidige onderzoek geen berekeningen uitgevoerd. Binnen het onderzoek beschreven in dit rapport was geen ruimte voor een dergelijk (literatuur)onderzoek.

Het STRAVE-rapport meldde reeds dat het bekend is dat edelstenen soms met neutronen worden bestraald om de kwaliteit te verhogen. Hierbij kunnen langlevende radioactieve stoffen worden gevormd. Informatie over aantallen en activiteitsconcentraties waren toen niet beschikbaar [3]. Het jaarverslag van IRI over 1991 [14] maakt melding van onderzoek en toepassing in de Delftse onderzoeksreactor. De bestraling van topaas is in april 1996 stopgezet [15].

## 2.2.7 Lasstaven

Wolfram-las-elektrodes, ook wel TIG<sup>1</sup>-laselektrodes genoemd, worden voorzien van thoriumoxide om een snelle ontsteking mogelijk te maken. Bovendien bewerkstelligt thoriumoxide een grotere boogstabiliteit en creëert het minder las-metaal onzuiverheden. De elektrodes zijn in de handel verkrijgbaar met 1 tot 4 gewichtsprocent (%wt) thoriumoxide. Een lasstaaf met 1 %wt thorium bevat ongeveer  $36 \text{ kBq.kg}^{-1}$  van het moedernuclide  ${}^{232}\text{Th}$ . Bij een gewicht van 15 gram per staaf is dat ongeveer  $0,5 \text{ kBq } {}^{232}\text{Th}$ .

---

<sup>1</sup> Tungsten Inert Gas



### 2.2.8 Cameralenzen en oculairs

Cameralenzen en oculairs worden hier samen behandeld, aangezien in beide gevallen thorium aanwezig kan zijn. In cameralenzen wordt thorium toegevoegd om de brekingsindex te vergroten.  $^{232}\text{Th}$  is het meest abundante isotoop van natuurlijk thorium. De hoeveelheden  $^{232}\text{Th}$  in de lenzen variëren sterk. Van de radioactieve samenstelling van een cameralens worden concentraties opgegeven variërend van  $<0,5 \text{ Bq.g}^{-1} \text{ }^{232}\text{Th}$  [10] tot  $200 \text{ Bq.g}^{-1} \text{ }^{232}\text{Th}$  [16]. Het aantal cameralenzen en oculairs waarbij een thoriumconcentratie aanwezig is, is niet bekend.

### 2.2.9 Uurwerken

Uurwerken worden voorzien van  $^{147}\text{Pm}$  en  $^3\text{H}$  om een aanduiding te geven bij weinig licht. De ioniserende straling die voornamelijk uit bèta's bestaat, wordt door een scintillator in zichtbaar licht geconverteerd. De gemelde hoeveelheden activiteit variëren van 40 tot 370 MBq [5, 7, 11, 17, 18] voor  $^3\text{H}$  en van 2 tot 8 MBq voor  $^{147}\text{Pm}$  [11]. In regelingen in het kader van de Kernenergiewet staat dat de totale activiteit van  $^3\text{H}$  en  $^{147}\text{Pm}$  in horloges niet hoger mag zijn dan respectievelijk 280 en 5,6 MBq.

Sinds het begin van de jaren negentig zijn in ieder geval twee horlogeproducenten overgegaan op luminescerend materiaal waarin geen radioactieve stoffen zijn verwerkt (zie ook de discussie in paragraaf 4.9). Het is echter niet bekend hoeveel horloges waarin nog wel radioactieve stoffen zijn verwerkt, nu nog in Nederland worden verkocht.

### 2.2.10 Elektronica

De radioactiviteit die wordt toegevoegd aan vooral gasontladingsbuizen zorgt voor ionisatie van het gas met de bedoeling om snelheid en betrouwbaarheid van de buizen te verbeteren. De cijfers over aantallen en activiteitsconcentratie in cijferbuizen (maximaal  $400 \text{ kBq } ^3\text{H}$  per product, totaal 40 GBq in Nederland), gasdiodes ( $10 - 1500 \text{ kBq } ^3\text{H}$  per product, totaal 40 GBq in Nederland) en elektronenbuizen ( $6 - 26 \text{ kBq } ^{60}\text{Co}$  per product, totaal 7 MBq) die in het STRAVE-rapport zijn vermeld, zijn volgens de oorspronkelijke referentie [11] afkomstig uit een in 1981 uitgevoerde inventarisatie. Er zijn voor de Nederlandse situatie geen recente gegevens over de toename of afname van de aantallen in gebruik zijnde cijferbuizen, gasdiodes en elektronenbuizen. Hoewel de hoeveelheid toegepaste elektronica in de afgelopen 20 jaar enorm is toegenomen is het maar de vraag of daarin nog veel gasontladingsbuizen worden toegepast.

### 2.2.11 Overslagbeveiligingen

Overslagbeveiligingen worden toegepast in hoogspanningsleidingen, zoals de bovenleidingen van spoorwegen. Om de ionisatie van lucht te bevorderen kan hieraan radioactiviteit worden toegevoegd.

Het STRAVE-rapport vermeldt in totaal 40.000 overslagbeveiligingen met  $110 - 180 \text{ kBq } ^{147}\text{Pm}$  per product en een totale activiteit van 6 GBq. Recentere literatuur maakt melding van vergelijkbare activiteiten per product:  $100 - 200 \text{ kBq } ^{147}\text{Pm}$  [19].

## 2.3 Toetsing aan *exemption levels*

In de EU-richtlijn [1] zijn *exemption levels* (vrijstellingswaarden) vastgesteld voor handelingen ‘die een risico met zich meebrengen ten gevolge van ioniserende straling afkomstig van hetzij een kunstmatige stralingsbron, hetzij een natuurlijke stralingsbron ingeval de natuurlijke radionucliden worden of zijn bewerkt wegens hun radioactieve, splijt- of kweekeigenschappen’.

Per radionuclide zijn er twee *exemption levels*: één voor de activiteitsconcentratie en één voor de totale activiteit. Er is aangenomen dat het laatste betrekking heeft op de totale activiteit *per product*. Voor de meeste van de beschouwde producten is de activiteitsconcentratie niet bekend en kan er niet aan het bijbehorende *exemption level* worden getoetst. De toetsing is daarom slechts gedeeltelijk uitgevoerd.

Tabel 1 geeft het resultaat van de toetsing. Een product is ingedeeld in de categorie ‘overschrijding’ als minstens één van de *exemption levels* wordt overschreden. Voor sommige producten worden in de literatuur verschillende activiteiten per product gemeld. In dergelijke gevallen is bij de toetsing altijd uitgegaan van de hoogst gemelde waarde. De categorie ‘overschrijding’ moet dus worden beschouwd als ‘mogelijk boven *exemption level*’. Zie ook de discussies in de betreffende paragrafen in hoofdstuk 4.

*Tabel 1 Indeling van de beschouwde consumentenproducten naar overschrijding van exemption levels voor de activiteit per product en de activiteitsconcentratie volgens de EU-richtlijn [1].*

product	radionuclide	<i>exemption level</i> [Bq]	<i>exemption level</i> [Bq/g]	activiteit per product <sup>1)</sup> [Bq]	activiteits- concentratie <sup>1)</sup> [Bq/g]
<b>OVERSCHRIJDING</b>					
gloeikousjes	<sup>232</sup> Th <sup>3)</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>0</sup>	1,8.10 <sup>3</sup>	
rookmelders	<sup>241</sup> Am	10 <sup>4</sup>	10 <sup>0</sup>	3,7.10 <sup>4</sup>	
antistatische middelen	<sup>241</sup> Am	10 <sup>4</sup>	10 <sup>0</sup>	1,0.10 <sup>6</sup>	
antistatische middelen	<sup>210</sup> Po	10 <sup>4</sup>	10 <sup>1</sup>	1,8.10 <sup>7</sup>	
TL-starters	<sup>85</sup> Kr	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	1,9.10 <sup>4</sup>	
luminescentie (GTLS)	<sup>3</sup> H	10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup>	1,0.10 <sup>10</sup>	
keramische tegels <sup>2)</sup>	<sup>226</sup> Ra <sup>3)</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>1</sup>	2,1.10 <sup>5</sup>	
keramiek voor sieraden	<sup>238</sup> U <sup>3)</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>0</sup>		4.10 <sup>2</sup>
lasstaven	<sup>232</sup> Th <sup>3)</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>0</sup>	1,0.10 <sup>3</sup>	7.10 <sup>1</sup>
cameralenzen	<sup>232</sup> Th <sup>3)</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>0</sup>		2.10 <sup>2</sup>
<b>GEEN OVERSCHRIJDING</b>					
rookmelders	<sup>226</sup> Ra <sup>3)</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>1</sup>	3,7.10 <sup>3</sup>	
TL-starters	<sup>3</sup> H	10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup>	1,1.10 <sup>4</sup>	
uurwerken	<sup>3</sup> H	10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup>	3,7.10 <sup>8</sup>	
uurwerken	<sup>147</sup> Pm	10 <sup>7</sup>	10 <sup>4</sup>	8,0.10 <sup>6</sup>	
elektronica	<sup>60</sup> Co	10 <sup>5</sup>	10 <sup>1</sup>	2,6.10 <sup>4</sup>	
elektronica	<sup>3</sup> H	10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup>	1,5.10 <sup>6</sup>	
overslagbeveiligingen	<sup>147</sup> Pm	10 <sup>7</sup>	10 <sup>4</sup>	1,8.10 <sup>5</sup>	

<sup>1)</sup> hoogst gemelde waarde

<sup>2)</sup> toetsing uitgevoerd voor 1300 tegels, die voor het betegelen van één badkamer nodig zijn

<sup>3)</sup> activiteit per product en activiteitsconcentratie gelden voor het moedernuclide; de reeks van dochternucliden is in de *exemption levels* verdisconteerd

### 3 Methode van dosisschatting

Met ‘de dosis’ wordt telkens, tenzij expliciet anders vermeld, de effectieve dosis bedoeld. Dit hoofdstuk bevat de meer algemene aannamen die in de berekeningen zijn gedaan. De aannamen die voor een specifiek type consumentenproduct zijn gedaan, zijn in hoofdstuk 4 nader beschreven (zie ook bijlage 2).

#### 3.1 Opslag- en handelsfase

In de opslag- en handelsfase zijn de individuele en collectieve dosis berekend voor leden van de bevolking die de winkel, bouwmarkt e.d. bezoeken en voor het personeel in de winkel, bouwmarkt, e.d. waar de producten liggen opgeslagen. Voor een mogelijke brand in de opslagplaats is alleen de individuele dosis voor leden van de bevolking nabij de brand berekend. De collectieve dosis als gevolg van een specifieke brand in een opslag is namelijk sterk afhankelijk van de ligging van woningen ten opzichte van die opslagplaats. Bovendien zijn er tijdens een brand diverse maatregelen mogelijk om de dosis sterk te reduceren.

Er is een werkwijze gehanteerd die voor alle onderzochte consumentenproducten nagenoeg gelijk is. Het individu wordt gedurende 10 minuten (aarzeling bij aanschaf van een product) blootgesteld aan 1000 stuks van het betreffende product op 1 m afstand ervan. Er is dus sprake van een conservatieve schatting. Bij de bepaling van de collectieve dosis wordt van dezelfde aannamen uitgegaan, behalve dat de verblijftijd slechts 1 minuut bedraagt, omdat de meeste personen het product alleen passeren. De grootte van de groep wordt geschat op 2 miljoen mensen per jaar die de winkel, bouwmarkt etc. bezoeken.

Voor blootstelling van personeel in de opslag- en handelsfase is uitgegaan van een werktijd van 2000 uur per jaar; daarbij is aangenomen dat de gemiddelde afstand ongeveer 10 m bedraagt. Bij de blootstelling van een caissière wordt rekening gehouden met een aantal van 10 artikelen, een gemiddelde afstand van 1 m en een blootstellingstijd van 2000 uur. Wat betreft de dosisschatting kan de caissière daarom beschouwd worden binnen het genoemde scenario voor het personeel.

