

RIVM rapport 610230002/2002

**Radioactiviteit in Nederlandse
gebruiksartikelen**

MPM Janssen

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van de directie RIVM, in het kader van project 610230 Belasting/risico's van straling in Nederland.

Abstract

This study took place within the framework of a general update of the average radiation dose for the Dutch population. It focuses on consumer products in which radionuclides have been intentionally incorporated and on radiation-emitting devices that can be supplied to members of the public without special surveillance. Eleven consumer products were studied in more detail. The radiation from these products determined 90% of the total collective dose due to consumer products in the Netherlands in 1988. Individual and collective doses are presented here for each product.

The total collective dose has decreased from 130 personSv in 1988 to 4.6 personSv at present. This reduction was attributed to: a decrease in the number of radioactive products (gas mantles), lower estimates of the number of radioactive products present in the Netherlands thanks to new information (camera lenses, smoke detectors containing Ra-226), replacement of radioactive by non-radioactive products (gas mantles, dental prostheses), and a lower estimate of the dose rate for certain products (smoke detectors, VDT). Some products were shown to be unavailable on the Dutch consumer market because importing and selling them was prohibited (antistatic brushes) or because the products were only available for professional users (TIG welding electrodes). Only a few products showed a significant change in radionuclide content. In summary, 60-70% of the reduction is due to a realistic decrease in the number of radioactive products. The remaining 30-40% is due to a better estimation of the number of products and the dose rate.

The largest reduction of the total collective dose was realised through the decrease in the number of radioactive gas mantles. The contribution of gas mantles to the collective dose has decreased from 70 personSv in 1988 to 2 personSv per year at present. The total number of gas mantles has decreased by a factor of three of which still 1/10th is radioactive. A further reduction in the contribution of consumer products is to be expected as a number of radioactive products will be placed on a list of non-justified applications as a result of the new Dutch Radiation Protection Act.

Inhoud

Samenvatting 6

1 Inleiding 7

- 1.1 Aanleiding 7
- 1.2 Vraagstelling 8
- 1.3 Aanpak en leeswijzer 8

2 Informatiebronnen 11

- 2.1 Inleiding 11
- 2.2 Literatuuronderzoek 11
- 2.3 USPTO database 11
- 2.4 Registratie Ingekapselde bronnen US-NRC 12
- 2.5 Nederlandse wetgeving 12
- 2.6 Dossiers KeW Rijksoverheid 12

3 Laselektroden 15

- 3.1 Inleiding 15
- 3.2 Wetgeving 15
- 3.3 Achtergrond 15
- 3.4 Activiteiten en dosistempi 16
- 3.5 Aantallen in Nederland 16
- 3.6 Individuele en collectieve doses 17

4 Gloeikousjes 19

- 4.1 Inleiding 19
- 4.2 Wetgeving 19
- 4.3 Achtergrond 20
- 4.4 Activiteiten en dosistempi 20
- 4.5 Aantallen in Nederland 20
- 4.6 Individuele en collectieve doses 21

5 Rookmelders 23

- 5.1 Inleiding 23
- 5.2 Wetgeving 23
- 5.3 Achtergrond 23
- 5.4 Activiteiten en dosistempi 24
- 5.5 Aantallen in Nederland 25
- 5.6 Individuele en collectieve doses 26

6 Cameralenzen 27

- 6.1 Inleiding 27
- 6.2 Wetgeving 27
- 6.3 Achtergrond 27
- 6.4 Activiteiten en dosistempi 28
- 6.5 Aantallen in Nederland 29
- 6.6 Individuele en collectieve doses 31

7 Beeldschermen 33

- 7.1 Inleiding 33
- 7.2 Wetgeving 33
- 7.3 Achtergrond 33
- 7.4 Activiteiten en dosistempi 34
- 7.5 Individuele en collectieve doses 34

8	Antistatische middelen 37
8.1	Inleiding 37
8.2	Wetgeving 37
8.3	Achtergrond 37
8.4	Activiteiten en dosistempi 37
8.5	Aantallen in Nederland 38
8.6	Individuele en collectieve doses 39
9	Elektronica 41
9.1	Inleiding 41
9.2	Wetgeving 41
9.3	Achtergrond 41
9.4	Activiteiten en dosistempi 42
9.5	Aantallen in Nederland 42
9.6	Individuele en collectieve doses 45
10	Tandprothesen 47
10.1	Inleiding 47
10.2	Wetgeving 47
10.3	Achtergrond 47
10.4	Activiteiten en dosistempi 47
10.5	Aantallen in Nederland 48
10.6	Individuele en collectieve doses 48
11	Keramische tegels 51
11.1	Inleiding 51
11.2	Wetgeving 51
11.3	Achtergrond 51
11.4	Activiteiten en dosistempi 52
11.5	Aantallen in Nederland 52
11.6	Individuele en collectieve doses 52
12	Bliksemafleiders 55
12.1	Inleiding 55
12.2	Wetgeving 55
12.3	Achtergrond 55
12.4	Activiteiten en dosistempi 56
12.5	Aantallen in Nederland 56
12.6	Individuele en collectieve doses 57
13	Doorslagveiligheden 59
13.1	Inleiding 59
13.2	Wetgeving 60
13.3	Achtergrond 60
13.4	Activiteiten en dosistempi 60
13.5	Aantallen in Nederland 60
13.6	Individuele en collectieve doses 61
14	Overige producten 63
15	Resultaten en discussie 65
	Referenties 69
	Bijlage 1 Verzendlijst 75
	Bijlage 2 Radioactieve rookmelders, patenten 76
	Bijlage 3 Radioactieve cameralezen, patenten 77

Bijlage 4 Radioactieve cameralenzen, merken + typen 78

Bijlage 5 Radioactieve folies 79

Bijlage 6 Radioactieve elektronica 80

Bijlage 7 Radioactieve bliksemafleiders, voorkomen en status in Europa 82

Samenvatting

In het kader van een algehele herberekening van de gemiddelde stralenbelasting van de Nederlandse bevolking is onderzoek uitgevoerd naar de stralenbelasting door gebruiksartikelen. Voor elf categorieën van gebruiksartikelen, die 1988 90% van de door gebruiksartikelen veroorzaakte collectieve dosis vertegenwoordigden, zijn gegevens verzameld over het type product, de activiteit per product, de reden waarom radioactiviteit wordt of werd toegepast, en het aantal van dit soort producten dat in Nederland gebruikt wordt. Op basis van deze gegevens is de collectieve stralendosis per categorie opnieuw ingeschat.

De bijdrage van gebruiksartikelen in de totale Nederlandse collectieve dosis werd voor 1988 geschat op 130 mensSv per jaar. De huidige door radioactieve gebruiksartikelen veroorzaakte bijdrage bedraagt naar schatting 4,6 mensSv per jaar. Deze opmerkelijke reductie blijkt te zijn veroorzaakt door afname van het werkelijk gebruikte aantal radioactieve producten (gloeikousjes), door een lagere inschatting van het aantal op basis van nieuwe gegevens (cameralenzen, radiumhoudende rookmelders), door vervanging van radioactieve door niet-radioactieve producten (gloeikousjes, tandprothesen), door het niet voorkomen van een bepaald product op de Nederlandse consumentenmarkt (laselektroden, antistatische middelen), en door een lagere inschatting van het dosistempo, namelijk op basis van meetgegevens in plaats van een 'worst case' benadering (rookmelders, beeldschermen). Er was voor de meeste onderzochte gebruiksartikelen geen significante afname van de activiteit. Samenvattend wordt 60-70% van de reductie veroorzaakt door een reële afname van het aantal radioactieve producten. Het resterende percentage wordt veroorzaakt door een lagere inschatting van het aantal producten en het dosistempo op basis van nieuwe gegevens.

De grootste dosisreductie werd gerealiseerd doordat het huidige aantal radioactieve gloeikousjes veel lager is dan in het verleden. De bijdrage van gloeikousjes in de collectieve dosis daalde hierdoor van 70 mensSv in 1988 naar 2 mensSv per jaar nu. Het totaal aantal gloeikousjes is met circa een factor drie gedaald, waarvan naar schatting nog slechts 1/10e radioactief is. Een verdere daling in de bijdrage van gebruiksartikelen is te verwachten, aangezien een aantal producten zal worden opgenomen in een lijst met niet-gerechtvaardigde toepassingen volgens het nieuwe Besluit Stralingsbescherming.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Laboratorium voor Stralingsonderzoek (LSO) van het RIVM heeft als kerntaak om de Rijksoverheid te informeren over de risico's die de Nederlandse bevolking loopt als gevolg van blootstelling aan ioniserende straling. In haar rol als expertisecentrum dient LSO daarom op de hoogte te zijn van de totale stralenbelasting van de Nederlandse bevolking, alsmede van het relatieve belang van de verschillende stralingsbronnen. Bij deze stralingsbronnen gaat het om zuiver natuurlijke bronnen (bijv. kosmische straling), natuurlijke bronnen die door menselijk handelen beïnvloed zijn (bijv. 'indoor' radon) en antropogene bronnen (bijv. nucleaire installaties). Ook dient LSO inzicht te hebben in de ontwikkelingen die zich daarbij voordoen.

Een van de problemen in de uitwerking hiervan is dat het aandachtsgebied straling over meerdere departementen versnipperd is, en dat bovendien slechts een deel van de stralenbelasting beleidsmatig is gedekt. In het kader van het MAP/SOR-project 'Belasting en risico's van straling in Nederland' is dan ook besloten om voor het referentiejaar 1998 een nieuw overzicht op te stellen van de stralingsbelasting in Nederland. Het betreft hier een update van het eerste en tot op heden meest recente complete overzicht over 1988, ook wel bekend onder de naam STRAVE [1]. Het MAP/SOR-onderzoek richt zich vooral op leemtes en onzekerheden in de kennis over bronnen die beleidsmatig niet of slechts beperkt gecontroleerd worden.

In het huidige rapport wordt op basis van de meest recente inzichten een schatting gepresenteerd van de individuele en collectieve stralingsdosis als gevolg van opslag en gebruik van consumentenproducten die al dan niet om functionele redenen radioactief materiaal bevatten. Dit rapport kan gezien worden als een nadere uitwerking van het in 2000 in opdracht van VROM uitgebrachte RIVM screeningsrapport 'Schattingen van de individuele en collectieve doses als gevolg van consumentenproducten waarin radioactieve stoffen zijn verwerkt' [2]. Doel van dit screeningsrapport was om de consequenties van voorgenomen beleid voor gebruiksartikelen als gevolg van het in te voeren Besluit Stralingsbescherming [3] door te rekenen. In het kader van dat rapport werd in een kort tijdsbestek informatie over relevante gebruiksartikelen verzameld en werden de individuele en collectieve doses voor verschillende producten berekend. Daarbij werden conservatieve aannamen gedaan met betrekking tot aantallen geproduceerde respectievelijk in gebruik zijnde producten, het dosistempo aan het oppervlak, de afstand tussen bron en blootgestelde en de blootstellingsduur. Voor verschillende producten werd geconstateerd dat recente gegevens over de hoeveelheid producten en het gebruik niet of nauwelijks beschikbaar waren. Voor een aantal berekeningen werd daarom noodgedwongen gebruik gemaakt van gegevens uit de jaren tachtig [1]. Deze constatering vormde de aanleiding om het in dit rapport beschreven aanvullend onderzoek uit te voeren. Met het beschikbaar komen van deze resultaten is een deel van de voorgenomen update van het STRAVE onderzoek gerealiseerd. Andere deelresultaten zijn of worden nog separaat gerapporteerd.

1.2 Vraagstelling

Mede op basis van de resultaten uit het screeningsonderzoek zoals beschreven in Eleveld en Pruppers [2] zijn de volgende onderzoeksvragen gesteld:

1. Welke producten vallen er in de te onderzoeken categorie consumentenproducten?
2. Welke aantallen worden er in Nederland toegepast?
3. Wat betekent het vóórkomen en het gebruik van deze producten voor de individuele en collectieve stralingsdosis van de Nederlandse bevolking?

Om deze vragen te beantwoorden werd informatie verzameld uit radiologische literatuur, maar ook uit ‘zachtere’ informatiebronnen zoals internet. De onderzoeksactiviteit richtte zich met name op het:

1. verzamelen van informatie over de voornaamste producenten en importeurs;
2. verzamelen van informatie over de toepassing van producten en de ontwikkelingen daarin;
3. inschatten van het aantal in Nederland aanwezige radioactieve producten;
4. achterhalen van de toegepaste (range aan) activiteiten;
5. beschrijven van de situatie in Nederland, mede in vergelijking tot de situatie zoals beschreven in STRAVE [1];
6. inschatten van de overige gegevens om de blootstelling aan straling van consumentenproducten te kunnen bepalen.

De belangrijke doelstellingen van dit rapport zijn het vastleggen van gegevens over verkoop en gebruik van deze producten en het uitvoeren van dosisberekeningen op basis van de nieuw beschikbare gegevens. Daarbij moet bedacht worden dat t.o.v. het STRAVE-rapport [3] ook de inzichten gewijzigd zijn m.b.t. de effecten en risico's van straling, wat onder meer geleid heeft tot aanpassing van de zogenaamde dosisconversiecoëfficiënten. In dit rapport is bij de schatting van de stralingsdosis de nadruk gelegd op de collectieve dosis tijdens de gebruiksfase van de producten.

1.3 Aanpak en leeswijzer

Voor de selectie van de gebruiksartikelen werd uitgegaan van (1) de in Eleveld en Pruppers [2] genoemde producten die de activiteits- of dosiscriteria voor gebruik en in de opslag- en handelsfase overschrijden, en (2) van de in Blaauboer et al. [1] genoemde producten met een relatief hoge collectieve dosis. Er komen zowel gebruiksartikelen aan de orde waarin radioactieve stoffen zijn verwerkt als toestellen die straling genereren. Voor de definitie van radioactieve gebruiksartikelen is uitgegaan van de definitie uit Schmitt-Hannig et al. [4] die ook in Eleveld en Pruppers [2] is gehanteerd: *‘Manufactured products or appliances or miscellaneous sources in which radionuclides have been intentionally incorporated and which can be supplied to the public without special surveillance’*. In onze interpretatie van deze definitie vallen hier zowel gebruiksartikelen waarin radioactiviteit functioneel is toegepast als producten waarin radioactiviteit een ongewild bijverschijnsel is onder. In Tabel 1.1 is een overzicht gegeven van de onderzochte producten en hun voornaamste kenmerken.

Tabel 1.1. Overzicht onderzochte gebruiksartikelen, toegepaste nuclide(n) op basis van eerdere rapportages, type bron en functionaliteit van de radioactiviteit van het product

toepassing	nuclide(n)	type bron	radioactiviteit functioneel
laselektroden	Th-232	open stof	neen
gloeikousjes	Th-232	open stof	neen
rookmelders	Ra-226, Am-241	ingek. bron	ja
cameralenzen	Th-232	ingek. bron	neen
beeldschermen	-	röntgenstraling	neen
antistat. middelen	Po-210, Am-241	ingek. bron	ja
elektronica	o.a. H-3, Co-60, Kr-85	ingek. bron	ja
tandprothesen	U-238	ingek. bron	neen
keramische tegels	Ra-226, Th-232, U-238	ingek. bron	neen
bliksemafleiders	Ra-226, Am-241	ingek. bron	ja
doorslagveiligheden	Pm-147	ingek. bron	ja

Voor het onderzoek werd van verschillende informatiebronnen gebruik gemaakt. Daarbij werd eerst generieke informatie verzameld over de producten en de toegepaste radionucliden. Vervolgens werd er meer specifieke informatie verzameld over de Nederlandse situatie. Geraadpleegd zijn:

1. Literatuurbestanden;
2. United States Patent and Trademark Office, USPTO;
3. Registratie Ingekapselde bronnen United States Nuclear Regulatory Commission, US-NRC;
4. Internet, webdiscussiegroepen [bijvoorbeeld 5];
5. Nederlandse wetgeving;
6. Dossiers afdeling Beschikkingen Ministerie SZW/Centraal kantoor AI;
7. Dossiers VROM-inspectie regio Zuidwest;
8. Importeurs, fabrikanten en winkeliers.

Op de voornaamste geraadpleegde informatiebronnen wordt in hoofdstuk 2 kort ingegaan. In hoofdstuk 3 tot en met 13 wordt per hoofdstuk een categorie gebruiksartikelen behandeld waarbij onder andere wordt ingegaan op de reden van toepassing van radioactieve stoffen, specifieke wetgeving en de aantallen die in Nederland voorkomen. Elk van deze hoofdstukken wordt afgesloten met een hernieuwde schatting van de individuele en collectieve stralingsdosis. In hoofdstuk 14 wordt kort ingegaan op enkele niet in detail beschreven gebruiksartikelen. In hoofdstuk 15, tenslotte, wordt een samenvatting van de resultaten gepresenteerd en bediscussieerd.

2 Informatiebronnen

2.1 Inleiding

Voor het onderzoek werd van verschillende informatiebronnen gebruik gemaakt. Op de belangrijkste informatiebronnen wordt hierna kort ingegaan.

2.2 Literatuuronderzoek

Er is voor de verschillende gebruiksartikelen via RIVM/BDA een literatuuronderzoek uitgevoerd in Physics Abstracts, Chemical Abstracts en Scisearch van 1970-2001. In alle gevallen werd daarin gezocht door een combinatie van apparaat en nuclide(n). Doorslagveiligheden zijn niet meegenomen in het literatuuronderzoek omdat ze pas in een laat stadium van het onderzoek zijn toegevoegd. De resultaten van het literatuuronderzoek zijn weergegeven in Tabel 2.1.

Voor een aantal producten, zoals beeldschermen en gloeikousjes, leverde het literatuuronderzoek een aanzienlijke hoeveelheid literatuur op. Voor cameralenzen en elektronica bleek zeer weinig literatuur beschikbaar te zijn. Via internet werd literatuur verkregen die een belangrijke aanvulling betekende op de reeds verzamelde radiologische literatuur. Daarvan leverde Frame en Kolb [6] een overzicht van in de Verenigde Staten aanwezige radioactieve consumentenproducten. Informatie over radioactiviteit in elektronenbuizen en cameralenzen werd verkregen via verzamelaarsliteratuur [7; 8; 9].

Tabel 2.1. Resultaten van het RIVM/BDA literatuuronderzoek voor de verschillende radioactieve gebruiksartikelen uitgedrukt in het aantal relevante publicaties per periode

periode	70-74	75-79	80-84	85-89	90-94	95-99	00-01	totaal
laselektroden ¹⁾					4	7		11
gloeikousjes ¹⁾				2	7	12		21
rookmelders ¹⁾				2	2	8		12
cameralenzen ¹⁾				2		1		3
beeldschermen	4	3	9	8	5	2	2	33
antistat. middelen	2	3	2	2	1	2		12
elektronica	1					1		2
tandprothesen	2	3	7	4	1			17
keramische tegels			2	1	1	2	2	8
bliksemafleiders ¹⁾				3	2	6		11

1) voor de betreffende producten is het literatuuronderzoek uitgevoerd over de periode 1985-heden

2.3 USPTO database

De United States Patent and Trademark Office beheert een database waarin alle Amerikaanse patenten vanaf 1790 zijn opgeslagen [10]. In de database kan met zoekwoorden gezocht worden, maar kan ook via een thesaurus worden gezocht. Deze database werd met wisselend succes geraadpleegd. Voor sommige gebruiksartikelen zoals thoriumhoudend optisch glas en radioactieve bliksemafleiders bleek de thesaurus een goede ingang. Andere producten, zoals uraniumhoudende tandprothesen en antistatische middelen bleken niet in de thesaurus te zijn opgenomen. Hierdoor moest via de zoekmachine worden gezocht. Patenten van voor circa 1970 zijn hiermee moeilijk op te sporen. Hoewel patenten geen garantie bieden voor

daadwerkelijke toepassing van een beschreven product leverde de USPTO-database voor een aantal gebruiksartikelen goede informatie over de ontwikkelingen en de gebruikte radioactieve stoffen.

2.4 Registratie Ingekapselde bronnen US-NRC

Fabrikanten zijn in de Verenigde staten verplicht hun ingekapselde bronnen te registreren bij de US-NRC [11]. Voor een aantal gebruiksartikelen is deze database geraadpleegd. Voor de antistatische middelen en de daarbij gebruikte radioactieve folies leverde de US-NRC database zeer nuttige informatie, onder andere over de verschijningsvorm en de toepassing van deze producten en over de dosistempi aan de buitenzijde van deze producten.

2.5 Nederlandse wetgeving

Voor de geselecteerde gebruiksartikelen is informatie over de Nederlandse wetgeving op het terrein van straling verkregen uit wetgeving zoals opgenomen in de Wettenbank van de SDU. Een aantal publikaties is verkregen via de site ‘Officiële Publicaties’ van de Rijksoverheid [12]. Een samenvatting van de meest relevante wetgeving is te vinden in Tabel 2.2. Details zijn te vinden in de afzonderlijke hoofdstukken.

Tabel 2.2. Overzicht van de onderzochte gebruiksartikelen en de relevante wetgeving

gebruiksartikel	nuclide	relevante wetgeving	inhoud
laselektroden	Th-232	Bs, 2001, art 4	verboden ¹⁾
gloeikousjes	Th-232	Bs, 2001, art 4	verboden ²⁾
rookmelders	Am-241	Bs, 2001 art 26	vrijgesteld bij Min. regeling
cameralenzen	Th-232	Ontwerp-besluit BKSE art. 1a	splijtstof als > 3% Th
beeldschermen	X-ray	BS, 2001 art 21	vrijgesteld ³⁾
antistatische middelen	Po-210	Bs, 2001 art 25	vrijgesteld tot 10 kBq
elektronica (met Co-60)	Co-60	Bs, 2001 art 25	vrijgesteld tot 100 kBq
tandprothesen	U-238	Ontwerp-besluit BKSE art. 1a	splijtstof als > 0,1% U
keramische tegels	Ra-226	Bs, 2001 art 25	vrijgesteld tot 10 kBq
bliksemafleiders	Ra-226	Bs, 2001 art 25	verboden ⁴⁾
doorslagveiligheden	Pm-147	Bs, 2001 art 25	vrijgesteld tot 10.000 kBq

1) tevens in Ontwerpbesluit BKSE art. 1a, splijtstof als > 3% Th

2) onder het oude BKSE art. 41, lid 2 vrijgesteld

3) In het vroegere Besluit Stralenbescherming 1986 art. 4.1 vrijgesteld bij < 5 µSv/uur op 5 cm afstand of < 1 µSv/uur op 10 cm

4) Verboden met ingang van Radioactieve stoffenbesluit KeW op 1/1/70

2.6 Dossiers KeW Rijksoverheid

Voor het verkrijgen van een vergunning in het kader van de Kernenergiewet moet een verzoek worden ingediend bij de afdeling Beschikkingen van het Ministerie van SZW/Centraal kantoor AI. Dit Ministerie fungeert als penvoerder voor de overige ministeries en zorgt voor administratie van de documenten. In de dossiers van het Bureau Beschikkingen bleek veel informatie aanwezig te zijn over het toepassen van rookmelders, antistatische middelen, bliksemafleiders en doorslagveiligheden, waardoor voor deze gebruiksartikelen een goed beeld kon worden verkregen van de Nederlandse situatie. Voor rookmelders werden naast vergunningen voor het toepassen tevens import- en opslagvergunningen geraadpleegd.

Bij het archief van de VROM-inspectie regio Zuidwest bevindt zich informatie die van belang is voor het uitvoeren van de handhavingstaken op het terrein van de Kernenergiewet. Ten dele overlapt de informatie met die aanwezig bij het Bureau Beschikkingen. De voor de geselecteerde gebruiksartikelen relevante informatie had voornamelijk betrekking op laselektroden, rookmelders, en bliksemafleiders.

Voor een aantal producten bleek in beide archieven geen informatie aanwezig te zijn. Dit is vermoedelijk toe te schrijven aan het feit dat de desbetreffende producten zijn vrijgesteld (gloeikousjes) of beneden een bepaalde limiet zijn vrijgesteld (tandprothesen, beeldschermen). Voor cameralenzen en elektronica was de informatie eveneens zeer beperkt.

3 Laselektroden

3.1 Inleiding

Thoriumoxide wordt toegepast in TIG-laselektroden. TIG-lassen staat voor ‘Tungsten Inert Gas’-lassen waarbij een wolfram laselektrode wordt gebruikt in een omgeving met een inert gas zoals argon. TIG-lassen wordt gebruikt bij het leggen van grondslagen in pijpverbindingen, bij het lassen van non-ferro materialen en wanneer kwalitatief hoogwaardig laswerk wordt vereist. Voorbeelden zijn constructiewerken, en laswerk in de vliegtuig-, de petrochemische en de machine-industrie. In verschillende publicaties wordt benadrukt dat de lasser goed moet zijn opgeleid [13]. Een goede beschrijving van TIG-lassen is te vinden in Van Sleen [14]. Volgens het Nederlands Instituut voor Lastechniek neemt TIG-lassen circa 3% van de totale lasmarkt voor zijn rekening [15]. In andere laselektroden wordt doorgaans geen thoriumoxide toegepast.

Niet alle TIG-laselektroden bevatten thorium. De thoriumhoudende laselektroden hebben echter een betere elektrische geleiding, de lasboog kan eenvoudiger worden gestart, de elektrodepunt smelt minder snel en toevoeging van thorium resulteert in een geringere contaminatie van het te lassen materiaal [14; 16]. Op de fysische karakteristieken van thoriumhoudende laselektroden wordt uitgebreid ingegaan in Paschen [17].

3.2 Wetgeving

Laselektroden die meer dan drie gewichtsprocent thorium bevatten vallen volgens de definitie in het Ontwerpbesluit BKSE onder de splijtstoffen. Volgens de Kernenergiewet (art. 15a) is het verboden splijtstoffen of ertsen te vervoeren, voorhanden te hebben, binnen of buiten Nederlands grondgebied te brengen of te doen brengen, dan wel zich daarvan te ontdoen [18]. De vrijstellings- en vrijgavegrenzen voor Th-232 zijn volgens het nieuwe Besluit Stralingsbescherming 1 Bq/g of een totaal van 1000 Bq [3]. Dit betekent dat indien men 1 à 2 laselektroden heeft, beide vrijstellingsgrenzen worden overschreden en een Kernenergiewet-vergunning nodig is. Laselektroden zullen in de ministeriële regeling met niet-gerechtigde toepassingen worden opgenomen [3, art. 4].