Voor brand in een opslag is een *real time* benadering gevolgd, waarbij alleen de blootstellingsweg inhalatie in rekening is gebracht. De tijdsgeïntegreerde luchtconcentratie voor brand in een opslag is overgenomen uit NRPB-publicatie R182 [20]. Daarbij is uitgegaan van meteoklasse D, lozingshoogte 10 m en warmteinhoud 1 MW, hetgeen overeenkomt met een effectieve lozingshoogte van ongeveer 30 m. De tijdsgeïntegreerde luchtconcentratie is bepaald ter plekke van het geografisch maximum per Bq geloozd voor een lozingsduur van 30 min. Het geografisch maximum bevindt zich op de pluimas op 300 à 400 m afstand van de brandhaard. Bovendien is aangenomen dat alle activiteit vrijkomt. Tenslotte is in de dosisschatting de kans op voorkomen van de brand buiten beschouwing gelaten (kans = 1).

#### 3.2 Gebruiksfase

In de gebruiksfase zijn de individuele en collectieve dosis voor leden van de bevolking berekend. Daarbij zijn aannamen gedaan voor de afstand tussen het product en de persoon die de dosis ontvangt en voor de totale verblijftijd per jaar. Voor het berekenen van de collectieve dosis is de individuele dosis vermenigvuldigd met het aantal producten dat in gebruik is of het aantal personen dat wordt blootgesteld, naar gelang van toepassing is. De gebruikte waarden voor dit aantal zijn opgenomen in bijlage 2.

### 3.3 Afvalfase

Voor verbranding tijdens de afvalfase is een probabilistisch benadering gevolgd, waarbij alleen de blootstellingsweg inhalatie in rekening is gebracht. De dispersiecoëfficiënt voor verbranding tijdens de afvalfase geldt voor de locatie waar de jaargemiddelde luchtconcentratie maximaal wordt geacht. De dispersiecoëfficiënt is berekend met het luchtverspreidingsmodel OPS [21]. Daarbij is uitgegaan van een lozingshoogte van 30 m en een warmteinhoud van 1 MW. Deze methode is vergelijkbaar met elders toegepaste methoden [22, 23]. Echter, nu wordt voor de vluchtige fractie, uitgaande van een typische afvalverbrandingsinstallatie [24], 1 promille in plaats van 1 procent aangenomen. Voor het edelgas  $^{85}\text{Kr}$  is een vluchtige fractie van 1 aangenomen.

De Jong [11] gaat ervan uit dat 40% van het huisvuil wordt verbrand en het restant wordt gestort. In de berekeningen in het voorliggende rapport is ervan uitgegaan dat alle artikelen in de afvalfase worden verbrand. Bij de gloeikousjes is aangenomen dat alles op de stortplaats terecht komt, hoewel dit niet realistisch wordt geacht.

Voor de afvalfase is de collectieve dosis niet voor elk consumentenproduct berekend. Uit berekeningen met PC-CREAM [25], en bij de berekening van lozingscriteria voor lozingen in lucht door de procesindustrie [26] is namelijk gebleken dat voor de lozingssituatie die hier is aangenomen, de overschrijding van het individuele-dosis criterium van  $10 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  gepaard gaat met een overschrijding van het collectieve-dosis criterium van  $1 \text{ mensSv.a}^{-1}$  en omgekeerd. Slechts voor tritium-houdende producten wordt een schatting gemaakt van de collectieve dosis op basis van een specifieke activiteitsmodel gepubliceerd door UNSCEAR [10, 27] dat een dosisbijdrage schat van  $11 \text{ mensSv}$  per PBq tritium geloosd in lucht.

### 3.4 Algemene en aanvullende gegevens

De gammadosisconstanten zijn overgenomen uit het Handboek radionucliden [28]. De gammadosisconstante van  $^{210}\text{Po}$  is daarin niet beschreven en is overgenomen uit een recente publicatie [29]. Omdat in het Handboek de nodige gegevens ontbreken, zijn er voor bèta-straling uitzendende radionucliden aanvullende waarden berekend voor de uitgezonden remstraling, waarbij is aangenomen dat alle bèta's volledig worden afgeremd. Met behulp van de EGS4-code [30] is de gammadosisconstante ten gevolge van de remstralingsfotonen en de gammalijn (121 keV met een waarschijnlijkheid van  $3 \cdot 10^{-5}$ ) van  $^{147}\text{Pm}$  bepaald op  $7 \cdot 10^{-6} \mu\text{Sv.h}^{-1}$  per 1 MBq op 1 m afstand.

In de berekeningen waarvan de resultaten in de bijlagen zijn opgenomen, is afscherming door materialen tussen het product en de persoon die de straling ontvangt en zelfabsorptie in bijvoorbeeld een gestapelde hoeveelheid producten in opslag niet meegenomen. Indien afscherming of zelfabsorptie niet kan worden verwaarloosd, is dit expliciet bij de bespreking van de resultaten in hoofdstuk 4 vermeld.

In het geval van tritium is eveneens een scenario voor lekken doorgerekend. Aangezien waterstof vluchtig is, kan het gemakkelijk lekken uit de houder (horloge of TL-starter). Uitgaande van de totale tritium activiteit, het activiteitslek, het luchtverversingsvoud, de grootte van de ruimte en de verblijftijd in de ruimte is een dosisschatting gemaakt. Voor de details wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

De dosisconversiecoëfficiënten (DCC's) voor inhalatie die bij het berekenen van de gevolgen van een brand in een opslag en verbranding tijdens de afvalfase zijn toegepast, gelden voor leden van de bevolking en zijn afkomstig uit de EU-richtlijn [1]. Deze richtlijn geeft voor de meeste radionucliden drie waarden van de DCC voor inhalatie, namelijk voor elk van de longabsorptieklassen F, M en S (*fast*, *medium* en *slow*). Omdat in het onderzoek van 'realistische, conservatieve aannamen' is uitgegaan, is in principe voor elk van de radionucliden de hoogste waarde van de DCC gekozen. In tabel E van de richtlijn wordt per type chemische verbinding aanbevolen welke klasse moet worden toegepast. De gegevens in deze tabel zijn gebaseerd op aanbevelingen van ICRP [31, 32], die in het kader van het onderhavige onderzoek nader zijn bestudeerd. In het algemeen beveelt ICRP aan om bij die radionucliden waarvoor geen verdere informatie aanwezig is, de DCC behorende bij absorptieklasse M toe te passen.

**Americium:** De meeste onderzoeken wijzen in de richting van klasse M. Echter, omdat volgens de literatuur die in ICRP-71 [31] wordt besproken, ook klasse F voor onder andere AmO<sub>2</sub> kan voorkomen, is in de realistische, conservatieve aanpak voor klasse F gekozen.

**Polonium:** Oxides, hydroxides en nitraten van polonium krijgen volgens tabel E van de richtlijn defaultwaarde M. Voor andere verbindingen wordt F aanbevolen. In ICRP-71 wordt een onderzoek beschreven waarin <sup>210</sup>Po gebonden aan aerosolen wordt behandeld. Dat onderzoek geeft aan dat polonium zich volgens de klassen M en S gedraagt. Omdat de hoogste waarde voor de DCC voor klasse S geldt, is deze klasse gebruikt.

**Cobalt:** Klasse S, dat voor oxiden, hydroxiden, halogeniden en nitraten wordt aanbevolen, heeft de hoogste DCC. Deze is gebruikt.

**Promethium:** De DCC van dochternuclide <sup>147</sup>Sm is gebruikt (alleen klasse M is beschikbaar).

Voor de reeksen van Th-232, U-238 en Ra-226 zijn de DCC's als volgt bepaald. Er is een selectie gemaakt van de relevante dochternucliden [28]. Vervolgens is van elk van de radionucliden de hoogste waarde voor de DCC gekozen (zie Tabel 2), met uitzondering van de thorium-isotopen. In het geval van afwezigheid van verdere informatie wordt voor thorium door ICRP klasse S aanbevolen. Echter in ICRP-71 [31] wordt onderzoek aangehaald waaruit blijkt dat in het geval van ThO<sub>2</sub> klassen S en M kunnen worden gebruikt. Om realistisch conservatief te blijven is klasse M gebruikt. Verder zij opgemerkt dat de precieze keuze bij de elementen actinium en bismut geen invloed op de berekende DCC's heeft.

**Tabel 2** De berekende dosisconversiecoëfficiënten (DCC's) voor inhalatie in Sv/Bq voor de <sup>232</sup>Th- en <sup>238</sup>U-reeksen (zie tekst).

<sup>232</sup> Th-reeks		<sup>226</sup> Ra-reeks		<sup>238</sup> U-reeks (incl. <sup>226</sup> Ra-reeks)	
<sup>232</sup> Th	4,5·10 <sup>-5</sup>	<sup>226</sup> Ra	9,5·10 <sup>-6</sup>	<sup>238</sup> U	8,0·10 <sup>-6</sup>
<sup>228</sup> Ra	1,6·10 <sup>-5</sup>	<sup>214</sup> Pb	1,5·10 <sup>-8</sup>	<sup>234</sup> Th	6,6·10 <sup>-9</sup>
<sup>228</sup> Ac	1,6·10 <sup>-8</sup>	<sup>214</sup> Bi	1,4·10 <sup>-8</sup>	<sup>234</sup> U	9,4·10 <sup>-6</sup>
<sup>228</sup> Th	3,2·10 <sup>-5</sup>	<sup>210</sup> Pb	5,6·10 <sup>-6</sup>	<sup>230</sup> Th	4,3·10 <sup>-5</sup>
<sup>224</sup> Ra	3,4·10 <sup>-6</sup>	<sup>210</sup> Bi	9,3·10 <sup>-8</sup>		
<sup>212</sup> Pb	1,9·10 <sup>-7</sup>	<sup>210</sup> Po	4,3·10 <sup>-6</sup>		
<sup>212</sup> Bi	3,1·10 <sup>-8</sup>				
totaal: 9,7·10 <sup>-5</sup>		totaal: 2,0·10 <sup>-5</sup>		totaal: 8,0·10 <sup>-5</sup>	

## 4 Resultaten en discussie

Tabel 3 geeft het overzicht van de met recente gegevens geschatte doses in de drie fasen. Deze wijken voor diverse consumentenproducten af van eerder gerapporteerde gegevens [3, 4]. De dosis blijkt in de meeste gevallen lager te zijn dan voorheen. Dat heeft vooral te maken met nieuwe gegevens omtrent gebruikte radionucliden in de consumentenproducten, maar ook met de berekeningsmethode met behulp van nieuwe gegevens. In de onderstaande toelichting op de dosisschattingen wordt slechts melding gemaakt van schattingen die de dosiscriteria overschrijden dan wel benaderen. De details van de dosisschattingen zijn te vinden in bijlage 2.

### 4.1 Gloeikousjes

#### *Opslag- en handelsfase*

Voor het consumentenproduct gloeikousjes wordt de individuele dosis tijdens de opslag- en handelsfase voor het personeel geschat op  $13 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ . De collectieve dosis voor het personeel ten gevolge van de opslagfase is geschat op  $0,04 \text{ mensSv} \cdot \text{a}^{-1}$ . Huyskens *et al.* melden  $0,1 \text{ mensSv} \cdot \text{a}^{-1}$  voor de collectieve dosis [6].

Uitgaande van het scenario zoals is beschreven in de methode van dosisschatting (hoofdstuk 3) wordt bij brand in een opslag een maximale individuele dosis van  $1,4 \mu\text{Sv}$  verwacht.

#### *Gebruiksfase*

Voor de gebruiksfase kan worden gesteld dat de in het STRAVE-rapport [3] vermelde data van 70 tot  $140 \text{ } 50 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$  zijn gebaseerd op het gebruik van gloeikousjes ouder dan 40 jaar. Dat lijkt geen realistische keuze. Gloeikousjes niet ouder dan 4 jaar veroorzaken een dosis die een factor twee lager is. Uit een tabel van Huyskens *et al.* [6] voor gloeikousjes niet ouder dan 4 jaar kan een middenwaarde van  $55 \mu\text{Sv}$  worden afgeleid. NRPB gaat uit van een gemiddelde individuele dosis van  $50 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$  voor een kamperende volwassene [33]. NCRP gaat uit van een maximale dosisschatting van  $40 \mu\text{Sv}$  voor een kampeerder [8]. Een recent rapport van het Bundesamt für Strahlenschutz [16] en een conferentiebijdrage [34] geven schattingen van de dosis op basis van metingen. Hierbij worden waarden genoemd van 30 tot  $400 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ . Hierbij wordt uitgegaan van het feit dat gloeikousjes worden toegepast in tuinhuisjes en kleine tenten zonder ventilatie. Vooralsnog is in Tabel 2 een waarde van  $50 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$  opgenomen [6, 8, 33]. De collectieve dosis wordt geschat op  $35 \text{ mensSv} \cdot \text{a}^{-1}$  op basis van  $7 \cdot 10^5$  gebruikers [3] van gloeikousjes die aanleiding geven tot een individuele dosis van gemiddeld  $50 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ .

#### *Afvalfase*

Voor de afvalfase is met behulp van de methode volgens KEMA [23] berekend dat de individuele dosis ten gevolge van het verblijf op en wonen naast een afvalstortplaats lager is dan  $1 \cdot 10^{-3} \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ , zie bijlage 2. Omdat het niet realistisch is om aan te nemen dat gloeikousjes worden gestort, is ervan uitgegaan dat de gloeikous bij verwisselen op de camping in de bodem verdwijnt, waarvoor door NCRP [8] een dosis van  $0,006 \mu\text{Sv}$  ten gevolge van gebruik van gloeikousjes tijdens een tweedaagse campingtrip is geschat.

## 4.2 Rookmelders

### *Opslag- en handelsfase*

De opslag van rookmelders met  $^{241}\text{Am}$  heeft een individuele dosis voor het personeel van  $13 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  tot gevolg. Hierbij is geen zelfabsorptie en verzwakking door lucht in rekening gebracht. Als 10 m afstand tussen personeel en product in rekening wordt gebracht met betrekking tot de verzwakking van gammastraling in lucht, dan is de individuele dosis  $6 \mu\text{Sv.a}^{-1}$ .

Opgeslagen rookmelders met  $^{226}\text{Ra}$  leiden tot een individuele dosis voor het personeel van  $19 \mu\text{Sv.a}^{-1}$ . Bij deze berekeningen is geen bronzelfabsorptie in rekening gebracht en geen afscherming door bijvoorbeeld magazijn-stellingen met andere producten die zich tussen het personeel en het product bevinden. Uitgaande van een gemiddelde van 10 cm beton tussen het  $^{226}\text{Ra}$ -houdend product en het personeel zakt de schatting van de individuele dosis tot  $3 \mu\text{Sv.a}^{-1}$ . Opgemerkt moet worden dat zonder vergunning niet meer dan 50 rookmelders tegelijkertijd mogen worden opgeslagen.

De maximale individuele dosisbijdrage tijdens een brand in een opslag wordt geschat op  $28 \mu\text{Sv}$ .

### *Gebruiksfase*

De in het STRAVE-rapport [3] genoemde getallen voor de individuele dosis in de gebruiksfase hebben een bovengrens van  $0,7 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  op basis van de veronderstelling van niet-gedereguleerde rookmelders met  $^{85}\text{Kr}$ . Tegenwoordig bevatten rookmelders meestal  $^{241}\text{Am}$ . Voor deze rookmelders wordt een individuele dosis geschat van  $0,9 \mu\text{Sv.a}^{-1}$ . Rookmelders met  $^{226}\text{Ra}$  geven een dosis van  $1,4 \mu\text{Sv.a}^{-1}$ . NRPB gaat uit van  $0,07 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  [33]. De collectieve dosis is geschat op  $0,7$  ( $^{241}\text{Am}$ ) en  $1,1$  ( $^{226}\text{Ra}$ ) mensSv.a $^{-1}$ , zie bijlage 2.

### *Afvalfase*

De afvalfase is gemodelleerd zoals in de methode is beschreven. Zowel voor de rookmelders gevuld met americium als met radium is de dosis niet hoger dan enkele nSv.a $^{-1}$ .

## 4.3 Antistatische middelen

### *Opslag- en handelsfase*

In de opslag- en handelsfase blijkt de individuele dosis als gevolg van antistatische middelen met  $^{241}\text{Am}$  voor leden van de bevolking  $3 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  te kunnen bedragen (zie bijlage 2). Voor het personeel wordt echter een waarde van  $340 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  per 1000 stuks berekend. Dit betekent dat bij een opslag van ongeveer 30 stuks of meer het individuele-dosis criterium van  $10 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  wordt overschreden. Het is niet bekend hoe groot een opslag van antistatische middelen in Nederland gemiddeld of maximaal is. Bovendien kan afscherming eigenlijk niet worden verwaarloosd (zie paragraaf 4.1.2 onder het kopje “Opslag- handelsfase” van  $^{241}\text{Am}$ -houdende rookmelders en paragraaf 4.3). De collectieve doses voor bevolking en het personeel worden geschat op respectievelijk  $0,6$  en  $1$  mensSv.a $^{-1}$ .

De individuele dosis als gevolg van brand in een opslag kan  $800 \mu\text{Sv}$  per 1000 stuks bedragen. Voor antistatische middelen met  $^{210}\text{Po}$  blijkt bij brand in een opslag een individuele dosis van ongeveer  $600 \mu\text{Sv}$  per 1000 stuks, op te kunnen treden, aannemende dat de producten compleet verbranden. Voor een minder conservatieve schatting zijn meer gegevens nodig over

het werkelijk vóórkomen van deze antistatische middelen in Nederland. Bovendien moet er dan rekening worden gehouden met de leeftijd van de producten omdat de halveringstijd van  $^{210}\text{Po}$  138 dagen bedraagt.

#### *Gebruiksfase*

Voor het schatten van de dosis in de gebruiksfase van antistatische middelen heeft UNSCEAR [10] begin jaren tachtig een waarde van  $0,01 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$  geschat. Omdat de nodige gegevens voor de huidige Nederlandse situatie, zoals de vorm van de middelen en de omstandigheden en duur van de blootstelling, ontbreken, wordt hier geen schatting van de dosis in de gebruiksfase gegeven.

#### *Afvalfase*

De individuele dosis tijdens de afvalfase wordt geschat op  $0,10 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$  voor  $^{241}\text{Am}$ - en  $0,08 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$  voor  $^{210}\text{Po}$ -houdende antistatische middelen.

## 4.4 Starters in TL-buizen

#### *Opslag- en handelsfase*

Tijdens de opslag- en handelsfase wordt voor het personeel een individuele dosis van  $0,14 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$  door  $^{85}\text{Kr}$  houdende starters geschat. De andere doses zijn ver beneden 1% van de dosiscriteria geschat. Voor tritium-houdende starters is door externe straling geen dosis te verwachten. Ook uitgaande van tritium-lekkende starters is geen significante dosisbijdrage te verwachten.

#### *Gebruiksfase*

In de gebruiksfase wordt voor starters met  $^{85}\text{Kr}$  een waarde geschat van  $0,004 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ , zie bijlagen. De collectieve dosis wordt geschat op  $0,007 \text{ mensSv} \cdot \text{a}^{-1}$ . In de bijlagen en Tabel 2 is de dosis ten gevolge van niet-tritium-lekkende starters op 0 geschat, omdat het een bètastraler is. Uitgaande van lekkende starters is geen significante dosis te verwachten ( $0,01 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ ). Daarbij is aangenomen dat in een ruimte van  $30 \text{ m}^3$  met een lucht-verversingsvoud van  $1 \text{ h}^{-1}$  vier starters worden gebruikt met een leksnelheid<sup>2</sup> van  $2 \text{ Bq} \cdot \text{d}^{-1}$ , een verblijftijd van  $8 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$  en  $250 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ , een vermenigvuldiging met twee om rekening te houden met huidabsorptie [35] en een inhalatiedebiet van  $0,95 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

#### *Afvalfase*

In de afvalfase is ervan uitgegaan dat jaarlijks twee miljoen starters<sup>3</sup>, met gelijke bijdragen van  $^{85}\text{Kr}$  en  $^3\text{H}$ , worden verbrand, hetgeen een conservatieve aanname is. Aangenomen is dat 100% van beide radionucliden in de lucht terecht komt, omdat ze nauwelijks kunnen worden afgevangen. De individuele en collectieve doses blijven beneden 1% van de dosiscriteria.

<sup>2</sup> Bij deze leksnelheid is de totale activiteit van de  $^3\text{H}$ -bron na 5 jaar ten gevolge van het lek tot 70% van de oorspronkelijke activiteit afgenomen. Als de fysische halveringstijd van tritium wordt meegerekend dan is na 5 jaar slechts de helft van de oorspronkelijke activiteit aanwezig.

<sup>3</sup> Het aantal van twee miljoen starters is zeer groot. In dat geval zouden alle in Nederland aanwezige starters jaarlijks worden vervangen en verbrand.



## 4.5 Luminescentie (GTLS)

### *Opslag- en handelsfase*

Als tijdens de opslag- en handelsfase wordt uitgegaan van niet-lekkende *gaseous tritium light sources* dan wordt de dosis geschat op 0, omdat tritium een laag energetische bètastraler is.

Bij brand in een opslag is een individuele dosis van 21  $\mu\text{Sv}$  te verwachten.

### *Gebruiksfase*

Aangezien tritiumhoudende instrumenten kunnen lekken moet daarmee rekening worden gehouden. Er is een schatting gemaakt van  $8 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  van de individuele dosis. Hierbij is een grote totale hoeveelheid activiteit aangenomen, een activiteitslek van  $2 \text{ kBq.d}^{-1}$ , zoals geschat door NRPB [35], een luchtverversingsvoud van  $1 \text{ h}^{-1}$ , een ruimtegrootte van  $30 \text{ m}^3$ , een inhalatiedebiet van  $0,95 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ , een dosisconversiecoëfficiënt voor inhalatie van  $2,6.10^{-10} \text{ Sv.Bq}^{-1}$ , een vermenigvuldiging met twee om rekening te houden met huidabsorptie en een verblijftijd van 16 uur per dag en 365 dagen per jaar. NRPB [35] schat de individuele dosis op  $0,9 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  voor een kind, waarbij men is uitgegaan van een factor 10 (!) minder restrictieve DCC voor inhalatie en een iets andere aanname voor de verblijftijd. In Tabel 2 komen de tritiumlekkende instrumenten niet voor, echter de schatting van  $8 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  zou kunnen worden toegepast.

### *Afvalfase*

De schatting van de individuele dosis in de afvalfase levert  $1,4 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  ten gevolge van alle producten die aanwezig zijn volgens NRPB [35]. Het is daarmee een conservatieve schatting van de dosis. De collectieve dosis wordt geschat op  $0,6 \text{ mensSv.a}^{-1}$  op basis van de methodiek voor de dosisschatting van tritiumlozingen vermeld in hoofdstuk 3.

## 4.6 Keramiek en sieraden

### *Opslag- en handelsfase*

In de opslag- en handelsfase wordt de individuele dosis voor het personeel geschat op ongeveer  $1 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  per pakket van 1300 tegels, hetgeen voldoende is voor het betegelen van één badkamer. Zelfabsorptie in het pakket is niet meegenomen (zie bijlage 2). Echter, de zelfabsorptie blijkt zeker niet verwaarloosbaar te zijn. Een snelle berekening voor de extreme situatie waarin alle activiteit in een doos tegels wordt geconcentreerd op 7,5 cm diepte levert op dat nog maar 1 % van de gammastraling de doos verlaat. Met andere woorden, het pakket van 1300 tegels zal een dosis tussen 0,01 en  $1 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  veroorzaken. Het verkleinen van de onzekerheid in deze schatting vergt een uitgebreidere berekening met bijvoorbeeld het pakket MARMER. Daarom wordt hier geconcludeerd dat een overschrijding van een individuele dosis van  $10 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  mogelijk wordt geacht bij aanwezigheid van 10 tot 1000 pakketten.

### *Gebruiksfase*

De individuele dosis bij verblijf van één jaar in een ruimte van 3 bij 3 bij 3 m met keramische tegels met een dunne laag  $^{226}\text{Ra}$ -houdend glazuur wordt door O'Brien *et al.* [12] geschat op  $370 \mu\text{Sv.a}^{-1}$ . Zij merken echter op dat voor de meeste mensen de verblijftijd in badkamers en toiletten 2 à 3 % van een jaar bedraagt, dus dan zou de dosis 7,5 à  $10 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  bedragen. De methode die in het voorliggende rapport voor de andere consumentenproducten is toegepast, levert een dosis van dezelfde orde van grootte, namelijk  $4 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  (zie bijlage 2). Als het materiaal ook in andere verblijfsruimtes, zoals keukens, bijkeukens en woonkamers aanwezig

is, dan is overschrijding van het individuele-dosiscriterium van  $10 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  in de gebruiksfase niet ondenkbaar. Daarnaast geldt voor de tegelzetter die dag in dag uit met de bewuste tegel werkt een veel grotere verblijftijd: bij 8 uur per dag is een individuele dosis van  $100 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  mogelijk, zeker omdat de afstand tussen tegel en tegelzetter gemiddeld minder is dan 1,5 m. Ook personeel in openbare toiletgelegenheden waarin de tegel is toegepast, ontvangen mogelijk een vergelijkbare dosis. Een nader onderzoek naar de gebruiksfase van geglazuurde tegels wordt daarom aanbevolen.