3.3 Achtergrond

TIG-lassen dateert van eind jaren veertig. Door General Electric werd er in 1951 op gewezen dat door toevoeging van ThO_2 wolframelektroden onder hun smeltpunt van 3380 °C konden worden gebruikt waardoor er minder slijtage optrad [19]. Thoriumhoudende laselektroden werden reeds in 1949 in de Verenigde Staten vrijgesteld van vergunningplicht; deze vrijstelling werd verruimd in 1961 [19]. Aanvankelijk bedroeg het gewichtspercentage thorium in TIG-laselektroden 1-2%¹, later werden er ook TIG-laselektroden geproduceerd met 3-4% thoriumoxide [20]. Tot 1995 was er relatief weinig aandacht voor de radiologische aspecten van thoriumhoudende laselektroden [21].

In de jaren tachtig werden wolframelektroden op de markt gebracht waar het thoriumoxide was vervangen door 2% CeO_2 . Recenter zijn wolframelektroden beschikbaar met 1½% lanthaanoxide (LaO_2 of La_2O_3). De lanthaanhoudende TIG-elektroden worden als de toekomstige standaard gezien [17; 22]. Tussen de 45-80% van de TIG-laselektroden lijkt

¹ de in dit hoofdstuk genoemde percentages Th, Ce of La betreffen gewichtspercentages

momenteel nog te bestaan uit thoriumhoudende laselektroden [15]. Verschillende bronnen geven aan dat de toevoeging van thorium op zijn retour is [o.a. 23].

3.4 Activiteiten en dosistempi

TIG-laselektroden worden in verschillende maten geleverd. Wolfram Industrie noemt standaardlengten van 50, 75, 150, en 175 mm bij diameters die variëren van 0,5 mm tot 12 mm [24]. De meest gangbare maat is 150 mm en een diameter van 2,4 mm [25; 15]. Het thoriumgehalte varieert van 1-5%. In Nederland wordt de WT20 met 1,8-2,2% ThO₂ het meest verkocht [14;15].

De activiteit van laselektroden met 2% ThO₂ bedraagt bij evenwicht 142 Bq per gram elektrode, de dichtheid bedraagt 18,8 gram per cm³ [26]. Bij een lengte van 15 cm en een straal van 0,12 cm resulteert dit in circa 1800 Bq thorium per elektrode. In Tabel 3.1 staan de door verschillende bronnen opgegeven activiteitsconcentraties samengevat. Geconcludeerd kan worden dat de activiteit van de meest gangbare elektrode (150 mm lang, 2,4 mm diameter, 2% ThO₂), ligt tussen de 1500 en 2000 Bq ThO₂. Er is daarbij vanuit gegaan dat er evenveel Bq Th-232 als Th-228 aanwezig is. De hoeveelheid Th-228 hangt in de praktijk af van de tijd die verlopen is sinds de chemische scheiding en varieert van 40 – 100% van de Th-232 activiteit [27; 28; 29]. Qua gewichtsprocenten is Th-228 verwaarloosbaar ten opzichte van Th-232 (1:7,5E+09).

Tabel 3.1. Samenvatting van de verschillende soorten laselektroden en hun thoriumgehalte. Cursieve waarden zijn berekend op basis van alleen Th-232

codering	% ThO ₂	ThO ₂ Bq/g	L mm	Ø mm	gewicht elektrode g	ThO ₂ g per el.	ThO ₂ Bq	bron
WT-10	0,8-1,2	27	150	2,4	12,8	0,128	688	30
-	2	-	150	1,6	5,7	0,117	959	20
WT-20 ¹⁾	2	163	150	2	8,9	0,182	1481	31
-	2	-	-	-	-	0,275	1130	16
-	2	81 ²⁾	150	2,4	12,8	-	1033	32
WT-20	1,7-2,2	69	150	2,4	12,8	0,255	1760	30
-	2	142	150	2,4	12,8	0,262	1788	deze publicatie
-	2	142	175	3	23,2	0,465	3300	26
WT-30	2,8-3,2	110	150	2,4	12,8	0,383	2805	30
WT-40	3,8-4,2	149	150	2,4	12,8	0,510	3800	30

1) Hee en Zerbib [31] vermelden abusievelijk WT-40

2) rapportage noemt 100 Bq/g, de berekening resulteert in 81 Bq/g Th-232

- niet bekend

Bij een laselektrode met een activiteit van 1000 Bq Th-232 is het dosistempo op 1 m afstand 0,36E-03 µSv/uur indien we uitgaan van een gammadosisconstante van 3,6E-01 µSv/uur per MBq. Saito en Ishida [32] berekenden op basis van metingen aan tien laselektroden op verschillende afstanden dosistempi van 2,0E-03 µSv/h en 3,2E-03 µSv/h op 1 meter afstand van elektroden van 1,6 respectievelijk 3,2 mm diameter. Dit komt redelijk overeen met het hierboven berekende dosistempo voor één laselektrode.

3.5 Aantallen in Nederland

In de Verenigde Staten bedroeg de verkoop van thoriumhoudende laselektroden begin jaren tachtig 5,2 miljoen per jaar [16]. Momenteel bedraagt het gebruik 4-5 miljoen per jaar [19]. In

Frankrijk worden jaarlijks meer dan 2 miljoen thoriumhoudende laselektroden verbruikt [31] en in Duitsland tussen de 60 en 80 ton per jaar, hetgeen overeenkomt met 4,6-6,2 miljoen laselektroden [26]. Indien we deze aantallen als uitgangspunt nemen en verrekenen met het aantal inwoners, dan zou het gebruik in Nederland tussen de 285.000 en 1.200.000 laselektroden per jaar moeten liggen.

Halverwege de jaren negentig werd de verkoop van thoriumhoudende laselektroden in Nederland geschat op 7000 – 30.000 per jaar [25]. Dit aantal lijkt gezien de bovengenoemde aantallen erg laag. Verbruik van 10 thoriumhoudende laselektroden per lasser per jaar levert bij 20.000 lassers [1] een totaal van 200.000 laselektroden op. Noch het Nederlandse Instituut voor Lastechniek (NIL), noch de Vereniging voor Lastechniek (Vlatec) konden informatie leveren over de aantallen in Nederland verkochte thoriumhoudende laselektroden [33; 34].

Het gebruik van TIG-laselektroden in de thuissituatie is beperkt. TIG-lassen is duur en vereist speciale apparatuur en behendigheid. Bij de grotere Nederlandse Doe-Het-Zelf ketens worden geen thoriumhoudende TIG-laselektroden verkocht [15]. Er zijn daarom alleen berekeningen uitgevoerd voor professioneel lassen.

3.6 Individuele en collectieve doses

Door verschillende auteurs wordt aangegeven dat de grootste dosis wordt veroorzaakt door het slijpen van TIG-laselektroden en het inademen van het slijpsel. De dosis die optreedt door externe bestraling vanuit de lasstaaf is veel geringer. De in Ludwig et al. [29] gepresenteerde waarden voor de inhalatie van Th-232 door 26 lassers ten gevolge van lassen en slijpen variëren van 0,1 tot 150 Bq per jaar. Deze waarden komen, bij een dosiscoëfficiënt van $2,5E-05$ Sv/Bq, overeen met een individuele dosis van 2,25-3760 μ Sv per jaar. De mediane individuele dosis bedroeg 110 μ Sv per jaar. Jankovic et al. [19] rapporteren inhalaties die op jaarbasis resulteren in een inname van 0,2-115 Bq Th-232 per jaar. De doses worden sterk bepaald door de manier van slijpen, de positie van de slijper, het al of niet aanwezig zijn van afzuigers en/of ventilatie, het dragen van beschermkapjes en het feit of al het slijpwerk door één persoon geschiedt of door de lassers zelf [19; 29]. Door verschillende auteurs wordt aangegeven dat de individuele dosis aanzienlijk kan worden verlaagd door hier rekening mee te houden. De gerapporteerde individuele doses zijn samengevat in Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Berekende individuele en collectieve doses ten gevolge van thoriumhoudende laselektroden

Th-232 per laselektrode kBq	ind. dosis per lasser μ Sv/a	land	aantal producten	aantal blootgest.	collectieve dosis mensSv/a	bron
1,13E+00	170	USA	5,2E+06	3E+05	50	16
-	160	NL	-	2E+04	3,2	1
-	4-2900	USA	4 -5E+06	-	-	19
-	2-3800 ¹⁾	D	-	-	-	29
-	5000-20.000	D	-	-	-	30
-	0	NL	0	0E+00	0	deze studie, thuis
-	110	NL	2E+05	2E+04	2	deze studie, werk

1) gemiddelde 110 μ Sv/a

- niet bekend

Voor berekening van de collectieve dosis is uitgegaan van een gemiddelde individuele dosis van 110 μ Sv per jaar zoals gerapporteerd door Ludwig et al. [29] en van 20.000 professionele gebruikers die tien laselektroden per jaar gebruiken. Dit resulteert in een collectieve dosis van

2 mensSv per jaar. Voor een onderbouwing van het hier gebruikte aantal is nader onderzoek naar het gebruik van thoriumhoudende laselektroden en de vervanging daarvan door niet-thoriumhoudende laselektroden bij de verschillende lasbedrijven nodig. Er wordt aangenomen dat gebruik van TIG-laselektroden in de thuissituatie niet plaatsvindt, de collectieve dosis in de categorie gebruiksartikelen is derhalve 0 mensSv.

4 Gloeikousjes

4.1 Inleiding

In radioactieve gloeikousjes wordt thoriumoxide gebruikt. Het katoenen gloeikousje wordt in een mengsel van thorium- en ceriumnitraat gedoopt (99:1). Deze verhouding was tot eind jaren tachtig de standaard voor verschillende soorten gloeikousjes. Bij het eerste gebruik verbrandt het katoenen kousje en wordt het thorium/ceriumnitraat omgezet in een schaalte van thorium- en ceriumoxide. Bij verhitting verspreidt het gloeikousje een fel wit licht waarvan de lichtsterkte zes maal hoger is dan van een gasvlam.

Er zijn twee typen gloeikousjes in de handel: harde voorgevormde gloeikousjes en zachte gloeikousjes. De harde gloeikousjes worden gebruikt voor specifieke lampen binnenshuis, in caravans of in woonboten, en voor straatverlichting, signaallampen, verlichting van boeien e.d. Deze kousjes zijn voorzien van een schroefdraad of een bajonet en zijn daardoor niet onderling uitwisselbaar (Figuur 4.1). De zachte gloeikousjes worden gebruikt voor campinglampen en zijn voor een groot deel wel uitwisselbaar.



Figuur 4.1. Voorbeelden van twee merken harde, voorgevormde gloeikousjes. Links een niet-radioactief gloeikousje, rechts een radioactief gloeikousje.

4.2 Wetgeving

Gloeikousjes met thorium waren vrijgesteld van de vergunningplicht op grond van artikel 41, lid 2 van het Besluit Kerninstallaties, Spleijstoffen en Ertsen [35]. Met de herziening van het besluit Stralenbescherming en het BKSE zijn gloeikousjes opgenomen in de regelgeving zoals beschreven in het huidige Besluit Stralingsbescherming. Ze zullen worden opgenomen in de lijst met niet-gerechtvaardigde toepassingen [3, art. 4].

4.3 Achtergrond

De eerste patenten voor ‘incandescent mantle compositions’ in de USPTO-database dateren van 1867. In totaal werden 124 patenten aangetroffen die betrekking hadden op de samenstelling van gloeikousjes. Er werden 269 patenten aangetroffen die betrekking hadden op de gloeikousjes zelf, waarvan er ruim 200 van voor 1920 dateren.

Na de uitvinding van de thoriumhoudende gloeikous, rond 1885 door Von Welschbach, groeide de markt snel totdat de (straat)gaslampen aan het begin van de 20e eeuw werden vervangen door elektrisch licht. De productie van gloeikousjes nam sterk af en rond 1925 was thorium een relatief onbelangrijk product. Op sommige plaatsen, zoals Berlijn en Düsseldorf, zijn gaslampen met (harde) gloeikousjes nog steeds in gebruik voor straatverlichting [26]. De lampen met een drukpomp die tegenwoordig door kampeers worden gebruikt kwamen tussen 1910 en 1920 voor het eerst op de markt [36; 37]. De zachte gloeikousjes, die gebruikt worden voor campinglampen, vormen momenteel verreweg de grootste markt.

De eerste patenten voor niet-radioactieve gloeikousjes dateren van 1985 en 1986 en zijn afkomstig van het Franse Commissariat à l’Energie Atomique en de Coleman Company Inc [10]. Het thorium in de gloeikousjes is vervangen door een mengsel waarin o.a. zirkoon, yttrium en cerium voorkomen. Deze niet-radioactieve gloeikousjes zijn vanaf het begin van de jaren negentig op de markt. Het percentage niet-radioactieve kousjes is sindsdien sterk toegenomen.

4.4 Activiteiten en dosistemp

De radioactiviteit in gloeikousjes varieert sterk, zowel tussen merken onderling als tussen batches. In de literatuur worden activiteitsconcentraties genoemd tussen 259 en 4560 Bq per gloeikousje [38; 28; 39]. De gemiddelde door Sadagopan et al. [28] gerapporteerde Th-232-activiteit voor 18 merken gloeikousjes bedroeg 1200 Bq. Zij gaan tevens in op de aanwezigheid van Th-228 en de ingroei van de dochterproducten, waardoor de totale activiteit aanzienlijk hoger kan zijn. Huyskens et al. [27] geven een typische activiteitsconcentratie van 1000 Bq Th-232 op, maar nemen in hun berekening de ingroei van dochternucliden mee. Furuta et al. [40] rapporteerde vier niet-radioactieve gloeikousjes en zeven radioactieve gloeikousjes met een Th-232-activiteit variërend van 64 tot 730 Bq. Het gammadosis tempo van een gloeikous met 610 Bq Th-232 was op 1 meter niet meetbaar, maar bedroeg op het oppervlak 0,74 µSv per uur. Huyskens et al. [27] berekenden een dosistempo van 3E-04 µSv per uur op 1 meter afstand.

4.5 Aantallen in Nederland

Harde gloeikousjes die op de Nederlandse markt voorkomen worden geproduceerd door Falks Veritas op Malta, en door Auer in Berlijn. Het merk Aladdin wordt geproduceerd in Brazilië en Truma op Malta. Zachte gloeikousjes worden binnen Europa geproduceerd in Spanje, Malta (Falks Veritas), Italië (Auer) en Wenen (Luxor). Verschillende producenten leveren naast het eigen merk zachte gloeikousje ook merkloos of leveren aan onder een andere merknaam. Een zeer groot deel van de zachte gloeikousjes wordt geproduceerd in China.

De wereldmarkt voor gloeikousjes werd in 1985 geschat op 300 miljoen per jaar [US Patent 4,532,073]. Marius Braber schat het aantal momenteel op 80 miljoen per jaar [41]. Voor 1985 werd de Nederlandse markt geschat op 700.000 [27]. Door Blaauboer et al. [1] werd uitgegaan van 100.000 gloeikousjes per jaar. De totale markt aan zachte kousjes bedraagt momenteel

200.000 - 250.000 [41]. De Nederlandse markt aan harde kousjes wordt geschat op maximaal 10.000 stuks jaarlijks. De verhouding zachte:harde kousjes komt voor Nederland grofweg overeen met die geschat voor de Verenigde Staten [16].

Tabel 4.1. De verschillende merken in Nederland verkochte gloeikousjes, de importeur en het jaar dat de niet-radioactieve gloeikousjes werden geïntroduceerd

merk gloeikousje	land van herkomst	importeur	radio-actief	jaar	aantallen per jaar
<u>harde gloeikousjes</u>					
Falks Veritas	Malta	-	neen	1992	
Auer(licht)	Duitsland	Gimeg	ja	-	
Aladdin	Brazilië, USA	Van Assendelft	ja	-	
Truma	Malta	CMC	neen	1992	
Truma	Malta	Gimeg	neen	1992	
TOTAAL					10.000
<u>zachte gloeikousjes</u>					
Anchor ¹⁾	China	²⁾	ja	-	
Butterfly 500 K	-	Van Assendelft	neen	³⁾	
Camping Gaz/ Coleman	Oostenrijk	Coleman	neen	1992	
Camp Quality	China	Van Assendelft	neen	ca 1998	
Camp King	Malta	Umefa	neen	ca 1995	
Falks Veritas	Malta	-	neen	1992	
Foker	Italië	Badé	neen	³⁾	
Gimeg	China	Gimeg	neen	ca 1995	
200 CP = 100 Watt	China	Badé	neen	ca 1998	
CMC	China	CMC	neen	ca 1998	
Merkloos	-	²⁾	ja	-	
Primus ¹⁾	China	Robijns BV	neen	1996	
TOTAAL					200.000–250.000

1) wordt met lampen meegeleverd.

2) importeur onbekend

3) jaar introductie niet-radioactieve kousjes onbekend

- niet bekend of niet van toepassing

Een overzicht van de in Nederland verkochte merken gloeikousjes is gegeven in Tabel 4.1. Geschat wordt dat hooguit 5% van de in Nederland afgezette zachte gloeikousjes nog radioactief is. Dit percentage zal nog verder zal afnemen, mede doordat thoriumhoudende gloeikousjes op de lijst met niet-gerechtvaardigde toepassingen geplaatst zullen worden [3]. De afname is in overeenstemming met de trend in andere West Europese landen [42; 26]. Van de harde gloeikousjes is minder dan de helft nog radioactief. Vervanging door niet-radioactieve gloeikousjes zal hier langzamer verlopen vanwege het feit dat de gloeikousjes uniek zijn voor een bepaalde lamp en de markt beperkt van omvang is [43]. Het verbieden van thoriumhoudende gloeikousjes door plaatsing op de lijst met niet-gerechtvaardigde toepassingen zal dit proces echter kunnen versnellen.

4.6 Individuele en collectieve doses

Gloeikousjes werden in het verleden als de voornaamste bron van ioniserende straling door gebruiksartikelen gezien in het Verenigd Koninkrijk en in Nederland [1; 42]. De bijdrage in de collectieve dosis is tegenwoordig beperkt [42].

Door verschillende auteurs wordt aangegeven dat de grootste dosis ten gevolge van het gebruik van radioactieve gloeikousjes het gevolg is van inhalatie van thorium tijdens het branden van de gloeikousjes en tijdens het verwisselen van de gloeikousjes [27]. De dosis ten gevolge van inslikken van thoriumoxide, inademen van radongas en externe bestraling zijn verwaarloosbaar. Huyskens et al. [27] berekenden een dosis van 30-70 μSv per gloeikous hetgeen bij verbranden van twee gloeikousjes per jaar resulteert in een individuele dosis van 60-140 μSv per jaar. NCRP rapporteerde een gemiddelde van 2 μSv per jaar met maxima tot 200 μSv per jaar. De collectieve dosis voor Nederland werd door Huyskens et al. [27] voor 1985 geschat op 30-76 mensSv. Blaauboer et al. [1] berekenden een dosis van 70 mensSv per jaar, Eleveld en Pruppers [2] 35 mensSv per jaar.

Tabel 4.2. Berekende individuele en collectieve doses ten gevolge van radioactieve gloeikousjes.

Th-232 per gloeikous kBq	individuele dosis $\mu\text{Sv/a}$	land	aantal producten	aantal blootgest.	collectieve dosis mensSv/a	bron
-	2	USA	25E+06	25E+06	40	16
1,0E+00	60-140	NL	7E+05	7E+05	30-76	27
1,8E+00	100	NL	1E+05	7E+05	70	1
1,8E+00	50	NL	-	7E+05	35	2
1,8E+00	100	NL	2E+04	2E+04	2	deze studie

Bij de berekeningen is er vanuit gegaan dat twee kampeerders twee gloeikousjes per jaar gebruiken [27]. Voor de dosis per gloeikous is, conform de berekeningen in Eleveld en Pruppers [2], 50 μSv aangehouden hetgeen resulteert in een individuele dosis van 100 μSv per jaar. De individuele dosis kan aanmerkelijk hoger liggen indien oudere gloeikousjes worden gebruikt (ingroei) en als het ventilatievoud veel geringer is dan de 2 per uur waar Huyskens et al. [27] vanuit gaan. Deze situatie kwam in het verleden vaak voor bij de verlichting van (sta)caravans en woonboten. Voor de berekening van de collectieve dosis is er vanuit gegaan dat 10.000 harde en 10.000 zachte gloeikousjes thorium bevatten, hetgeen resulteert in een collectieve dosis van 2 mensSv per jaar (Tabel 4.2). Deze collectieve dosis is vermoedelijk aan de hoge kant gezien het hoog ingeschatte aantal radioactieve gloeikousjes.

5 Rookmelders

5.1 Inleiding

Ionisatierookmelders bevatten een radioactieve bron die de lucht in de melder ioniseert. In de meeste gevallen betreft het een Am-241 of een Ra-226 bron die α -deeltjes genereert. Doordat in de melder een elektrisch veld is aangelegd gaat er een stroompje lopen dat afhankelijk is van de aangelegde spanning en de weerstand in de melder. Bij verbranding ontstaan er roetdeeltjes die de verplaatsing van de ionen in de melder verstoren, waardoor de stroomsterkte kleiner wordt. Hierdoor gaat het alarm af [10; 44].

De bronnetjes in de ionisatierookmelders bestaan zonder uitzondering uit metaalfolie waarin het radioactief materiaal is ingebed. Een uitgebreide beschrijving van dergelijke folies is te vinden in de Registry of sealed sources van de US-NRC. Informatie over de ontwikkeling van deze folies en het transport ervan is gegeven in NRPB/GRS [26].

5.2 Wetgeving

Ionisatierookmelders bevatten een kleine radioactieve bron en vallen daarom onder de Kernenergiewet. Totdat in 1984 een dereguleringsbeleid werd ingezet waren alle ionisatierookmelders vergunningplichtig. Het dereguleringsbeleid ten aanzien van ionisatierookmelders was gebaseerd op Artikel 6, lid 3 van het besluit Stralenbescherming 1986: *‘Onze Ministers kunnen bij de aanwijzing bepalen dat het verbod slechts niet geldt in daarbij aangewezen gevallen; zij kunnen tevens bij de aanwijzing bepalen dat door hen gegeven voorschriften moeten worden nageleefd.’* [45]. De vrijstelling is in het huidige Besluit Stralingsbescherming opgenomen onder artikel 26 [3].

Het dereguleringsbeleid houdt in dat het gebruik van ionisatierookmelders is vrijgesteld van vergunningplicht mits aan een aantal voorwaarden is voldaan. Eén van die voorwaarden is dat het betreffende type rookmelder moet zijn aangemeld bij het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. De lijst van vrijgestelde rookmelders wordt tezamen met een toelichting enkele malen per jaar gepubliceerd in de Staatscourant. Melders met een activiteit van meer dan 3,7 kBq Ra-226 of 37 kBq Am-241 zijn nog steeds vergunningplichtig. Voor het fabriceren van ionisatierookmelders, fabrieksmatig reinigen van de radioactieve bron, evenals het importeren en de opslag van meer dan 50 stuks blijft een vergunning eveneens vereist [46]. Het Ministerie van VROM heeft in een beleidsnotitie aangegeven dat verkoop van ionisatierookmelders voor huishoudens per 2005 zal worden verboden [47]. Met ingang van 1 januari 2002 wordt het plaatsen van rookmelders in nieuwbouwwoningen verplicht, maar zijn daarvoor alleen optische rookmelders toegestaan [47].

5.3 Achtergrond

Uit de USPTO-database werden 115 patenten geselecteerd die betrekking hadden op ionisatierookmelders [CCL 250/381]. Informatie van een deel daarvan, en van enkele optische rookmelders, is samengevat in Bijlage 2.

De eerste patenten voor ionisatierookmelders dateren van de jaren veertig. Deze ionisatierookmelders bestonden uit twee ionisatiekamers en waren bedoeld voor de professionele markt. Aanvankelijk werden voor branddetectie zogenaamde warmtetectoren gebruikt. Vanwege het feit dat ionisatierookmelders een beginnende brand eerder signaleerden en

omdat er in plaats van twee of meer warmtedetectoren kon worden volstaan met één ionisatierookmelder werden ionisatierookmelders populairder [48].

Reeds in de eerste patenten wordt melding gemaakt van het gebruik van α -deeltjes voor de detector. In veel gevallen wordt geen nuclide genoemd. In een overzicht van de OECD uit 1977 worden naast Ra-226 en Am-241 ook Pu-238, Kr-85 en Ni-63 genoemd. Ra-226 rookmelders waren bij het verschijnen van het OECD-rapport al voor een groot deel vervangen door Am-241 rookmelders. De gebruikte activiteit bedroeg aanvankelijk tussen de 18,5 en 5000 kBq Am-241. In 1977 was de toegepaste activiteit sterk afgenomen en bedroeg deze doorgaans minder dan 37 kBq [48].

De penetratiegraad van ionisatierookmelders in verschillende bedrijven, ziekenhuizen en scholen bedroeg in 1977 circa 10%, maar bij woningen slechts 1%. Plaatsing in woningen vond plaats vanaf 1974 [48]. In woningen treft men nu voornamelijk ionisatierookmelders. De verwachting is dat mede vanwege het milieuaspect optische rookmelders in aantal zullen toenemen [44].

5.4 Activiteiten en dosistempi

Informatie over de activiteit is zowel uit de lijst in de ‘Regeling aanwijzing rookmelders Kernenergiewet’, als uit de import- en opslagvergunningen verkregen. Beide bevatten informatie over ionisatierookmelders voor de consumentenmarkt en de professionele markt. Omdat deze bronnen geen informatie leveren over het aantal verkochte ionisatierookmelders, moeten de berekende gemiddelde activiteiten als benadering worden beschouwd.