De collectieve dosis in de gebruiksfase, die is berekend voor de fictieve situatie dat 15 miljoen Nederlanders een badkamer met deze bewuste tegel zouden hebben, bedraagt ongeveer  $60 \text{ mensSv.a}^{-1}$ . Overschrijding van de collectieve dosis van  $1 \text{ mensSv.a}^{-1}$  is dus te verwachten als ongeveer 240.000 Nederlanders gebruik maken van een badkamer met de bewuste tegel, ofwel in totaal ongeveer 100.000 badkamers als wordt aangenomen dat gemiddeld 2,4 Nederlanders gebruik maken van dezelfde badkamer.

#### *Afvalfase*

In de afvalfase van keramische tegels is het niet te verwachten dat de activiteit in de lucht terecht komt. Berekening van de mogelijke dosis op een stortplaats is mede gezien de niet te verwaarlozen zelfabsorptie hier niet uitgevoerd.

Voor sieraden waarin keramiek met  $^{238}\text{U}$  is verwerkt wordt de individuele dosis in de opslag- en handelsfase (per 1000 stuks) en in de gebruiksfase geschat op 1 à  $2 \mu\text{Sv.a}^{-1}$ . Daarbij is aangenomen dat de gehele U-reeks in seculair evenwicht is en dat de blootgestelde persoon het sieraad continu draagt.

## **4.7 Lasstaven**

#### *Opslag- en handelsfase*

Voor de opslag- en handelsfase is uitgegaan van 2%  $\text{ThO}_2$  in de wolfraamlasstaven [36, 37]. Voor de individuele dosis van het personeel wordt een waarde geschat van  $7 \mu\text{Sv.a}^{-1}$ . Deze waarde geldt zonder bronzelfabsorptie, die eigenlijk niet kan worden verwaarloosd. Uitgaande van een lasstaaf met een doorsnee van 4 mm is een schatting gemaakt van een transmissiecoëfficiënt door zelfabsorptie. Uitgaande van de gamma's uitgezonden door de dochternucliden  $^{228}\text{Ac}$  en  $^{208}\text{Tl}$  is te bepalen dat ongeveer 15% wordt afgeschermd door de helft van een lasstaaf (2 mm W). Als meer lasstaven bij elkaar liggen is duidelijk dat het stralingsniveau per lasstaaf sterk daalt. Bij metingen bij leveranciers werd vastgesteld dat de bronzelfabsorptie een rol speelt: bij 100 laselektrodes (met 2%  $^{232}\text{Th}$ ) werd een verhoging van het achtergrondniveau gemeten [37] die een factor 3,6 lager is dan zou worden berekend zonder de aanname van bronzelfabsorptie. De geschatte waarde van  $7 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  die verder zal worden gehanteerd moet dus als een conservatieve schatting worden gezien.

Bij brand in een opslag wordt de maximale individuele dosisbijdrage geschat op  $0,8 \mu\text{Sv}$ .

#### *Gebruiksfase*

Tijdens de gebruiksfase van de lasstaven wordt de grootste bijdrage aan de dosis verwacht tijdens het bijslijpen van de lasstaaf [37, 38]. Reichelt [16] meldt juist dat lassen een grotere dosis tot gevolg heeft dan bijslijpen. Lehmann *et al.* [39] en Reichelt [40] melden een dosis voor de individuele TIG-lasser van 5 à  $20 \text{ mSv.a}^{-1}$ ! Ludwig en Seitz [41] melden een dosis van  $0,8 \mu\text{Sv}$  per slijpactiviteit. Het STRAVE-rapport [3] meldt een waarde op basis van een

Amerikaans onderzoek:  $160 \mu\text{Sv.a}^{-1}$ . Met het scenario van 200 bij te slijpen elektrodes per jaar [37], de hoogst gemeten waarde van  $0,07 \text{ Bq.m}^3$  tijdens 6 minuten slijpen van 4 elektrodes in [38] en een inhalatiedebiet van  $0,95 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$  kan een dosis van  $60 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  worden geschat. Op basis van het scenario uit [37] en de waarde volgens Ludwig en Seitz [41] wordt een dosis van  $160 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  (exclusief het lassen) bepaald, hetgeen met de waarde in het STRAVE-rapport overeenkomt.

De collectieve dosis is moeilijk te schatten, aangezien niet bekend is hoeveel er in de Nederlandse thuissituatie met thoriumhoudende laselektroden wordt gelast. Voor de individuele dosis worden in de literatuur waarden gevonden tot enkele  $\text{mSv.a}^{-1}$  (!). De waarde van  $3 \text{ mensSv.a}^{-1}$  die gemeld wordt door in het STRAVE-rapport [3] wordt aangehouden.

#### *Afvalfase*

Zelfs op basis van de pessimistische schatting voor de afvalfase dat alle jaarlijks gebruikte lasstaven in een oven worden verbrand is de individuele dosis lager dan  $1 \text{ nSv.a}^{-1}$ .

## 4.8 Cameralenzen en oculairs<sup>4</sup>

#### *Opslag- en handelsfase*

Ten aanzien van de opslag- en handelsfase is een conservatieve schatting gemaakt, uitgaande van de veronderstelling<sup>5</sup> dat de concentratie  $200 \text{ Bq.g}^{-1}$  is en een gewicht van 200 g voor een lens. Dan wordt met behulp van de aannamen dat de thoriumreeks in seculair evenwicht is (neem dan de gammadosisconstante van  $^{232}\text{Th}$ -sec van  $0,36 \mu\text{Sv.h}^{-1}$  per MBq op 1 m), 1000 lenzen in een winkel, een afstand van 1 m en 10 minuten verblijftijd per jaar voor een lid van de bevolking een waarde bepaald van  $2 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  voor de individuele dosis. Ten aanzien van het personeel met een verblijftijd van 2000 uur en een afstand<sup>6</sup> van 5 m wordt een individuele dosis geschat van  $1200 \mu\text{Sv.a}^{-1}$ . Op basis van een hoogste meetwaarde zoals gemeld door Waligórski *et al.* in hun studie aan 80 cameralenzen [42], omgerekend  $20 \mu\text{Gy.h}^{-1}$  op 1 m afstand ten gevolge van één cameralens, wordt voor een lid van de bevolking (1000 lenzen, 10 minuten verblijftijd per jaar op 1 m) een dosis geschat van  $40 \mu\text{Sv.a}^{-1}$ . Met een verblijftijd voor het personeel van 2000 uur en een afstand van 5 m en 100 lenzen wordt zelfs een waarde geschat van  $18000 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  voor de individuele dosis. De collectieve doses voor leden van de bevolking wordt geschat op  $2 \text{ mensSv.a}^{-1}$  uitgaande van de bovenstaande schatting voor de individuele dosis. De collectieve dosis van het personeel wordt geschat op  $1,2 \text{ mensSv.a}^{-1}$ , uitgaande van 1000 medewerkers. Aan de opslag van oculairs is niet gerekend vanwege de grote onzekerheden in aantallen bij opslag en de concentratie thorium in glas.

De dosis als gevolg van een brand in een opslag is niet geschat vanwege de onzekerheden omtrent de verbrande fractie.

#### *Gebruiksfase*

Ten aanzien van de gebruiksfase van cameralenzen meldt het STRAVE-rapport gegevens die eigenlijk voor (oogheekundige) brillenglazen gelden. Aangezien er geen nieuwe gegevens

<sup>4</sup> In verband met grote onzekerheden over de blootstellingssituaties is de methode van dosisberekening die voor de andere consumentenproducten is toegepast, niet zondermeer op cameralenzen en oculairs van toepassing.

<sup>5</sup> Zoals vermeld in paragraaf 2.1.8 is de variatie van de thoriumconcentratie in lenzen groot.

<sup>6</sup> Er is een winkel in plaats van een bouwmarkt beschouwd.

zijn, worden  $4 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  voor de individuele dosis en  $13 \text{ mensSv.a}^{-1}$  voor de collectieve dosis overgenomen op basis van gegevens uit 1979 van de Verenigde Staten. Het huidige veelvuldige gebruik van contactlenzen in plaats van brillenglazen geeft aan dat in ieder geval de  $13 \text{ mensSv.a}^{-1}$  een behoorlijke conservatieve schatting voor de collectieve dosis is. Bovendien is de in de NCRP-schatting aangenomen correctiefactor van de ooglenzen van  $1.10^{-4}$  discutabel. Eigenlijk wordt de ooglenzen en huid sowieso apart beschouwd in de zin van aparte dosiscriteria (voor deterministische effecten), dit in tegenstelling tot het overgrote deel van het rapport waar de dosiscriteria voor ‘alle’ effecten gelden [43]. Echter, als de correctiefactor onder de loep wordt genomen wordt het volgende gevonden. De gewichtsfactor van de ooglenzen kan gekoppeld worden aan die van de huid van 0,01 [43]. Bij de bepaling van de effectieve dosis gaat het om de uniforme aanstraling van de huid met een oppervlak van  $1,8 \text{ m}^2$  [44]. Als er een gedeelte van de huid (in dit geval de ogen) wordt bestraald dan moet er een correctiefactor  $1.10^{-4}$  voor het oppervlak worden toegepast. In totaal zou een correctiefactor volgen van  $1.10^{-6}$ . Ofwel, de NCRP-schatting zou een factor 100 te hoog kunnen zijn.

#### *Afvalfase*

Van het afvalstadium van de camera's is weinig bekend. Wel kan worden verwacht dat lenzen worden verzameld. Er kan dan een zelfde type schatting als voor de opslag- en handelsfase is gedaan, worden uitgevoerd. Uitgaande van een uitstalling van lenzen in de woonkamer, met een verblijf van 2000 uur in de woonkamer per jaar, een afstand van 2 m en gebruikmakend van de hoogste meetwaarde aan een lens bepaald door Waligórski *et al.* [42], wordt een dosis geschat van  $110 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  per lens.

## 4.9 Uurwerken

#### *Opslag- en handelsfase*

Met de opslag- en handelsfase van uurwerken wordt bedoeld de opslag bij de juwelier bij de verkoop. Voor leden van de bevolking wordt een schatting gemaakt van  $0,005 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  op basis van een verblijf van 20 minuten per jaar in een juwelierswinkel waar 10 (tritium-lekkende) horloges met  $^3\text{H}$  verf liggen<sup>7</sup>. Hierbij is een totale hoeveelheid activiteit aangenomen van 300 MBq (per horloge), een activiteitslek<sup>8</sup> van  $2 \text{ kBq.d}^{-1}$ , een luchtverversingsvoud van  $1 \text{ h}^{-1}$ , een ruimte van  $30 \text{ m}^3$  en een inhalatiedebiet van  $0,95 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$  en een vermenigvuldiging met twee om rekening te houden met huidabsorptie. Voor het personeel bedraagt de verblijftijd 2000 uur, waardoor de dosis  $28 \mu\text{Sv.a}^{-1}$  wordt. Bij brand wordt een dosis geschat van  $0,6 \mu\text{Sv}$ , uitgaande van 1000 uurwerken met 300 MBq tritium (met een vergelijkbaar scenario als toegepast voor het product GTLS). De dosis als gevolg van uurwerken met  $^{147}\text{Pm}$  is geschat op  $1,4.10^{-2} \mu\text{Sv.a}^{-1}$  op basis van 6 MBq per product, de in hoofdstuk 3 genoemde gammadosisconstante en 20 minuten verblijftijd en een afstand van 1 m. Zo is de schatting van de collectieve dosis voor leden van de bevolking en de individuele en collectieve dosis voor het personeel tevens minder dan 10% van het dosiscriterium.

Bij brand wordt de dosis door 1000 uurwerken met  $^{147}\text{Pm}$  geschat op ongeveer  $400 \mu\text{Sv}$ .