Van de in de Staatscourant vermelde 203 vrijgestelde ionisatierookmelders bevatten er zes 5 kBq Ra-226, de overige bevatten Am-241 [46]. De gemiddelde activiteit van de geregistreerde ionisatierookmelders is tussen 1995 en 2000 nauwelijks gewijzigd en bedroeg in 2000 32,5 kBq voor Am-241 en 5 kBq voor Ra-226 (Tabel 5.1).

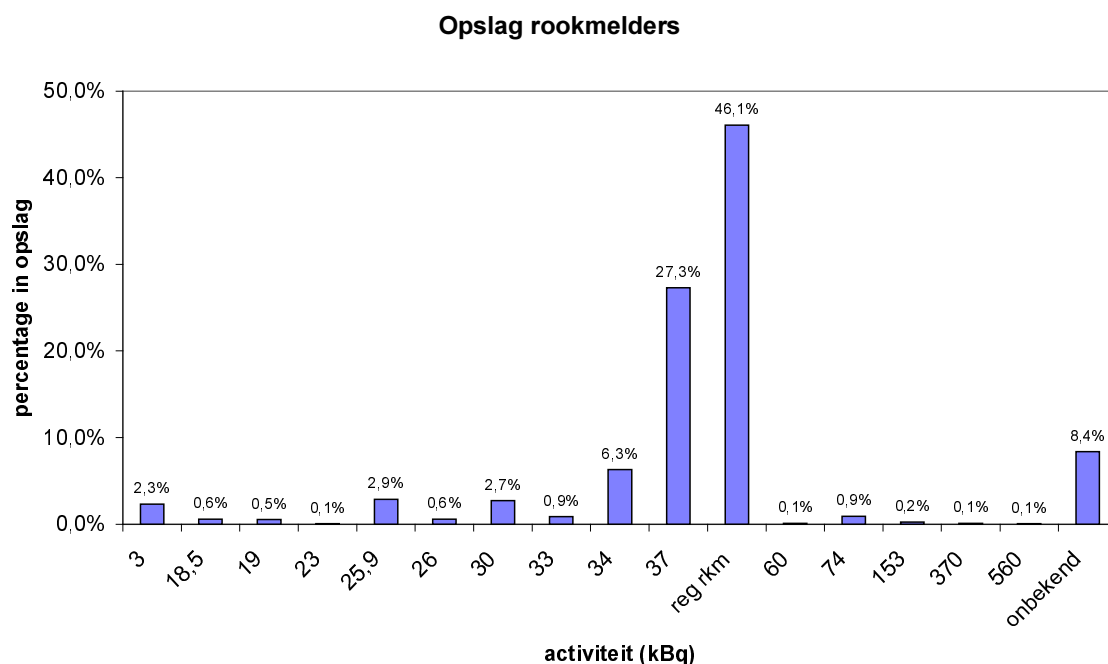
Tabel 5.1. Vrijgestelde rookmelders in 1995 en 2000 [49; 46]

nuclide	1995			2000		
	aantal modellen	gemiddelde activiteit kBq	maximale activiteit kBq	aantal modellen	gemiddelde activiteit kBq	maximale activiteit kBq
Ra-226	6	5	5	6	5	5
Am-241	123	32,3	40	197	32,5	40

Bij opslag van meer dan 50 ionisatierookmelders is een opslagvergunning vereist. Er werden opslagvergunningen van 13 bedrijven onderzocht uit de periode 1989-2001. Niet alle importeurs beschikken over een opslagvergunning. Het totaal aantal in de vergunningen genoemde ionisatierookmelders bedroeg 87.000. In alle gevallen waar een nuclide werd vermeld betrof het rookmelders met Am-241. In circa 10% was geen activiteit of nuclide opgegeven, in 50% werd vermeld dat het gedereguleerde rookmelders betrof, en in 30% betrof het ionisatierookmelders met een activiteit van 37 kBq Am-241. Slechts 1,5% had betrekking op ionisatierookmelders met een activiteit van meer dan 40 kBq (Figuur 5.1).

Het overzicht van gedereguleerde rookmelders en de gegevens van de import- en opslagvergunningen geven aan dat in Nederland voornamelijk ionisatierookmelders met Am-241 worden verkocht. De gemiddelde activiteit van de in Nederland verkochte ionisatierookmelders ligt rond de 35 kBq Am-241, hetgeen aanzienlijk hoger is dan de voor het Verenigd Koninkrijk vermelde activiteit van 18,5 kBq Am-241 [26]. Volgens zowel NIBRA als AJAX Brandpreventie BV is het percentage Ra-226 ionisatierookmelders

verwaarloosbaar [50; 51]. Er zijn geen meldingen van ionisatierookmelders met Ni-63, Kr-85 of Pu-238 aangetroffen in de import- en opslagvergunningen.



Figuur 5.1. Verdeling van de aantallen in opslagvergunningen vermelde ionisatierookmelders naar activiteit. Reg rkm = ionisatierookmelders vermeld onder de Regeling aanwijzing rookmelders met een activiteit van maximaal 37 kBq Am-241 of 3,7 kBq Ra-226.

De OECD [48] schrijft voor dat het dosistempo op 0,1 meter van het oppervlak van de rookmelder niet hoger mag zijn dan 1 μSv per uur. De NRPB heeft voor een aantal merken ionisatierookmelders het dosistempo op 0,1 meter afstand onderzocht. De maximale dosistempi bedroegen bij vier merken rookmelders, elk met een activiteit van 33,3 Am-241, tussen de 2,0E-02 en 2,3E-03 μSv per uur.

5.5 Aantallen in Nederland

De Jong [52] schatte op basis van door importeurs verstrekte gegevens dat er in Nederland 800.000 rookmelders waren geïnstalleerd. Het aantal in woningen aanwezige rookmelders was nog beperkt. Door Blaauboer et al. [1] werd het aantal in kantoren aanwezige rookmelders geschat op 1,6 miljoen en het aantal in woonhuizen aanwezige rookmelders op 30.000. Eleveld en Pruppers [2] gingen in hun berekeningen uit van 800.000 rookmelders met Ra-226 en 800.000 rookmelders met Am-241.

Per jaar worden naar schatting 400.000-500.000 rookmelders afgezet op de particuliere markt waarvan meer dan 75% afkomstig van de firma's AJAX BV en BRS met respectievelijk de merken AI en First Alert [50; 51]. In de Beleidsnotitie Rookmelders [47] wordt geschat dat er in Nederland meer dan 1 miljoen rookmelders verkocht zijn, ten behoeve van ongeveer 10% van de Nederlandse huishoudens. Het huidige aantal in woonhuizen aanwezige rookmelders wordt geschat op 1,4 miljoen (15% x 6,4 miljoen huishoudens x 1,5 melder per huishouden).

5.6 Individuele en collectieve doses

In de berekeningen van de NCRP voor de Verenigde Staten werd uitgegaan van ionisatierookmelders met een activiteit van 110 kBq Am-241 of 2 kBq Ra-226, waarbij werd aangegeven dat Ra-226 rookmelders niet meer werden verkocht. De bijbehorende collectieve doses bedroegen respectievelijk 8 en 0,25 mensSv.

Blaauboer et al. [1] veronderstelden dat voor woningen slechts Am-241 rookmelders beschikbaar waren. De gemiddelde individuele dosis was vergelijkbaar met die vermeld in NCRP [16], hetgeen bij een groepsomvang van 30.000 resulteerde in een collectieve dosis van 0,002 mensSv per jaar. De collectieve dosis ten gevolge van ionisatierookmelders in openbare gebouwen bedroeg 0,18 mensSv per jaar. In deze berekeningen werd er vanuit gegaan dat per rookmelder 2 personen worden blootgesteld.

Door Eleveld en Pruppers [2] werd een conservatieve schatting van de doses gemaakt omdat bronzelfabsorptie niet in de berekening werd meegenomen en het aantal rookmelders hoog werd ingeschat. De berekeningen zijn uitgevoerd met de gamma dosisconstanten van Ra-226 respectievelijk Am-241, een afstand van 2 m en een blootstelling van 16 uur gedurende 365 dagen en resulteerden in een individuele dosis van 1,4 μ Sv voor Ra-226 en 0,9 μ Sv voor Am-241 en een collectieve dosis van 1,8 mensSv.

Voor de hier gepresenteerde berekening werd uitgegaan van het maximaal gemeten dosistempo van 2,0E-02 μ Sv per uur op 0,1 m. Dit levert bij een blootstelling op 3 meter gedurende 16 uur per dag een individuele jaardosis op van 0,13 μ Sv en een collectieve dosis van 0,31 mensSv per jaar. Daarbij is er vanuit gegaan dat in 15% van de 6,4 miljoen huishoudens ionisatierookmelders aanwezig zijn, hetgeen resulteert in 2,4 miljoen blootgestelde personen.

Er is er daarnaast vanuit gegaan dat 10 miljoen werknemers en scholieren op de werkplek blootstaan aan straling vanuit rookmelders. Uitgaande van een blootstelling aan een rookmelder met het hierboven vermelde dosistempo op 3 meter afstand gedurende 200 dagen van 8 uur, resulteert dit in een collectieve dosis van 0,36 mensSv per jaar. Dit levert gezamenlijk een collectieve dosis op van ongeveer 0,7 mensSv per jaar (Tabel 5.2).

Tabel 5.2. Dosis berekend in deze studie vergeleken met die van voorgaande studies voor de gebruiksfase van ionisatierookmelders.

nuclide	gemiddelde activiteit kBq	individuele dosis μ Sv/a	land	aantal blootgest.	collectieve dosis mensSv/a	bron
Ra-226	2	1,2E-01	USA	2,1E+06	2,52E-01	16
Am-241	110	8E-02	USA	1E+08	8E+00	16
Am,Ra,Kr	variabel	-	NL	1,6E+06	1,8E-01	1
Am-241	37	7E-02	NL	3E+04	2E-03	1, thuis
Ra-226	3,7	1,4E+00	NL	8E+05	1,1E+00	2
Am-241	37	9E-01	NL	8E+05	7E-01	2
Am-241	33,3	1,3E-01	NL	2,4E+06	3,1E-01	deze studie, thuis
Am-241	33,3	3,6E-02	NL	1 E+07	3,6E-01	deze studie, werk

6 Cameralenzen

6.1 Inleiding

Optisch glas wordt gemaakt door het samensmelten van verschillende grondstoffen waarvan SiO_2 van oorsprong een belangrijk bestanddeel vormt. Het glas moet homogeen zijn, chemisch stabiel, geen bellen bevatten, en hard en weerbestendig zijn. Bovendien moet de absorptie van licht gering zijn. Elk soort glas wordt gekarakteriseerd door de brekingsindex van heliumgeel, n_d , en het dispersiegetal v_d ¹.

De combinatie van de brekingsindex en het dispersiegetal is van belang voor de optische kwaliteiten van het glas. Door SiO_2 te vervangen door La_2O_3 of BaO verkreeg men glassoorten die een extreem hoge breking met een veel lagere dispersie combineerden dan het tot dan toe gebruikelijke glas. Door toevoegen van ThO_2 werd hetzelfde bereikt. De thoriumhoudende glassoorten worden vooral gekarakteriseerd door de hoge brekingsindexen (n_d : 1,65 - 1,90) en v_d -waarden die variëren tussen 35 en 60 en worden zonder uitzondering gerekend tot de lanthaankroon- of lanthaanflint-glassoorten². Een goede uitleg over optisch glas is te vinden in Kingslake [53] en Smith en Genesee Optics Software Inc [54]. Een goede introductie ten aanzien van de radiologische aspecten van thoriumhoudend glas is te vinden in McMillan en Horne [55].

6.2 Wetgeving

Lenzen die meer dan drie gewichtsprocent thorium bevatten vallen volgens de definitie zoals gegeven in het Ontwerpbesluit BKSE onder de splijtstoffen. Volgens artikel 15, lid a van de Kernenergiewet is het verboden splijtstoffen of ertsen te vervoeren, voorhanden te hebben, binnen of buiten Nederlands grondgebied te brengen of te doen brengen, dan wel zich daarvan te ontdoen [18]. De vrijstellings- en vrijgavegrenzen voor Th-232 zijn volgens het nieuwe Besluit Stralingsbescherming 1 Bq/g of een totaal van 1000 Bq [3].

6.3 Achtergrond

Door de uitvinding van lenscoating aan het eind van de jaren dertig van de vorige eeuw werd het mogelijk complexere objectieven, met meer elementen, te produceren. Hierdoor werd een betere correctie mogelijk. Het gebruik van specifieke glassoorten was daarvoor wel vereist. Experimenten met ‘zeldzame aarden’³ zoals lanthaan waren reeds in 1920 gestart en leidden uiteindelijk tot patenten voor Eastman Kodak in 1935 en voor Jenaer Glasswerke in 1939 [56]. In Japan vonden direct na de Tweede Wereldoorlog vergelijkbare inspanningen plaats. Vanaf 1951 werden door Minolta Co. Ltd., Fuji Photo Film Co. Ltd., Konika Corporation, Ohara Inc., en Nikon Corporation, gezamenlijk acht nieuwe optische glassoorten geproduceerd met zeldzame aarden, zoals lanthaan en thorium [57]. Het eerste thorium-

¹ Het dispersiegetal wordt berekend door $v_d = n_d - 1/(n_f - n_c)$, waarbij n_f en n_c de brekingsindices van respectievelijk waterstofrood en waterstofblauw zijn. Vaak worden ook de synoniemen Abbe-getal of V-waarde gebruikt.

² Op basis van het dispersiegetal (v_d) wordt flintglas en kroonglas onderscheiden. Flintglas heeft een $v_d < 50$ en kroonglas een $v_d > 50$. Afhankelijk van de voornaamste componenten van het glas kan het glas nog een extra codering meekrijgen, zoals BaF, flintglas dat bariumoxide bevat of LaK, kroonglas dat lanthaanoxide bevat.

³ In de glasindustrie rekent men meestal alleen de Lanthanide serie + de elementen scandium, yttrium en thorium tot de zeldzame aarden in plaats van alle 30 elementen van de Lanthanide en Actinide serie.

houdende glas, ontwikkeld door Eastman Kodak, werd toegepast in de Aero Ektar-lenzen die in de 2e Wereldoorlog werden gebruikt voor luchtfotografie. Thoriumhoudende lenzen voor de consumentenmarkt werden door verschillende cameraproductoren geproduceerd tussen circa 1950 en 1980 en betroffen zonder uitzondering lichtsterke tot zeer lichtsterke lenzen.

6.4 Activiteiten en dosistempi

Thoriumgehaltenes in glas

In een aantal glassoorten is thorium toegepast om de optische kwaliteit te verbeteren. In Amerikaanse patenten worden thoriumgehaltenes genoemd tot 41% (Bijlage 3). De in de patenten genoemde glassoorten zijn ten dele geproduceerd. Frame en Kolb [6] geven een overzicht van door Kodak en Schott geproduceerd optisch glas met tussen de 5 en 30% ThO₂. Productie van thoriumhoudend glas door Kodak vond plaats tussen 1940 en 1980 [5]. Behalve voor cameralenzen werd het thoriumhoudend glas ook toegepast voor oculairs en objectieven voor microscopen [6; 16; 58].

Naast bewust toepassen van thorium is het ook mogelijk dat thorium als contaminant is meegekomen bij de productie van lanthaan of andere ‘zeldzame aarden’ uit monaziet. *‘Monazite also contains thorium and yttrium which makes handling difficult since thorium and its decomposition products are radioactive. For many purposes it is not particularly necessary to separate the metals, but if separation into individual metals is required, the process is complex.’* [59]. De activiteit van dit soort glas zal echter geringer zijn dan de hierboven genoemde thoriumhoudende glassoorten. Het radioactieve La-138 zal, gezien de halfwaardetijd van dit nuclide (1,35E+11 jaar), het geringe relatieve voorkomen (0,1%) en de lanthaanconcentratie in het glas, als bron van activiteit van geringe betekenis zijn.

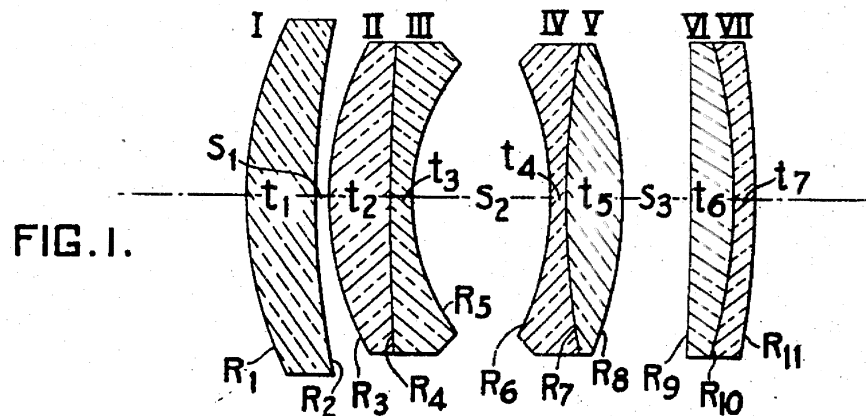
Lanthaan en andere zeldzame aarden worden nog steeds toegepast in allerlei soorten glas. Voorbeelden daarvan zijn eyepieces voor telescopen van het merk ‘Orion’, van de Pentax XL-serie en van het merk Vixen en in de prisma’s van sommige verrekijkers. In hoeverre deze glazen radioactief zijn is niet bekend [zie o.a. 60].

Radioactieve objectieven

Voor een overzicht van thoriumhoudende objectieven is gebruik gemaakt van informatie op internet, webdiscussiegroepen, foto- en cameraliteratuur en radiologische literatuur. Op basis hiervan zijn lenzen (objectieven) opgesomd waarvan in de literatuur vermeld wordt dat ze lanthaan of thorium bevatten, of dat ze radioactief zijn, maar waarvan geen metingen bekend zijn (Bijlage 4). In Tabel 6.1 zijn alle lenzen opgesomd waaraan metingen zijn verricht. Er wordt hier verder voornamelijk op deze laatste lenzen ingegaan.

De aangetroffen thoriumhoudende objectieven worden voor een groot deel gerekend tot de asymmetrische dubbel Gauss-lenzen. Dit lenstype werd ontwikkeld aan het eind van de 19e eeuw, maar kwam pas tot ontwikkeling na de uitvinding van de coating eind jaren dertig. Een goede beschrijving van de dubbel Gauss-lenzen en de elementen waaruit deze lenzen zijn opgebouwd wordt gegeven in Smith en Genesee [54]. Zij geven aan dat het 5e en 6e van de 7 elementen meestal biconvex zijn en gemaakt zijn van lanthaan-flintglas. Het is economisch rendabeler om de achterste lenselementen, die kleiner van grootte zijn dan de voorste elementen, van het dure lanthaan-flintglas te maken. In Figuur 6.1 is een voorbeeld gegeven van een dergelijke lens, de Aero Ektar. Doordat de thoriumhoudende lenzen zich aan de achterzijde van het objectief bevinden is daar de stralingsdichtheid het hoogst. Overigens zijn er ook lenzen waar de stralingsdosis aan de voorzijde het hoogst is zoals de lens van Bell en Howell en de Leica Summicron 50 mm f/2.0 (Tabel 6.1).

Er is een beperkt aantal metingen aan het thoriumgehalte in cameralenzen. Taylor [61] meldt voor twee standaardlenzen respectievelijk 13 kBq en 4 kBq Th-232. Lewinsky [62] rapporteert voor een tv-cameralens een totaal van 463 kBq Th-232. De thoriumgehalten in het 1e, de 4e en de 5e lenselement bedragen respectievelijk 10, 15 en 12%. Het betreft hier een uitzonderlijk zware lens (2,7 kg glas) met een hoog thoriumgehalte. Het totaalgewicht van de normale standaardlenzen bedraagt doorgaans 250-500 gram. Alle hierboven genoemde camera-lenzen zijn volgens het nieuwe Besluit Stralingsbescherming [3] vergunningplichtig.



Figuur 6.1. Schema van de lenselementen uit de patentaanvraag voor de Aero Ektar, 8/10/41. De thoriumhoudende lenselementen van dit objectief waren t5 en t6 [US Patent 2,343,627].

Er mag worden aangenomen dat de alfa-deeltjes bij cameralenzen nauwelijks bijdragen aan de dosis gezien de afscherming door de camera en de afstand tot het oog. De bèta- en gammacomponent zijn wel van belang. Het dosistempo hangt sterk af van de locatie van de thoriumhoudende lenzen in het objectief. Door Taylor et al. [61] werden aan de voor- en achterzijde van een Pentax Takumar lens dosistempen gemeten van respectievelijk 4,8 $\mu\text{Sv/uur}$ en 0,8 $\mu\text{Sv/uur}$. De door Lewinsky et al. [62] gemeten dosistempen bedroegen 33,3 $\mu\text{Sv/uur}$ aan de voorzijde van de lens en 0,2 $\mu\text{Sv/uur}$ aan de achterzijde van de camera. Het hoogste door Waligorski et al. [63] gemeten dosistempo bedroeg aan de voorzijde van een Flektogon lens 93 $\mu\text{Sv/uur}$, terwijl aan de binnenzijde van de camera het dosistempo 1,5 $\mu\text{Sv/uur}$ bedroeg. Voor de verdere berekeningen is uitgegaan van het hoogste aan de achterzijde gemeten dosistempo van 1,5 $\mu\text{Sv/uur}$ (zie Tabel 6.2).

6.5 Aantallen in Nederland

Door Waligorski et al. [63] werden 80 lenzen onderzocht, waarvan 12 thoriumhoudend bleken te zijn. Van de 31 lenzen die Taylor et al. [61] onderzochten waren slechts drie thoriumhoudend: twee Pentax lenzen en één Fujinon lens. Op basis van deze steekproeven kan geschat worden dat 10-15% van de in 1980 op de markt aanwezige objectieven radioactief was. Door verschillende auteurs wordt verondersteld dat het aantal radioactieve lenzen aanzienlijk is, waarbij er soms van wordt uitgegaan dat alle lenzen met lanthaanglas radioactief zijn [16; 8]. Door Blaauboer et al. [1] werd het aantal thoriumhoudende lenzen in Nederland op basis van de door de NCRP [16] aangehaalde gegevens geschat op 3.200.000. De hierboven op basis van enkele steekproeven genoemde percentages en aantallen lijken echter niet representatief voor de huidige markt.

Op basis van opgaven van fabrikanten, in handboeken, gegevens op websites en verzamelde serienummers is een inschatting gemaakt van het aantal geproduceerde lenzen van een bepaald type. Twee kanttekeningen zijn daarbij op zijn plaats. Ten eerste is het voor veel lenzen moeilijk het geproduceerde aantal precies te achterhalen en ten tweede zijn er van veel lenzen meerdere series geproduceerd die wel dezelfde naam hebben, maar niet uit dezelfde glaselementen zijn opgebouwd. Verkoopcijfers voor in Nederland verkochte lenzen zijn niet beschikbaar. Op basis van de geschatte aantallen lenzen is berekend welk deel in Nederland aanwezig zou kunnen zijn. Hiervoor is er vanuit gegaan dat van de in Europa geproduceerde lenzen 2/3 binnen Europa is verhandeld en dat daarvan 15/300 deel in Nederland terecht is gekomen. Van elders geproduceerde lenzen is er vanuit gegaan dat 1/3 van de geproduceerde lenzen in Europa is verkocht. De resultaten zijn samengevat in Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Lenzen waarin thorium is gebruikt of waarvan wordt vermeld dat ze radioactief zijn, en waarvan metingen zijn gepubliceerd

merk	naam lens	type	bron	jaar productie	aantal geproduceerd	aantal in NL
Angenieux	tv-camera	15x f18-270	62	eind '60	-	-
Bell en Howell		(152 mm) f/2.5	64	jaren '60	-	-
Fujica	Fujinon-W	35 mm f/1.9	61	- ca. 1980	-	-
Kodak	Aero Ektar	178 mm f/2.5	64,65	1943-1945	ca 20.000 ¹⁾	300 ¹⁾
Kodak	Aero Ektar	610 mm f/6.0	66	zie Kodak Aero Ektar 178 mm f2.5		
Leica	Summicron	35 mm f/2.0	65	1958-1968 ²⁾	21.000	300
Leica	Summitar star	50 mm f/2.0	8	1950	79	3
Leica	Summicron	50 mm f/2.0	8	1952	ca 5000	200
Carl Zeiss Jena	Pancolar	40 mm f/1.8	63	1960-1975	40.000 ³⁾	1300
Carl Zeiss Jena	Pancolar	55 mm f/1.4	63	1960-1975	130.000 ³⁾	4300
Carl Zeiss Jena	Flektogon	50 mm f/4.0	63	1960-1975	260.000 ³⁾	8700
Carl Zeiss Jena	Biomatar	80 mm f/2.8	63	1960-1975	550.000 ³⁾	18300
Pentax	SMC Takumar	50 mm f/1.4	61	1971-1975	1.100.000 ³⁾	18300
Steinheil	Auto-Quinon	55 mm f/1.9	65	1956-ca 1975	275.000	9200
Steinheil	Auto-Quinar	100 mm f/3.5	65	1956-ca 1975	< 60.000	2000
Taylor en Hobs.	Cooke Apotal	14' f/9.0	67	< ca. 1970	-	-
TOTAAL					2.500.000	63.000

1) aantallen gelden voor alle Aero Ektar lenzen samen

2) geproduceerd in drie series 1958-1969, 1969-1971 en 1971-1979 met respectievelijk 8, 6, 7 elementen. Productie tot 1963 basis voor de berekening.

3) Carl Zeiss Jena en Pentax objectieven: inschatting op basis verkochte aantallen camera's en lenzen

- geen of te beperkt aantal gegevens aanwezig voor een inschatting, aantallen lenzen beperkt.

Van de Kodak Aero Ektar, een van oorsprong voor militaire doeleinden gebruikte lens, zijn er hooguit enkele tientallen in Nederland aanwezig. Datzelfde geldt voor de Angenieux, een tv-cameralens, en de Taylor en Hobson, een zogenaamde proces-lens [zie o.a. 62]. De Summitar star was een prototype van de latere Summicron 50 mm f2.0 waarvan het aantal nauwkeurig bekend is [8; 56; 68]. Mogelijk zijn er van deze lens enkele exemplaren in Nederland.