<sup>7</sup> Aannemende dat ze nog gemaakt worden en dat 1% van de uurwerken lekt (zie ook ‘gebruiksfase’).

<sup>8</sup> In de literatuur worden verschillende waarden genoemd variërend van 240-24400 Bq.d<sup>-1</sup> [17, 18, 35]. Hier wordt een waarde toegepast dat afkomstig is uit een NRPB document [35].

### Gebruiksfase

In een NRPB-rapport [33] wordt de aanname gemaakt van  $1 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  voor de individuele dosis in de gebruiksfase voor uurwerken die beschilderd zijn met  $^{226}\text{Ra}$ . Deze worden sinds het begin van de jaren zestig niet meer gemaakt. Het is niet bekend hoeveel uurwerken van dat type nog in Nederland aanwezig zijn. Daarentegen melden UNSCEAR en NRPB [10, 35] dat  $^{147}\text{Pm}$ , dat vaak wordt toegepast in horloges en klokken ter vervanging van  $^{226}\text{Ra}$ , remstraling veroorzaakt. De remstraling heeft een (gonaden)dosis-equivalent tot gevolg van  $2 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  (o.a. uitgaande van  $8 \text{ MBq } ^{147}\text{Pm}$ ). NRPB schat een equivalente huiddosis door  $^{147}\text{Pm}$  in horloges op  $350 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ . Uitgaande van een gemiddelde afstand van 30 cm van het horloge tot de diverse delen van het lichaam, 16 uur per dag dragen van het horloge,  $6 \text{ MBq } ^{147}\text{Pm}$  en de gammadosisconstante zoals vermeld in de methode voor dosisschatting wordt een individuele dosis geschat van  $3 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

Recent is in de literatuur [17, 18, 35, 45, 46, 47] aandacht besteed aan de dosis door tritiumhoudende horloges. Het is onduidelijk of tritiumhoudende horloges nog worden gemaakt. Zo maakt een marktleider<sup>9</sup> van trendy plastic horloges sinds 1994 geen gebruik meer van tritium volgens Thüler [46]. Daarentegen melden Sadagopan *et al.* in 1997 [18] dat tritium voornamelijk wordt gebruikt als lichtgevende verf in de horloge-industrie. Uitgaande van horloges met tritium wordt een dosis geschat van  $8 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  (zie ook de resultaten voor luminescentie) overeenkomend met  $0,9 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  geschat door NRPB [35] (gebruikmakend van een factor 10 lagere inhalatie-DCC). Sadagopan *et al.* berekenen een maximale dosis van  $2,5 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ , uitgaande van een inhalatie-DCC voor werkers van  $1,8\cdot 10^{-11} \text{ Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ . Als de inhalatie-DCC voor de (volwassen)bevolking wordt gehanteerd, zoals in het voorliggende rapport toegepast wordt, dan zouden Sadagopan *et al.*  $36 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  hebben bepaald. Brunner [17] en Beyer *et al.* [47] schatten  $20 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  voor de individuele dosis. Over de equivalente huiddosis van  $183 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$  door Brunner *et al.* [17] is nogal wat ophef geweest [45, 46, 47]. Daarbij werd o.a. de methode van de dosisschatting onder vuur genomen. Wel dient vermeld te worden dat een zeer hoge tritium-concentratie van  $1133 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$  in de urine ten gevolge van een tritium lekkende horloge was bepaald in het onderzoek van Brunner. Sadagopan *et al.* schatten de equivalente huiddosis tussen  $6,7$  en  $67 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$  (per  $10 \text{ cm}^2$ ). ICRP doet in [43] een aanbeveling om de equivalente huiddosis voor de bevolking te limiteren tot  $50 \text{ mSv}$  (gemiddeld over  $1 \text{ cm}^2$ ) per jaar. NRPB [35] schat de equivalente huiddosis, ten gevolge van de door tritiumbèta's opgewekte remstraling op  $2,9 \text{ mSv}$  per jaar. De dosisschatting van  $8 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  wordt hierbij gehanteerd als de meest reële waarde voor een tritiumlekkend horloge.

In [33] wordt de aanname gemaakt dat de gemiddelde individuele dosis  $0,01 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  is voor de bevolking van het Verenigd Koninkrijk. Als dat wordt toegepast voor de Nederlandse situatie, dan betekent dit een collectieve dosis van  $0,15 \text{ mensSv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

### Afvalfase

Bij de afvalfase wordt niet verwacht dat de horloges verbrand worden. Hier gaan we ervan uit dat uurwerken worden opgeslagen in musea. Het ministerie van Defensie heeft een rapport opgesteld waarin een inventarisatie wordt gemaakt van radioactieve stoffen in o.a. musea, maar heeft dat niet met getallen ondersteund [48]. Er wordt in dat rapport geconcludeerd dat

<sup>9</sup> Bij telefonische navraag op 19-10-1999 bleek dat in ieder geval twee belangrijke horlogeproducenten geen gebruik meer maken van tritium als luminescerend materiaal. Daarvoor in de plaats maakt men gebruik van materialen als LumiNova (een product van het Japanse bedrijf Nemoto) en LumiBrite (geproduceerd door Seiko).

uurwerken en instrumenten met radioactief materiaal op verantwoorde wijze wordt opgeslagen, danwel afgevoerd.

Een ruwe schatting van de individuele dosis ten gevolge van uurwerken en andere instrumenten bij musea kan worden gemaakt aan de hand van methodiek in hoofdstuk 3. Voor leden van de bevolking en het personeel wordt een dosis geschat van respectievelijk 0,2 en 80  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  uitgaande van 100 uurwerken en andere instrumenten met een activiteit van 37 kBq  $^{226}\text{Ra}$  per instrument<sup>10</sup>. Het is daarom aan te bevelen om metingen te verrichten in dergelijke musea. Uitgaande van verzamelaars die hun trofeeën in de woonkamer hebben geplaatst is de dosisschatting 5  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  per uurwerk of instrument, op basis van een afstand van 2 m en 2000 verblijfsuren.

De collectieve dosis ten gevolge van tritiumhoudende uurwerken is te maken met behulp van de methode in hoofdstuk 3. Echter aangezien het aantal producten met tritium in dit geval onbekend is wordt hiervan geen schatting gemaakt.

## 4.10 Elektronica

### *Opslag- en handelsfase*

In de opslag- en handelsfase wordt de individuele dosis als gevolg van de betreffende elektronica waarin  $^{60}\text{Co}$  is verwerkt, geschat op 0,016  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  voor leden van de bevolking en 190  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  voor het personeel. Dit echter met de aannamen dat er 1000 producten bijeen liggen, hetgeen wellicht erg onrealistisch is. Het individuele-dosiscriterium van 10  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  wordt overschreden indien er ongeveer 50 producten bijeen liggen. Het is echter niet bekend of deze producten nog in Nederland worden verkocht of gebruikt. De dosis als gevolg van gasdiodes met  $^3\text{H}$  is nul, mits deze niet lekken (nadere gegevens hierover ontbreken).

De doses als gevolg van electronica met  $^{60}\text{Co}$  en  $^3\text{H}$ -houdende gasdiodes tijdens een brand zijn geschat op hooguit 0,006  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  en 0,003  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

### *Gebruiksfase*

De individuele dosis in de gebruiksfase van elektronica met  $^{60}\text{Co}$  bedraagt ongeveer 1  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  bij een gebruik van 1 uur per dag op een afstand van 2 m. De dosis als gevolg van gasdiodes met  $^3\text{H}$  is net als in de opslag- en handelsfase nul, mits deze niet lekken.

### *Afvalfase*

De doses als gevolg van  $^3\text{H}$ -houdende gasdiodes tijdens brand in het afvalstadium zijn geschat op hooguit 0,04  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  en voor electronica met  $^{60}\text{Co}$  hooguit 0,0001  $\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

## 4.11 Overslagbeveiligingen

### *Opslag- en handelsfase*

De individuele en collectieve doses als gevolg van overslagbeveiligingen zijn in alle doorgerekende situaties gering (zie bijlage 2), met uitzondering van brand in een opslag. Voor brand in een opslag wordt de individuele dosis geschat op ongeveer 14  $\mu\text{Sv}$  per 1000 stuks,

<sup>10</sup> Het wordt door UNSCEAR [10] verwacht dat er uurwerken en instrumenten zijn geproduceerd met meer activiteit dan 3,7 kBq. Daarom is hier een waarde van 37 kBq genomen.

waarbij tevens moet worden gemeld dat daarbij is aangenomen dat de producten geheel verbranden. Het vergt nader onderzoek om vast te stellen of een opslag van 1000 stuks in Nederland wel of niet vóórkomt.

#### *Gebruiksfase*

De geschatte individuele en collectieve doses in de gebruiksfase is gering, zie ook bijlage 2.

#### *Afvalfase*

In het afvalstadium, waarvoor een vluchtige fractie bij verbranding is aangenomen van 0,001, is de geschatte individuele dosis gering.

**Tabel 3** *Schattingen van de individuele en collectieve doses in de opslag- en handelsfase, de gebruiksfase en de afvalfase van consumentenproducten waarin radioactieve stoffen zijn verwerkt.*

opslag- en handelsfase		per 1000 producten				
product	radionuclide	individueel ( $\mu\text{Sv.a}^{-1}$ )			collectief ( $\text{mensSv.a}^{-1}$ )	
		bevolking	personeel	brand	bevolking	personeel
gloeikousjes	<sup>232</sup> Th	0,11	13	1,4	0,022	0,04
rookmelders	<sup>241</sup> Am	0,10	13	28	0,021	0,04
rookmelders	<sup>226</sup> Ra	0,16	19	0,6	0,03	0,06
antistatische middelen	<sup>241</sup> Am	2,8	300	800	0,6	1,0
antistatische middelen	<sup>210</sup> Po	0,004	0,5	600	$<1.10^{-3}$	0,0014
TL-starters	<sup>85</sup> Kr	0,0012	0,14	$<1.10^{-3}$	$<1.10^{-3}$	$<1.10^{-3}$
TL-starters	<sup>3</sup> H	0*	0*	$<1.10^{-3}$	0*	0*
luminescentie (GTLS)	<sup>3</sup> H	0*	0*	21	0*	0*
keramische tegels	<sup>226</sup> Ra	0,007	0,8	0	0,0013	0,0024
keramiek voor sieraden	<sup>238</sup> U	0,9	1,0	0	$<1.10^{-3}$	$<1.10^{-3}$
lasstaven	<sup>232</sup> Th	0,06	7	0,8	0,012	0,022
cameralenzen	<sup>232</sup> Th	2	1200	n.b.	2	1,2
uurwerken	<sup>147</sup> Pm	0,014	0,8	400	0,014	$<1.10^{-3}$
uurwerken	<sup>3</sup> H	0*	0*	0,6	0*	0*
elektronica	<sup>60</sup> Co	0,016	190	$<1.10^{-3}$	0,3	0,6
elektronica	<sup>3</sup> H	0	0	0,003	0	0
overslagbeveiligingen	<sup>147</sup> Pm	$<1.10^{-3}$	0,025	14	$<1.10^{-3}$	$<1.10^{-3}$

  

gebruiksfase en afvalfase		gebruiksfase		afvalfase
product	radionuclide	individueel	collectief	individueel
		( $\mu\text{Sv.a}^{-1}$ )	( $\text{mensSv.a}^{-1}$ )	( $\mu\text{Sv.a}^{-1}$ )
gloeikousjes	<sup>232</sup> Th	50	35	0,006
rookmelders	<sup>241</sup> Am	0,9	0,7	0,004
rookmelders	<sup>226</sup> Ra	1,4	1,1	$<1.10^{-3}$
antistatische middelen	<sup>241</sup> Am	n.b.	n.b.	0,10
antistatische middelen	<sup>210</sup> Po	n.b.	n.b.	0,08
TL-starters	<sup>85</sup> Kr	0,004	0,007	$<1.10^{-3}$
TL-starters	<sup>3</sup> H	0*	0*	$<1.10^{-3}$
luminescentie (GTLS)	<sup>3</sup> H	0*	0*	1,4
keramische tegels	<sup>226</sup> Ra	4	60	0
keramiek voor sieraden	<sup>238</sup> U	1,8	0,0018	0
lasstaven	<sup>232</sup> Th	160	3	$<1.10^{-3}$
cameralenzen	<sup>232</sup> Th	4	13	110
uurwerken	<sup>147</sup> Pm	3	0,15	5
uurwerken	<sup>3</sup> H	0*	0*	0*
elektronica	<sup>60</sup> Co	0,9	$<1.10^{-3}$	$<1.10^{-3}$
elektronica	<sup>3</sup> H	0	0	0,04
overslagbeveiligingen	<sup>147</sup> Pm	0,011	$<1.10^{-3}$	0,007

\* uitgaande van niet-tritiumlekkende producten; voor lekkende producten wordt verwezen naar de tekst  
n.b. = niet bekend



## 5 Conclusies

In dit rapport zijn radioactiviteit bevattende consumentenproducten onderzocht op hun risico's voor de gebruiker. Naast beschouwingen over *exemption levels* zijn conservatieve schattingen gemaakt van de individuele dosis en de collectieve dosis. Hiervoor zijn scenario's gebruikt die zo goed mogelijk het werkelijk gebruik weergeven. De volgende conclusies zijn getrokken voor de gebruikte scenario's.