De standaardlenzen werden in grote hoeveelheden geproduceerd. Van deze lenzen worden de Leica Summicron, de Pentax Super Takumar, de Pentax Takumar en de Oost-Europese Carl Zeiss Jena lenzen in de radiologische literatuur het meest genoemd [zie o.a. 6; 8; 63]. Van sommige van deze lenzen is bekend dat ze minder in Nederland zijn verkocht dan op grond van de bovenstaande berekening mag worden aangenomen. De huidige importeur van Carl Zeiss Jena lenzen schat dat de hierboven genoemde aantallen voor Carl Zeiss Jena en

Steinheil lenzen voor Nederland een factor tien te hoog zijn [69]. Op basis van ruim 2200 lensnummers schat van Oosten de totale hoeveelheid geproduceerde SMC Takumar 50 mm f1.4 objectieven op ruim 500.000. Volgens hem is het moeilijk een schatting te geven van het aantal in Nederland verkochte Pentax Takumar lenzen, *‘het meeste ging naar Japan en de USA’*. Eenderde naar Japan, ruim eenderde naar USA en de rest naar de rest van de wereld lijkt een reële aanname [70].

Voor de meeste lenzen geldt bovendien dat slechts een deel van de productie uit thoriumhoudende lenzen bestond. Van de Leitz Summicron 50 mm f2.0, die in drie series werd geproduceerd van 1952 tot heden, is bekend dat alleen lenzen geproduceerd in 1952 thorium bevatten [8]. Dat slechts een deel van de productie thorium bevatte, geldt eveneens voor de Olympus Zuiko (zie Bijlage 4), en voor de Carl Zeiss Jena lenzen [63]. Dit is slechts ten dele meegenomen in de berekening, omdat niet van alle lenzen bekend is welk deel van de productie thorium bevat. De in Tabel 6.1 genoemde aantallen moeten dan ook als maxima worden beschouwd. In Figuur 6.2. is de Carl Zeiss Jena Flektogon 50mm f/4.0 weergegeven.

6.6 Individuele en collectieve doses

De NCRP [16] rapporteert geen individuele of collectieve dosis omdat gegevens daarvoor ontbreken. Blaauboer et al. [1] rapporteren een individuele dosis van 4 $\mu\text{Sv}/\text{jaar}$ en een collectieve dosis voor Nederland van 13 mensSv/jaar. Door Eleveld en Pruppers [2] werd van dezelfde doses uitgegaan.

Voor een aantal cameralenzen is de dosis voor het oog berekend er vanuit gaande dat de dosis aan de achterzijde van de lens of de camera gelijk is aan de dosis die op het oog valt, en een blootstelling van 6 uur per dag gedurende 200 dagen. De gemeten dosistempi zijn daarbij als uitgangspunt genomen. Daarnaast is een theoretische berekening uitgevoerd aan de hand van een Pentax Takumar lens van circa 250 gram, met 10% ThO_2 , een afstand tot de lens van 10 cm, een gammadosisconstante van $3,6\text{E}-01 \mu\text{Sv}/\text{uur}$ per MBq op 1 meter afstand en een blootstelling gedurende 6 uur over 200 dagen. Daarbij is voor de conversie van ooglensdosis naar individuele dosis gebruik gemaakt van de door NCRP [16] vermelde correctiefactor van $1\text{E}-04$. De resultaten zijn samengevat in Tabel 6.2.

Tabel 6.2. Dosis op het oog en individuele dosis berekend voor enkele doorgemeten cameralenzen aan de hand van gemeten dosistempi

lenstype	locatie	dosistempo $\mu\text{Sv}/\text{uur}$	dosis op oog $\mu\text{Sv}/\text{a}$	ind. dosis $\mu\text{Sv}/\text{a}$	bron
P. Takumar 50 mm f1.4	voorzijde	4,8			61
P Takumar 50 mm f1.4	achterzijde	0,8	$1\text{E}+03$	$1\text{E}-01$	61
Angenieux x 15	voorzijde	33,3			62
Angenieux x 15	achterzijde camera	0,21	$3\text{E}+02$	$3\text{E}-02$	62
Flektogon 50 mm f4.0	at film plane	1,5	$2\text{E}+03$	$2\text{E}-01$	63
P. Takumar 50 mm f1.4	achterzijde camera		$4\text{E}+03$	$4\text{E}-01$	1)

1) theoretische berekening met behulp van de gamma dosisconstante



Figuur 6.2. De Carl Zeiss Jena Flektogon 50mm f/4.0. Het hoogste dosistempo werd gemeten aan de voorzijde van deze lens. Nieuwe lenzen van dit type bevatten geen thorium meer [63].

De collectieve dosis is berekend met de door Blaauboer et al. [1] vermelde individuele dosis en met de in Tabel 6.2 berekende individuele dosis voor de Flektogon lens. Het totaal aantal blootgestelde personen is gelijkgesteld aan het aantal thoriumhoudende lenzen. Hiervoor is op basis van Tabel 6.1 de hoeveelheid van 70.000 aangehouden. De opmerkingen in hoofdstuk 6.5 geven aan dat het reële aantal thoriumhoudende lenzen vermoedelijk meer dan factor twee lager is. De gegevens over de in Bijlage 4 vermelde cameralenzen laten geen aantalsschatting toe. Indien we uitgaan van de in Blaauboer et al. [1] vermelde individuele dosis dan resulteert dit bij 70.000 blootgestelden in 0,28 mensSv per jaar. Uitgaande van een individuele dosis van $2\text{E-}01 \mu\text{Sv/a}$ bedraagt de collectieve dosis voor Nederland $1\text{E-}02$ mensSv per jaar (Tabel 6.3).

Tabel 6.3. Collectieve dosis voor de gebruiksfase van cameralenzen

nuclide	max. activiteit kBq	individuele dosis $\mu\text{Sv/a}$	land	aantal blootgest.	collectieve dosis mensSv/a	bron
Th-232	-	4	NL	$3,2\text{E}+06$	13	1
Th-232	$1,3\text{E}+01$	$2\text{E-}01$	NL	$7\text{E}+04$	$1\text{E-}02$	deze studie

7 Beeldschermen

7.1 Inleiding

Monitoren van televisies en pc's bevatten één of meerdere elektronenbuizen (CRT's) die elektronenbundels uitzenden voor het vormen van het beeld op het beeldscherm. De uitgezonden elektronenbundels worden in de beeldbuis afgebogen en de beeldscherpte wordt bepaald doordat de bundels door het schaduwmasker, een metalen plaat met gaten, worden geschoten. De elektronen raken de fosforlaag aan de binnenzijde van het beeldscherm en laten deze met de juiste kleur oplichten.

Het is theoretisch mogelijk dat monitoren röntgenstraling uitzenden door interactie van de elektronen met zware metalen in de fosforlaag aan de binnenzijde van het beeldscherm, of met metalen onderdelen in de beeldbuis zoals het schaduwmasker. De fotonen die hierbij ontstaan door remstraling hebben een lagere energie dan de spanning over de buis [71; 72]. Het verschil met een traditionele röntgenbuis, die is ontworpen om röntgenstraling uit te zenden, is dat deze een koper of wolfram target bevat en dat er van een hoger voltage gebruik wordt gemaakt. Het maximale voltage in zwart-wit monitoren is ongeveer 11 kV, bij kleurenmonitoren ligt het maximum rond de 25-30 kV (Tabel 7.1). Daardoor blijft de emissie relatief laag vergeleken met een traditionele röntgenbuis. Mogelijk kennen modernere Trinitron beeldschermen hogere maximale voltages. Noch in de literatuur, noch op de beeldbuizen zelf, zijn hiervan meldingen aangetroffen.

Tabel 7.1. Kenmerken van enkele typen beeldschermen [naar 73]

	beeldscherm zwart-wit	beeldscherm kleur	kleuren-tv
gemiddelde hoogste voltage (kV)	11,6	24,7	27,3
gemiddelde foton energie (keV)	10,8	23,1	25,5

7.2 Wetgeving

De Verenigde Staten kent vanaf 1955 richtlijnen ter beperking van door tv's uitgezonden röntgenstraling. In 1960 werd het maximale toelaatbare exposietempo genoemd in de eerste richtlijn verlaagd van ongeveer 2 mR/uur naar 0,5 mR/uur op 5 cm afstand van de beeldbuis. Deze waarde werd overgenomen in de Amerikaanse wetgeving die in 1970 van kracht werd [16]. Deze waarde werd eveneens door de IAEA in 1967 internationaal aanbevolen en wordt op meerdere plaatsen gehanteerd [zie 74; 75]. In Nederland gold een maximaal dosis-equivalenttempo van 5 μ Sv/uur op 5 cm afstand of 1 μ Sv/uur op 10 cm [45]. In het nieuwe Besluit Stralingsbescherming is geen dosislimiet voor elektronen-straalbuizen voor visuele beeldweergave meer opgenomen [3].

7.3 Achtergrond

De toename in het gebruik van tv's, de overgang van zwart-wit naar kleur met een hoger voltage en op handen zijnde wetgeving heeft eind zestiger jaren geleid tot uitgebreid onderzoek naar de stralingsemissies door kleuren-tv's in de Verenigde Staten. De elektronische industrie heeft naar aanleiding daarvan maatregelen genomen om de hoeveelheid röntgenstraling te beperken. Deze maatregelen bestonden o.a. uit een betere kwaliteitscontrole bij de productie, de ontwikkeling van verbeterde elektronische componenten en het inbouwen van beveiligingen die een te hoge buisspanning moesten

voorkomen [16; 73; 76]. Daarnaast werd tevens röntgenstralingabsorberend glas met o.a. strontium en lood toegepast [zie o.a. U.S. patent no. 3,422,298]. Door deze maatregelen werd de emissie van fotonen aanzienlijk gereduceerd [76]. De meeste studies naar fotonenemissies door beeldschermen vermelden zeer lage of verwaarloosbare waarden: ‘*Virtually none of the X-rays generated should penetrate the tube face if the CRTs are constructed according to the specifications*’ [77].

7.4 Activiteiten en dosistempi

De gemeten dosistempi van de laatste 20 jaar zijn lager dan die in de jaren zestig en zeventig. In 1968 werd in Washington een onderzoek uitgevoerd naar de stralingsemissies van ruim 1100 kleuren-tv's. In 75% van de toestellen kon geen röntgenstraling gedetecteerd worden ($< 0,4 \mu\text{Sv/uur}$). Het maximaal gemeten dosistempo bedroeg meer dan $1,25 \mu\text{Sv/uur}$ ¹. Wang [74] vermeldt voor Taiwan meetwaarden van 0,01 tot $0,74 \mu\text{Sv/uur}$ voor kleuren-tv's onder normaal werkende omstandigheden. Hirning en Aitken [75] vonden voor een zwart-wit en een kleurenmonitor geen significant verhoogde emissie bij een detectiegrens van $0,01 \mu\text{Sv/uur}$. Recentere onderzoeken leveren voor de meeste toestellen meetwaarden op van $0,08 \mu\text{Sv/uur}$ of lager [71; 72; 77].

De gemeten waarden zijn verwaarloosbaar ten opzichte van de achtergrond en zijn voornamelijk afkomstig van de radionucliden in de beeldbuis [72; 77]. Door Doerfel et al. [73] werd het dosistempo ten gevolge van röntgenstraling voor kleuren-tv's geschat op gemiddeld 28 nSv/uur en voor zwart-wit-schermen op 8 pSv/uur . De dosis ten gevolge natuurlijke radionucliden in het scherm bedroeg 25 nSv/uur . Op 20 cm afstand van het beeldscherm is het dosistempo nagenoeg verwaarloosbaar. Recenter bepaalden Yamamoto et al. [72] een dosistempo op 50 cm van de beeldbuis van $1,42\text{E-}03 \mu\text{Sv/uur}$. Dit dosistempo wordt voornamelijk bepaald door K-40 in de beeldbuis en bedraagt circa 1/10e van de achtergrond.

7.5 Individuele en collectieve doses

In Tabel 7.2 en 7.3 zijn de berekeningen voor de dosis ten gevolge van pc's en tv's gepresenteerd.

Voor de berekeningen van de individuele jaardosis en de collectieve dosis van de huidige beeldschermen is gebruik gemaakt van de metingen van Yamamoto et al. [72]. Deze auteurs geven het dosistempo op 50 cm van de beeldbuis, $1,42\text{E-}03 \mu\text{Sv/uur}$, en vermelden dat deze voornamelijk afkomstig is van de radionucliden in de beeldbuis. Uitgaande van een blootstellingsduur van 800 uur per jaar en 0,6 meter afstand, resulteert dit in een individuele dosis van $0,8 \mu\text{Sv a}^{-1}$. In 2000 waren er 2,5 miljoen pc's in Nederland [78]. Indien we uitgaan van 1,5 miljoen regelmatige gebruikers dan resulteert dit in een collectieve dosis van 1,2 mensSv per jaar (Tabel 7.2).