De volgende consumentenproducten waarin radioactieve stoffen zijn verwerkt, overschrijden de door de EU voorgeschreven *exemption levels*: gloeikousjes, rookmelders met  $^{241}\text{Am}$ , antistatische middelen, TL-starters met  $^{85}\text{Kr}$ , *gaseous tritium light sources* (GTLS), keramische tegels, keramiek voor sieraden, lasstaven en cameralenzen en oculairs.

Voor gloeikousjes is het mogelijk dat in de opslag- en handelsfase voor personeel het individuele-dosiscriterium van  $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$  wordt overschreden. In de gebruiksfase worden waarschijnlijk beide dosiscriteria overschreden.

Voor rookmelders met  $^{241}\text{Am}$  worden in de opslag- en handelsfase alleen dosiscriteria overschreden indien er in de orde van 350 stuks in opslag liggen. Omdat in regelingen in het kader van de Kernenergiewet is vastgelegd dat er maximaal 50 rookmelders in opslag mogen zijn, wordt het niet waarschijnlijk geacht dat de dosiscriteria worden overschreden.

Voor antistatische middelen zijn er twee situaties waarin overschrijding van het individuele-dosiscriterium mogelijk is en waarvoor nader onderzoek wenselijk is. In de eerste plaats de blootstelling van personeel in de opslag- en handelsfase, waarvoor afscherming door materialen tussen het product en de blootgestelde persoon in de beschouwing zal moeten worden meegenomen. In de tweede plaats de blootstelling als gevolg van brand in een opslag.

Voor *gaseous tritium light sources* (GTLS) in de opslag- en handelsfase kan het individuele-dosiscriterium worden overschreden als gevolg van brand in een opslag van ongeveer 500 stuks, aannemende dat alle activiteit vrijkomt.

Het individuele-dosiscriterium wordt mogelijk overschreden voor personen die hun badkamer en toilet met tegels met  $^{226}\text{Ra}$ -houdend glazuur hebben betegeld. Het collectieve-dosiscriterium van  $1 \text{ mensSv}\cdot\text{a}^{-1}$  kan in de gebruiksfase worden overschreden als 100.000 badkamers of meer met de bewuste tegels zijn betegeld. Tegelzetters en ook personeel in openbare toiletgelegenheden ontvangen mogelijk een individuele dosis van  $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ .

De individuele en collectieve dosis als gevolg van het gebruik van thoriumhoudende lasstaven in de thuissituatie kunnen beiden het dosiscriterium overschrijden.

Er is een grote verscheidenheid aan in de literatuur gerapporteerde waarden voor de activiteit in cameralenzen en oculairs. Het is niet uit te sluiten dat beide dosiscriteria worden overschreden: in de opslag- en handelsfase de individuele dosis voor personeel en de collectieve dosis voor bevolking en personeel, in de gebruiksfase de collectieve dosis voor de bevolking, en in de 'afvalfase', die hier wordt gedefinieerd als 'uitgesteld in een vitrinekast', de individuele dosis voor de eigenaar of verzamelaar.

Voor uurwerken met  $^{147}\text{Pm}$  in de opslag- en handelsfase kan het individuele-dosis criterium worden overschreden als gevolg van brand in een opslag van ongeveer 25 stuks of meer, aannemende dat alle activiteit vrijkomt. Voor uurwerken en andere instrumenten met  $^{226}\text{Ra}$  die in musea worden tentoongesteld wordt voor het personeel het individuele-dosis criterium mogelijk overschreden. Voor verzamelaars die dergelijke uurwerken en instrumenten thuis tentoonstellen is overschrijding van het individuele-dosis criterium ook mogelijk.

Voor elektronica waarin  $^{60}\text{Co}$  is verwerkt, kan het individuele-dosis criterium worden overschreden voor personeel indien er ongeveer 50 of meer van deze producten in opslag liggen. Het is echter niet bekend of deze producten nog in Nederland worden verkocht of gebruikt.

Voor overslagbeveiligingen is een overschrijding van de individuele dosisgrens mogelijk alleen als gevolg van brand in een opslag met ongeveer 1000 stuks. Het is niet bekend of een dergelijke opslag in Nederland vóórkomt.

Tabel 4 geeft tenslotte het resultaat van de toetsing aan de beide dosiscriteria. Een product is ingedeeld in de categorie ‘overschrijding’ als minstens één van de dosiscriteria in minstens één van de beschouwde fasen van het product wordt overschreden.

*Tabel 4 Overzicht van de mogelijke overschrijding van de criteria voor radioactiviteit in consumentenproducten (exemption levels voor de activiteit per product en voor de activiteitsconcentratie) en criteria voor de individuele en collectieve dosis als gevolg van deze radioactiviteit.*

		MOGELIJKE OVERSCHRIJDING VAN MINSTENS ÉÉN DOSISCRIETERIUM	
		ja	nee
MOGELIJKE OVERSCHRIJDING VAN MINSTENS ÉÉN ACTIVITEITS-CRITERIUM	ja	<ul style="list-style-type: none"> <li>gloeikousjes:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- opslag- en handelsfase: personeel individueel</li> <li>- gebruiksfase: bevolking individueel en collectief</li> </ul> </li> <li>antistatische middelen:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- opslag- en handelsfase (15 st): personeel individueel</li> <li>- brand in opslag: bevolking individueel</li> </ul> </li> <li><i>gaseous tritium light sources</i> (GTLS):               <ul style="list-style-type: none"> <li>- brand in opslag (500 st): bevolking individueel</li> </ul> </li> <li>keramische tegels:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- gebruiksfase: bevolking individueel en collectief</li> </ul> </li> <li>lasstaven:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- gebruiksfase: bevolking individueel en collectief</li> </ul> </li> <li>cameralenzen en oculairs:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- opslag- en handelsfase: personeel individueel</li> <li>- gebruikersfase: bevolking collectief</li> <li>- 'afvalfase' (vitrinekast): bevolking individueel</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>rookmelders met <math>^{241}\text{Am}</math></li> <li>TL-starters met <math>^{85}\text{Kr}</math></li> <li>keramiek voor sieraden</li> </ul>
	nee	<ul style="list-style-type: none"> <li>rookmelders met <math>^{226}\text{Ra}</math> (indien nog in de handel):               <ul style="list-style-type: none"> <li>- opslag- en handelsfase (500 st): personeel individueel</li> </ul> </li> <li>uurwerken met <math>^{147}\text{Pm}</math>:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- brand in opslag (25 st): bevolking individueel</li> </ul> </li> <li>elektronica met <math>^{60}\text{Co}</math> (indien nog in de handel):               <ul style="list-style-type: none"> <li>- opslag- en handelsfase (50 st.): personeel individueel</li> </ul> </li> <li>overslagbeveiligingen:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- brand in opslag (1000 st): bevolking individueel</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>TL-starters met <math>^3\text{H}</math></li> <li>uurwerken met <math>^3\text{H}</math></li> <li>elektronica met <math>^3\text{H}</math></li> </ul>

## Referenties

- [1] Richtlijn 96/29 Euratom van de Raad van 13 mei 1996 tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming van de gezondheid der bevolking en der werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren. Publikatieblad van de Europese Gemeenschappen, L 159, 29 juni 1996. ('de EU-richtlijn')
- [2] Bs2000. Besluit stralingsbescherming (*in voorbereiding*). Ter vervanging van het BsK96.
- [3] Blaauboer RO, Vaas LH en Leenhouts HP. Stralingsbelasting in Nederland in 1988 (Eindrapport). RIVM-rapportnr. 249103001. Bilthoven, september 1991. ('het STRAVE-rapport')
- [4] Eleveld H. Briefrapport 'Consumentenproducten' aan DGM/SVS/SNB, 20 augustus 1998.
- [5] Radiation Protection 68. Study on consumer products containing radioactive substances in the EU Member States. European Commission. Report EUR 15846. Eds. Schmitt-Hannig A, Drenkard S, Wheatley J, 1995.
- [6] Huyskens CJ, Hemelaar JThGM en Kicken PJH, Stralingsdoses ten gevolge van Radioactiviteit in Gloeikousjes, TUE-rapportnr SBD 4889, Eindhoven, 1985.
- [7] Kernergiewet, wetgeving ter bescherming volksgezondheid tegen stralengevaar. Koninklijke Vermande bv, reeks milieuhygiëne, juli 1998.
- [8] National Council on Radiation Protection and Measurement. Radiation exposure of the U.S. population from consumer products and miscellaneous sources. NCRP-report no. 95, 1987.
- [9] OECD. A guide for controlling consumerproducts containing radioactive substances. Nuclear Energy Agency - OECD, Parijs, 1985.
- [10] UNSCEAR 1982 report: Ionizing radiation: Sources and biological effects. Report to the General Assembly, with annexes. UN, New York, 1982.
- [11] Jong P de. Emissie- en produktnormen. Reeks stralenbescherming nr. 39E. Ministerie van VROM, Den Haag, 1989.
- [12] O'Brien RS, Aral H and Peggie JR. Radon exhalation rates and gamma doses from ceramic tiles. Health Physics 75, 630-639, 1998.
- [13] LBP/Luc Schaap; persoonlijke communicatie; maart 1999.
- [14] IRI Scientific annual report 1991. Delft, 1992.
- [15] IRI/dhr. J.E. Hoogenboom; persoonlijke communicatie; februari 2000.
- [16] Reichelt A. Thorium anwendungen und Umgang. In: Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenhygiene / Institut für Strahlenhygiene BfS-ISH-161/93, Thorium, Probleme der Inkorporation-süberwachung- Anwendung, Messung, Interpretation, ed. Dalheimer A, Henrichs K, 1993.
- [17] Brunner P, Schneider P, Scheicher H, Seyerl G, Kurnik P, Ennemoser O en Ambach W. Tritium intake by exposure to plastic case watches. Health Physics 70, 484-487, 1996.
- [18] Sadagopan G, Sadarangani SH, Nambi KSV, Krishnamoorthy TM en Venkataraman G. Radiological safety aspects of indian watches containing tritium. Radiation Protection Dosimetry 72, 49-53, 1997.
- [19] Weimer G. Spezifische Aktivitäten in Konsumgütern. Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz & Reaktorsicherheit, BMU RS II 3, SSK-S111/7/U21, 1995.
- [20] White IF. *NRPB* Emergency Data Handbook. NRPB report NRPB-R182, 1986.
- [21] Jaarsveld JA van. An Operational atmospheric transport model for Priority Substances; specification and instructions for use, RIVM rapport nr. 222501002, Bilthoven, 1990.
- [22] DGM/SVS/96030078, Risicoschatting ten gevolge van gebruik, onderhoud, verbranding van ionisatierookmelders. VROM, 1996.
- [23] KEMA rapport 40284-NUC93-5869, Exemption Levels voor het voorhanden hebben, toepassen en het zich ontdoen van radioactieve stoffen, gebaseerd op het Nederlandse risicobeleid, 1993.
- [24] ARN BV Afvalverwerking Regio Nijmegen te Weurt, Ton van Winden; persoonlijke communicatie; juli 1998.
- [25] Eleveld H, Twenhöfel CJW en Pruppers MJM. Application of PC-CREAM in the Netherlands – Dose impact due to atmospheric releases. RIVM rapportnr. 610310004. April 1999.

- [26] Pruppers MJM, Blaauboer RO, Twenhöfel CJW and Lembrechts JFMM. Operational criteria for authorizing emissions of radionuclides from the process industry. Proceedings of NORM II, Krefeld, Germany, 10-13 November 1998. 158-162, 1998.
- [27] UNSCEAR 1993 report: Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly, with annexes. UN, New York, 1993.
- [28] Keverling Buisman AS. Handboek radionucliden. Beta text, Bergen (NH). 1996.
- [29] Huyskens, CJ. Methodiek voor dosisschattingen. SBD/TUE rapportnr. SBD 8518a (1990). Huyskens, CJ, Dosisconversiefactoren voor radioactieve bronnen. SBD/TUE rapportnr. SBD 10439 (1993) en 10439a, 1998.
- [30] Nelson WR, Hirayama H, Rogers DWO. The EGS4 code system. SLAC-report-265. Stanford Linear Accelerator Center, Stanford. California, USA, 1985.
- [31] International Commission on Radiological Protection. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4 inhalation dose coefficients. Oxford: Pergamon Press. ICRP Publication 71, 1996.
- [32] International Commission on Radiological Protection. Limits for intakes of radionuclides by workers. Oxford: Pergamon Press. ICRP Publication 30. Part 2 + 3, 1981.
- [33] Hughes JS and O'Riordan MC, Radiation Exposure of the UK Population - 1993 Review, NRPB report NRPB-R263, 1993.
- [34] Becker DE, Eder E, Reichelt A. Radiation exposure by man-modified materials containing natural nuclides. Proceedings, IRPA 8. Montreal, Canada, 17-22 mei 1992.
- [35] Documents of the NRPB. Board Statement of Approval of Consumer Goods Containing Radioactive Substances. Vol. 3, No. 2. 1992.
- [36] Sleen H. van, Thoriumdioxide bij het TIG-lassen, Literatuurstudie naar de stralingsbelasting, Amsterdamse Bedrijfsartsen opleiding CORVU, 1985.
- [37] Hoofdingspectie Milieuhygiene, Hoofdafdeling Handhaving Milieuwetgeving Toezicht Straling, Stoffen en Produkten, Wildt PJM de, Thorium laselectroden een onderzoek bij 6 bedrijven, 1996.
- [38] Crim EM, Bradley TD, Measurements of Air Concentrations of Thorium during Grinding and Welding Operations using Thoriated Tungsten Electrodes, Health Physics 68, 719-722, 1995.
- [39] Lehmann KH, Reichelt A, Guglhör P, Exposures due to TIG welding using thoriated tungsten electrodes. Proceedings, NORM I, Amsterdam, Nederland. 8-10 september 1997.
- [40] Reichelt A. Radiation exposure at TIG welding with thoriated tungsten electrodes (abstract). IRPA 9. Wenen, Oostenrijk 1996.
- [41] Ludwig T, Seitz G. Thorium exposure during welding and grinding with thoriated tungsten electrodes. IRPA 9. Wenen, Oostenrijk 1996.
- [42] Waligórski MPR, Jasińska M, Schwabenthan J. Enhanced Nuclear Radiation from Camera Lenses. Health Physics 49, 491-494, 1985.
- [43] International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendation of the International Commission of Radiological Protection. Oxford: Pergamon Press. ICRP Publication 60, 1991.
- [44] Cember H. Introduction to Health Physics. 3de editie. McGraw-Hill, New York, USA, 1996.
- [45] Türvey FJ, Skin doses from luminous plastic-case watches. Health Physics 71, 970, 1996.
- [46] Thüler OW, Tritium uptake by exposure to plastic-case watches. Health Physics 71, 970, 1996.
- [47] Beyer D, Stauch B, Schirmer F. Tritium-labeled wrist watches. Health Physics 71, 972, 1996.
- [48] Sjardijn RP. Onderzoek en inventarisatie van radioactieve stoffen in musea, traditiekamers en historische verzamelingen bij defensie. SBD/98/0028, maart 1998.

## **Bijlage 1 Verzendlijst**

1-10	Hoofd van de afdeling Straling, Nucleaire en Biologische Veiligheid
11	Directeur van de Directie Stoffen, Veiligheid en Straling
12	Plaatsvervangend Directeur-Generaal Milieubeheer
13	Depot Nederlandse Publicaties en Nederlandse Bibliografie
14	Directie RIVM
15	Directeur Sector Stoffen en Risico's
16	Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
17	Hoofd van de afdeling Modellen en Procesonderzoek (LSO)
18-19	Auteurs
20	Hoofd Voorlichting & Public Relations
21	Bureau Rapportenregistratie
22	Bibliotheek RIVM
23-32	Bureau Rapportenbeheer
32-45	Reserve-exemplaren LSO

## Bijlage 2 Details van de dosisschattingen

Deze bijlage bevat uitsluitend de resultaten van berekeningen die in het kader van dit onderzoek door RIVM zijn uitgevoerd. Voor dosisschattingen voor producten die niet in deze bijlage voorkomen, wordt naar de tekst van hoofdstuk 4 verwezen. De gevolgde redeneringen om te komen tot de geschatte en hier aangenomen waarden van de parameters in de blootstellingsscenario's is in de tekst van hoofdstuk 3 beschreven.

### gloeikousjes

#### algemene gegevens

nuclide	Th-232
activiteit per product (Bq)	1,8E+03 <sup>a</sup>
gammasdosiskonstante ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)	3,6E-01
DCC <sub>inh</sub> (Sv/Bq)	1,0E-04

#### opslag-/handelsfase

	bevolking	personeel	brand
aantal producten in opslag	1000		
verblijftijd (min/a)	10	120000	
afstand (m)	1	10	
tijdgeïntegreerde activiteits conc. (Bq.s/m <sup>3</sup> per Bq geloosd)			3,0E-05
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>0,11</b>	<b>13</b>	<b>1,4</b>

aantal blootgestelde personen	2E+06	3E+03	
verblijftijd (min/a)	1	120000	
afstand (m)	1	10	
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>0,022</b>	<b>0,04</b>	

#### gebruiksfase

afstand (m)	
aantal uren nabij het product per dag (h/d)	
aantal dagen per jaar (d/a)	
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>zie tekst hoofdstuk 4</b>

aantal producten	
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>zie tekst hoofdstuk 4</b>

#### afvalfase

	verblijf op stortplaats	wonen naast stortplaats
blootstellingsduur (h/a)	3	8760 <sup>b</sup>
inhalatiedebiet (m <sup>3</sup> /h)	0,95	0,95
activiteitsconcentratie Th-232 in stof (Bq/g)	1,5E-04	1,5E-04 <sup>c</sup>
stoflading in lucht (g/m <sup>3</sup> )	1,0E-03	2,0E-04
waarschijnlijkheid van optreden	0,001	0,00033
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>4E-08</b>	<b>8E-06</b>

<sup>a</sup> STRAVE-rapport [3]

<sup>b</sup> KEMA-rapport [23]

<sup>c</sup> Huyskens *et al.* [6]

**rookmelders***algemene gegevens*

nuclide	Am-241	Ra-226
activiteit per product (Bq)	3,7E+04 <sup>a</sup>	3,7E+03 <sup>e</sup>
gammadosisconstante (μSv/h per MBq op 1 m)	1,7E-02	2,6E-01
DCC <sub>inh</sub> (Sv/Bq)	9,6E-05	2,0E-05

*opslag-/handelsfase*

	<i>bevolking</i>	<i>personeel</i>	<i>brand</i>	<i>bevolking</i>	<i>personeel</i>	<i>brand</i>
aantal producten in opslag	1000 <sup>d</sup>			1000 <sup>d</sup>		
verblijftijd (min/a)	10	120000		10	120000	
afstand (m)	1	10		1	10	
tijdgeïntegreerde act. conc. (Bq.s/m <sup>3</sup> per Bq geloosd)			3,0E-05			3,0E-05
<b>individuele dosis (μSv/a)</b>	<b>0,10</b>	<b>13 <sup>d</sup></b>	<b>28</b>	<b>0,16</b>	<b>19 <sup>d</sup></b>	<b>0,6</b>

aantal blootgestelde personen	2E+06	3E+03		2E+06	3E+03	
verblijftijd (min/a)	1	120000		1	120000	
afstand (m)	1	10		1	10	
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>0,021</b>	<b>0,04</b>		<b>0,03</b>	<b>0,06</b>	

*gebruiksfase*

afstand (m)	2		2
aantal uren nabij het product per dag (h/d)	16 <sup>a</sup>		16
aantal dagen per jaar (d/a)	365		365
<b>individuele dosis (μSv/a)</b>	<b>0,9</b>		<b>1,4</b>

aantal producten	8E+05 <sup>b</sup>	8E+05 <sup>b</sup>
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>

*afvalfase*

aantal verbrande producten (a <sup>-1</sup> )	1E+04 <sup>c</sup>	1E+04
vluchtige fractie bij verbranding	0,001	0,001
dispersiecoëfficiënt (Bq/m <sup>3</sup> per Bq/s)	4,0E-07	4,0E-07
inhalatiedebiet (m <sup>3</sup> /h)	0,95	0,95
<b>individuele dosis (μSv/a)</b>	<b>0,004</b>	<b>8E-05</b>

<sup>a</sup> vanaf 1/1/2000 verplicht voor nieuwbouw en grote renovatie (concept Bouwbesluit)

<sup>b</sup> op basis van De Jong [11]

<sup>c</sup> SVS [22]

<sup>d</sup> in regelingen in het kader van de Kernenergiewet [7] staat een maximaal aantal van 50 genoemd

<sup>e</sup> max. (wettelijke) hoeveelheden gedereguleerde rookmelders



**antistatische middelen***algemene gegevens*

nuclide	Am-241	Po-210
activiteit per product (Bq)	1,0E+06	1,8E+07
gammadosisconstante ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)	1,7E-02	1,3E-06
$\text{DCC}_{\text{inh}}(\text{Sv/Bq})$	9,6E-05	4,3E-06

*opslag-/handelsfase*

	<i>bevolking</i>	<i>personeel</i>	<i>brand</i>	<i>bevolking</i>	<i>personeel</i>	<i>brand</i>
aantal producten in opslag	1000			1000		
verblijftijd (min/a)	10	120000		10	120000	
afstand (m)	1	10		1	10	
tijdgeïntegreerde act. conc. ( $\text{Bq.s/m}^3$ per Bq geloosd)			3,0E-05			3,0E-05
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>2,8</b>	<b>340</b>	<b>763</b>	<b>0,004</b>	<b>0,5</b>	<b>613</b>
aantal blootgestelde personen	2E+06	3E+03		2E+06	3E+03	
verblijftijd (min/a)	1	120000		1	120000	
afstand (m)	1	10		1	10	
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>0,6</b>	<b>1,0</b>		<b>8E-04</b>	<b>1,4E-03</b>	

*gebruiksfase*

afstand (m)		
aantal uren nabij het product per dag (h/d)		
aantal dagen per jaar (d/a)		
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>zie tekst hoofdstuk 4</b>	<b>zie tekst hoofdstuk 4</b>
aantal producten		
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>zie tekst hoofdstuk 4</b>	<b>zie tekst hoofdstuk 4</b>

*afvalfase*

aantal verbrande producten ( $\text{a}^{-1}$ )	1E+04	1E+04
vluchtige fractie bij verbranding	0,001	0,001
dispersiecoëfficiënt ( $\text{Bq/m}^3$ per Bq/s)	4,0E-07	4,0E-07
inhalatiedebiet ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	0,95	0,95
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>0,10</b>	<b>0,08</b>

**TL-starters***algemene gegevens*

nuclide	Kr-85	H-3
activiteit per product (Bq)	1,9E+04 <sup>b</sup>	1,1E+04 <sup>b</sup>
gammadosisconstante ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)	3,7E-04	0
DCC <sub>inh</sub> (Sv/Bq)	n.v.t.	2,6E-10
DCC <sub>sub</sub> (Sv/h per Bq/m <sup>3</sup> )	8,2E-13 <sup>a</sup>	n.v.t.

*opslag-/handelsfase*

	<i>bevolking</i>	<i>personeel</i>	<i>brand</i>	<i>bevolking</i>	<i>personeel</i>	<i>brand</i>
aantal producten in opslag	1000			1000		
verblijftijd (min/a)	10	120000		10	120000	
afstand (m)	1	10		1	10	
tijdgeïntegreerde act. conc. (Bq.s/m <sup>3</sup> per Bq geloosd)			3,0E-05			3,0E-05
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>0,0012</b>	<b>0,14</b>	<b>1,2E-07</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2E-05</b>
aantal blootgestelde personen	2E+06	3E+03		2E+06	3E+03	
verblijftijd (min/a)	1	120000		1	120000	
afstand (m)	1	10		1	10	
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>0,00023</b>	<b>0,0004</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	

*gebruiksfase*

afstand (m)	2	2
aantal uren nabij het product per dag (h/d)	8 <sup>c</sup>	8
aantal dagen per jaar (d/a)	250	250
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>0,004</b>	<b>0</b>
aantal producten	2E+06 <sup>b</sup>	5E+06
gemiddelde aantal blootgestelde personen per starter	1	1
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>0,007</b>	<b>0</b>

*afvalfase*

aantal verbrande producten (a <sup>-1</sup> )	1E+06	1E+06
vluchtige fractie bij verbranding	1	1
dispersiecoëfficiënt (Bq/m <sup>3</sup> per Bq/s)	4,0E-07	4,0E-07
inhalatiedebiet (m <sup>3</sup> /h)	0,95	0,95
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>1,7E-06</b>	<b>3E-04</b>

<sup>a</sup> Kocher DC, Health Physics 45, 665-686, 1983<sup>b</sup> STRAVE-rapport [3]<sup>c</sup> totale werktijd 2000 uur per jaar

**luminescentie (GTLS)***algemene gegevens*

nuclide	H-3
activiteit per product (Bq)	1,0E+10 <sup>a</sup>
gammadosisconstante ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)	0
DCC <sub>inh</sub> (Sv/Bq)	2,6E-10

*opslag-/handelsfase*

	<i>bevolking</i>	<i>personeel</i>	<i>brand</i>
aantal producten in opslag	1000		
verblijftijd (min/a)	10	120000	
afstand (m)	1	10	
tijdgeïntegreerde act. conc. ( $\text{Bq.s/m}^3$ per Bq geloosd)			3,0E-05
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>21</b>

aantal blootgestelde personen	2E+06	3E+03
verblijftijd (min/a)	1	120000
afstand (m)	1	10
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

*gebruiksfase*

afstand (m)	2
aantal uren nabij het product per dag (h/d)	8
aantal dagen per jaar (d/a)	250
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>0</b>

aantal producten	5E+03
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>0</b>

*afvalfase*

aantal verbrande producten ( $\text{a}^{-1}$ )	5E+03 <sup>b</sup>
vluchtige fractie bij verbranding	1
dispersiecoëfficiënt ( $\text{Bq/m}^3$ per Bq/s)	4,0E-07
inhalatiedebiet ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	0,95
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>1,4</b>

<sup>a</sup> zie tekst (hoofdstuk 2)<sup>b</sup> STRAVE-rapport [3]

**keramische tegels****algemene gegevens**

nuclide	Ra-226
activiteit per product (Bq)	1,6E+02 <sup>a</sup>
gammadosisconstante ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)	2,6E-01
DCC <sub>inh</sub> (Sv/Bq)	2,0E-05

**opslag-/handelsfase**

	<i>bevolking</i>	<i>personeel</i>	<i>brand</i>
aantal producten in opslag	1000		
verblijftijd (min/a)	10	120000	
afstand (m)	1	10	
tijdgeïntegreerde act. conc. ( $\text{Bq.s/m}^3$ per Bq geloosd)			3,0E-05
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>0,007</b>	<b>0,8</b> <sup>e</sup>	<b>0</b> <sup>f</sup>

aantal blootgestelde personen	2E+06	3E+03
verblijftijd (min/a)	1	120000
afstand (m)	1	10
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>0,0013</b>	<b>0,0024</b>

**gebruiksfase**

afstand (m)	1,5
aantal uren nabij het product per dag (h/d)	0,5 <sup>b</sup>
aantal dagen per jaar (d/a)	365
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>4</b> <sup>c</sup>

aantal personen	1,5E+07 <sup>d</sup>
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>64</b>

**afvalfase**

aantal verbrande producten ( $\text{a}^{-1}$ )	0 <sup>f</sup>
vluchtige fractie bij verbranding	0,001
dispersiecoëfficiënt ( $\text{Bq/m}^3$ per Bq/s)	4,0E-07
inhalatiedebiet ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	0,95
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>0</b> <sup>f</sup>

<sup>a</sup> afgeleid uit O'Brien *et al.* [12]<sup>b</sup> verblijf in badkamer en toilet<sup>c</sup> voor 1300 tegels (30 m<sup>2</sup> tegels a 15 bij 15 cm)<sup>d</sup> alle Nederlanders<sup>e</sup> zonder zelfabsorptie, zie tekst (hoofdstuk 4)<sup>f</sup> tegels worden niet verbrand

**keramiek voor sieraden***algemene gegevens*

nuclide	U-238
activiteit per product (Bq)	2,0E+02 <sup>a</sup>
gammadosisconstante ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)	2,6E-01
DCC <sub>inh</sub> (Sv/Bq)	8,0E-05

*opslag-/handelsfase*

	<i>bevolking</i>	<i>personeel</i>	<i>brand</i>
aantal producten in opslag	1000		
verblijftijd (min/a)	10	120000	
afstand (m)	0,1	10	
tijdgeïntegreerde act. conc. ( $\text{Bq.s/m}^3$ per Bq geloosd)			3,0E-05
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>	<b>0 <sup>d</sup></b>

aantal blootgestelde personen	1E+06 <sup>b</sup>	1E+03	
verblijftijd (min/a)	1	120000	
afstand (m)	1	10	
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>9E-04</b>	<b>1,0E-03</b>	

*gebruiksfase*

afstand (m)	0,5 <sup>c</sup>
aantal uren nabij het product per dag (h/d)	24
aantal dagen per jaar (d/a)	365
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>1,8</b>

aantal producten	1000 <sup>e</sup>
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>0,0018</b>

*afvalfase*

aantal verbrande producten ( $\text{a}^{-1}$ )	0 <sup>d</sup>
vluchtige fractie bij verbranding	0,001
dispersiecoëfficiënt ( $\text{Bq/m}^3$ per Bq/s)	4,0E-07
inhalatiedebiet ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	0,95
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>0 <sup>d</sup></b>

<sup>a</sup> aanname: keramisch deel van het sieraad weegt 0,5 g; activiteit 400 Bq/g

<sup>b</sup> jaarlijks aantal bezoekers van juweliers

<sup>c</sup> sieraad bevindt zich op een gem. afstand van 0,5 m t.o.v. het hele lichaam

<sup>d</sup> verspreiding via lucht tijdens brand wordt niet waarschijnlijk geacht

<sup>e</sup> aantal sieraden in Nederland is niet bekend; berekend voor 1000 stuks

**lasstaven***algemene gegevens*

nuclide	Th-232
activiteit per product (Bq)	1,0E+03
gammadosisconstante ( $\mu\text{Sv/h}$ per MBq op 1 m)	3,6E-01
$\text{DCC}_{\text{inh}}(\text{Sv/Bq})$	1,0E-04

*opslag-/handelsfase*

	<i>bevolking</i>	<i>personeel</i>	<i>brand</i>
aantal producten in opslag	1000		
verblijftijd (min/a)	10	120000	
afstand (m)	1	10	
tijdgeïntegreerde act. conc. ( $\text{Bq.s/m}^3$ per Bq geloosd)			3,0E-05
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>0,06</b>	<b>7</b>	<b>0,8</b>

aantal blootgestelde personen	2E+06	3E+03
verblijftijd (min/a)	1	120000
afstand (m)	1	10
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>0,012</b>	<b>0,022</b>

*gebruiksfase*

afstand (m)	
aantal uren nabij het product per dag (h/d)	
aantal dagen per jaar (d/a)	
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>zie tekst hoofdstuk 4</b>

aantal producten	
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>zie tekst hoofdstuk 4</b>

*afvalfase*

aantal verbrande producten ( $\text{a}^{-1}$ )	1,8E+04 <sup>a</sup>
vluchtige fractie bij verbranding	0,001
dispersiecoëfficiënt ( $\text{Bq/m}^3$ per Bq/s)	4,0E-07
inhalatiedebiet ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	0,95
<b>individuele dosis (<math>\mu\text{Sv/a}</math>)</b>	<b>1,9E-04</b>

<sup>a</sup> HIMH [35]

**elektronica****algemene gegevens**

nuclide	Co-60 <sup>a</sup>	gasdiode	H-3
activiteit per product (Bq)	2,6E+04 <sup>b</sup>		1,5E+06 <sup>b</sup>
gammadosisconstante (μSv/h per MBq op 1 m)	3,6E-01		0
DCC <sub>inh</sub> (Sv/Bq)	3,1E-08		2,6E-10

**opslag-/handelsfase**

	bevolking	personeel	brand	bevolking	personeel	brand
aantal producten in opslag	1000			1000		
verblijftijd (min/a)	10	120000		10	120000	
afstand (m)	1	10		1	10	
tijdgeïntegreerde act. conc. (Bq.s/m <sup>3</sup> per Bq geloosd)			3,0E-05			3,0E-05
<b>individuele dosis (μSv/a)</b>	<b>0,016</b>	<b>187</b>	<b>6E-03</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3E-03</b>

aantal blootgestelde personen

2E+06

3E+03

2E+06

3E+03

verblijftijd (min/a)

1

120000

1

120000

afstand (m)

1

10

1

10

**collectieve dosis (mensSv/a)****0,3****0,6****0****0****gebruiksfase**

afstand (m)	2		2
aantal uren nabij het product per dag (h/d)	1		1
aantal dagen per jaar (d/a)	365		365
<b>individuele dosis (μSv/a)</b>	<b>0,9</b>		<b>0</b>

aantal producten

1E+03 <sup>a</sup>

1E+06

**collectieve dosis (mensSv/a)****9E-04****0****afvalfase**

aantal verbrande producten (a <sup>-1</sup> )	1E+03 <sup>a</sup>		1E+06
vluchtige fractie bij verbranding	1		1
dispersiecoëfficiënt (Bq/m <sup>3</sup> per Bq/s)	4,0E-07		4,0E-07
inhalatiedebiet (m <sup>3</sup> /h)	0,95		0,95
<b>individuele dosis (μSv/a)</b>	<b>9E-05</b>		<b>4E-02</b>

<sup>a</sup> STRAVE-rapport [3] meldt 1000 'buizen' met Co-60<sup>b</sup> hoogst gemelde waarde in het STRAVE-rapport [3]

**overslagbeveiligingen***algemene gegevens*

nuclide	Pm-147
activiteit per product (Bq)	1,8E+05 <sup>a</sup>
gammadosisconstante (μSv/h per MBq op 1 m)	7,0E-06 <sup>b</sup>
DCC <sub>inh</sub> (Sv/Bq)	9,6E-06

*opslag-/handelsfase*

	<i>bevolking</i>	<i>personeel</i>	<i>brand</i>
aantal producten in opslag	1000		
verblijftijd (min/a)	10	120000	
afstand (m)	1	10	
tijdgeïntegreerde act. conc. (Bq.s/m <sup>3</sup> per Bq geloosd)			3,0E-05
<b>individuele dosis (μSv/a)</b>	<b>2,1E-04</b>	<b>0,025</b>	<b>14</b>

aantal blootgestelde personen	2E+06	3E+03	
verblijftijd (min/a)	1	120000	
afstand (m)	1	10	
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>4E-05</b>	<b>8E-05</b>	

*gebruiksfase*

afstand (m)	1
aantal uren nabij het product per dag (h/d)	24
aantal dagen per jaar (d/a)	365
<b>individuele dosis (μSv/a)</b>	<b>0,011</b>
aantal producten	4E+04 <sup>c</sup>
<b>collectieve dosis (mensSv/a)</b>	<b>4E-04</b>

*afvalfase*

aantal verbrande producten (a <sup>-1</sup> )	4E+04 <sup>d</sup>
vluchtige fractie bij verbranding	0,001
dispersiecoëfficiënt (Bq/m <sup>3</sup> per Bq/s)	4,0E-07
inhalatiedebiet (m <sup>3</sup> /h)	0,95
<b>individuele dosis (μSv/a)</b>	<b>0,007</b>

<sup>a</sup> hoogst gerapporteerde waarde<sup>b</sup> gammastraling als gevolg van opgewekte remstraling<sup>c</sup> STRAVE-rapport [3]<sup>d</sup> alle aanwezige producten