Door Blaauboer et al. [1] werd voor pc's voor 1988 een individuele dosis van $17 \mu\text{Sv a}^{-1}$ en een collectieve dosis van 13 mensSv berekend op basis van de wettelijke limiet van $1 \mu\text{Sv/uur}$ op 0,1 m afstand [45]. Er werd uitgegaan van gemiddeld gebruik van 600 uur en circa 800.000 gebruikers. Indien we dezelfde wettelijke limiet combineren met het huidige gebruik (800 uur, 1,5 miljoen gebruikers) dan resulteert dit in een individuele dosis van $22 \mu\text{Sv}$ per jaar en een collectieve dosis van 33 mensSv per jaar. Hierbij is er, conform de berekeningen in Blaauboer et al. [1], vanuit gegaan dat de kwadratenwet mag worden toegepast. Correctie voor het feit dat we hier niet met een puntbron te maken hebben, maar met een groter oppervlak resulteert

¹ voor omrekening van exposie (R/uur) naar dosis (Sv/uur) is een factor van 0,01 gebruikt. Alle waarden hebben betrekking op dosistempi op 5 cm van het beeldscherm tenzij anders vermeld.

in een individuele dosis van $220 \mu\text{Sv a}^{-1}$ en een collectieve dosis van 330 mensSv per jaar. Hierbij is de door Hirning en Aitken [75] gegeven factor van 0,4 toegepast voor het dosistempo op 50 cm ten opzichte van het dosistempo op 10 cm afstand van het scherm. Op een afstand van meer dan 50 cm (1x de effectieve scherm diameter), kan de kwadratenwet wel worden toegepast [75].

Tabel 7.2. *Individuele en collectieve doses ten gevolge van pc-gebruik*

ind. dosis op 0,1 m. $\mu\text{Sv/uur}$	ind. dosis op 0,6 m $\mu\text{Sv/a}$	land	aantal blootgest.	collectieve dosis mensSv/a	bron
-	$< 1,0\text{E}+01$	USA	50E6	<500	16
1	$1,7\text{E}+01$ ²⁾	NL	0,773E6	13	1
1	$2,2\text{E}+01$ ²⁾	NL	1,5E6	33	op basis wettelijk maximum BSK [45]
1	$2,2\text{E}+02$ ³⁾	NL	1,5E6	330	op basis wettelijk maximum BSK [45]
$1,42\text{E}-03$ ¹⁾	$7,9\text{E}-01$	NL	1,5E6	1.2	op basis gegevens Yamamoto et al. [72]

1) dosis op 0,5 m. in plaats van 0,1 m, geen correctiefactor toegepast.

2) kwadratenwet toegepast

3) correctiefactor toegepast

De berekeningen voor tv's zijn op vergelijkbare wijze uitgevoerd als die voor pc's. Op basis van het door Yamamoto et al. [72] gerapporteerde dosistempo vinden we bij een blootstellingsduur van 3 uur per dag en 3 meter afstand een individuele dosis van $0,04 \mu\text{Sv a}^{-1}$ en een collectieve dosis van 0,69 mensSv per jaar. Er is uitgegaan van 16 miljoen gebruikers. Blaauboer et al. [1] rapporteerden op basis van de hierboven genoemde wettelijke limiet een individuele jaardosis van $1,2 \mu\text{Sv a}^{-1}$ en een collectieve dosis van 18 mensSv per jaar. Het aantal blootgesteld is licht toegenomen, maar het gebruik is vergelijkbaar met dat in 1988 [78]. Bij het huidige gebruik zou de wettelijke limiet resulteren in eenzelfde individuele jaardosis en een collectieve dosis van 19 mensSv per jaar. Hierbij is er, conform de berekeningen voor pc's, vanuit gegaan dat de kwadratenwet mag worden toegepast. Toepassen van de correctiefactor van Hirning en Aitken [75] resulteert in een individuele dosis van $12 \mu\text{Sv a}^{-1}$ en een collectieve dosis van 194 mensSv per jaar (Tabel 7.3).

De resultaten geven aan dat de individuele jaardosis hoog kan uitvallen bij pc's die net voldoen aan de wettelijke limiet volgens het BSK [45]. Zowel pc's als tv's leveren onder die omstandigheden ook een zeer hoge bijdrage aan de collectieve dosis. De metingen van Yamamoto et al. [72] en Doerfel et al. [73] geven aan dat de meeste beeldschermen ruim onder die limiet presteren.

Tabel 7.3. *Individuele en collectieve doses ten gevolge van tv-kijken*

ind. dosis op 0,1 m. $\mu\text{Sv/uur}$	ind. dosis op 3 m $\mu\text{Sv/a}$	land	aantal blootgest.	collectieve dosis mensSv/a	bron
-	$< 1,0\text{E}+01$	USA	230E6	<2300	16
1	$1,2\text{E}+00$ ²⁾	NL	15E6	18	1
1	$1,2\text{E}+00$ ²⁾	NL	16E6	19	op basis wettelijk maximum BSK [45]
1	$1,2\text{E}+01$ ³⁾	NL	16E6	194	op basis wettelijk maximum BSK [45]
$1,42\text{E}-03$ ¹⁾	$4,3\text{E}-02$	NL	16E6	0.69	op basis gegevens Yamamoto et al. [72]

1) dosis op 0,5 m. in plaats van 0,1 m, geen correctiefactor toegepast.

2) kwadratenwet toegepast

3) correctiefactor toegepast

8 Antistatische middelen

8.1 Inleiding

Statische elektriciteit ontstaat door frictie van twee slecht geleidende oppervlakken. Statische elektriciteit heeft tot gevolg dat producten zoals papier of folie aan elkaar plakken tijdens het productieproces, maar ook dat stofdeeltjes worden aangetrokken door het materiaal dat statisch geladen is. Statische elektriciteit kan door het overspringen van vonken brand tot gevolg hebben bij productieprocessen waar licht ontvlambare stoffen worden gebruikt, zoals de verfindustrie en in drukkerijen.

Bij veel industriële toepassingen worden antistatische middelen toegepast waarbij de elektrostatisch geladen deeltjes worden geneutraliseerd of waarbij deeltjes worden geladen bij passage. Eén van de manieren waarmee dit kan geschieden is met behulp van radioactieve bronnen die de lucht ioniseren. Voorbeelden van processen waarbij radioactieve eliminatoren worden gebruikt zijn: de papierproductie, verfspuiten, label printing, productie van halfgeleidercomponenten, ontwikkelen van fotografische films, en processen in de verf- en drukindustrie, waar vaak met licht ontvlambare oplosmiddelen wordt gewerkt. Als toepassingen in Nederlandse vergunningen worden genoemd: het ontladen van magneetbanden, verwijderen van statische ladingen in een filmfabriek, het toepassen in een katoenspinnerij en het schoonblazen van polyethyleen flessen [79]. Een voorbeeld van het gebruik in laboratoria wordt gegeven in Dignum en Leenhouts [80].

8.2 Wetgeving

De radioactieve statische eliminatoren met Po-210, Ra-226 of Am-241 waren vergunningplichtig bij een activiteit van 5 kBq, en met Kr-85 bij een activiteit van 5 MBq [45]. De vrijstellingsgrens voor deze nucliden is volgens het nieuwe Besluit Stralingsbescherming 10 kBq [3].

8.3 Achtergrond

De eerste Amerikaanse patenten voor radioactieve antistatische apparaten dateren uit de jaren veertig. De meeste patenten vermelden Po-210 als bron. In US patent 4,829,398 uit 1989 wordt een goed overzicht van de verschillende elektrostatische eliminatoren gegeven.

De statische eliminatoren waarin Po-210 of Am-241 is verwerkt bestaan meestal uit twee onderdelen: een metaalfolie waarin het radionuclide is opgenomen en een stalen omhulsel waarin het metaalfolie is opgeborgen om het te beschermen tegen beschadiging [11]. Meer informatie over het metaalfolie is opgenomen in Figuur 8.1 en Bijlage 5. Bij folies die ontwikkeld zijn in de jaren zestig was het Po-210 of Am-241 opgebracht in de vorm van kleine keramische bolletjes die door middel van een anorganische of een organische matrix aan de ondergrond waren bevestigd. Deze folies gaven aanleiding tot contaminatie, doordat deze bolletjes gemakkelijk loskwamen bij het schoonmaken. In Webb [81] en Czajkowski [82] wordt een dergelijke contaminatie beschreven.

8.4 Activiteiten en dosistempi

Statische eliminatoren kunnen in vele verschillende vormen voorkomen. De momenteel in de Verenigde Staten geregistreerde statische eliminatoren bevatten Kr-85, Po-210, Ra-226 of

Am-241 (Tabel 8.1). Statische eliminatoren voor zeer kleine processen bevatten 100-200 MBq Po-210, de hoogst opgegeven activiteiten bedragen 8000 – 12,000 MBq Po-210. De Kr-85 bronnen zijn zonder uitzondering buisvormig en bevatten maximaal 555 MBq. Naast de hierboven genoemde toepassingen worden de eliminatoren ook toegepast voor het voorkomen van statische elektriciteit in precisie-instrumenten. Genoemd worden o.a. enkele balansen van Mettler Instrument Corporation die 0,8 MBq Ra-226 bevatten. De activiteiten en dosistempi van de in de US-NRC database geregistreerde statische eliminatoren zijn samengevat in Tabel 8.1.

Tabel 8.1. In de registratie van de US-NRC na 1980 opgenomen statische eliminatoren van verschillende fabrikanten en de opgegeven activiteiten en dosistempi.

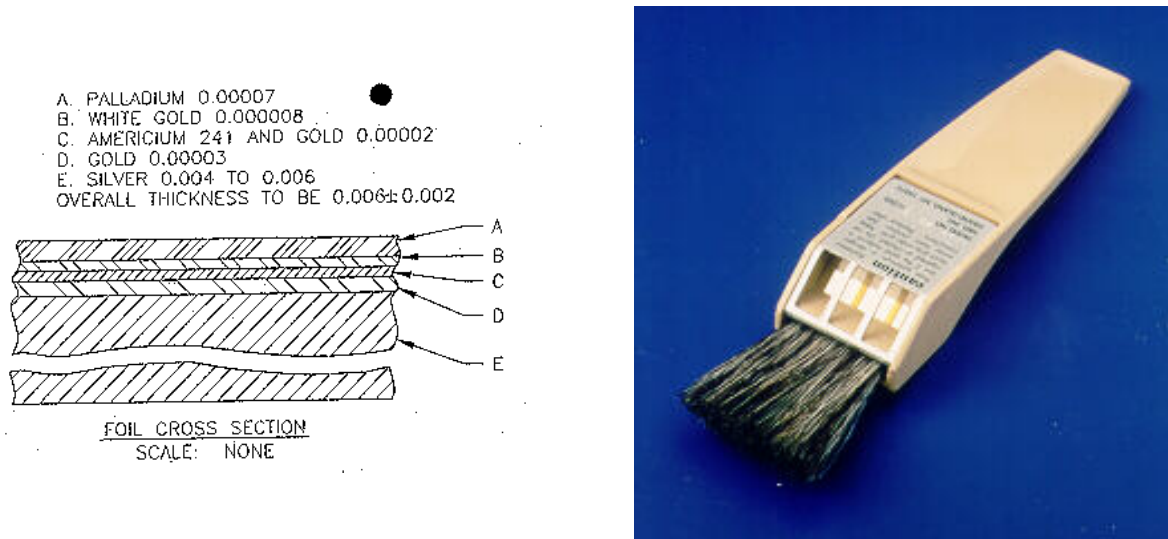
bedrijf	datum	toepassing	nuclide	activiteit MBq	maximaal opgegeven externe doses
TSI Inc.	11-2-99	aerosol sampling system	Kr-85	37 -370	23 µSv/hr surface outer al. Tube; 26 µSv/hr end of inlet and outlet, max 131 µSv/hr on surface
Amersham	28-8-81	diverse toepassing.	Po-210	30/cm	surface dose rate < 0,75 mrem/hr (=7,5 µSv/hr)
NRD	23-7-86	air gun, air blower	Po-210	377-1500	0,20 milliroentgen/hr on surface
NRD	23-7-86	small processes	Po-210	185	in contact max exposure rate of 0,05 mR/hr
NRD	23-7-86	linear air ionizers	Po-210	7992-11,990	berekend: max 0,03 milliR/hr at surface
Amersham	7-8-91	nozzle device	Po-210	370-629	9,2 en 0,7 µSv/hr op 0 cm van front en back en 1,9 en <0,1 µSv/hr op 10 cm afstand
3M	26-1-96	air gun	Po-210	370	expected to be below detection level
NRD Inc.	31-12-97	air blower	Po-210	1170	< 5 µR/hr at 6 inch = 15,24 cm
AEA Techn.	30-3-00	'bars'	Po-210	148-6666	op 5 cm 4,3 µSv/hr, op 30 cm 0,2 µSv/hr
AEA Techn.	30-3-00	air blower	Po-210	1388-2775	op 5 cm 8 µSv/hr, op 30 cm 0,4 µSv/hr
AEA Techn.	30-3-00	div. kleine toep.	Po-210	81-925	op 5 cm 10 µSv/hr, op 30 cm 0,4 µSv/hr
Mettler Instr	13-6-89	balans	Ra-226	0,8	normaal: 0,05-0,1 mR/hr
Lockheed Martin	30-9-96	laser designator	Am-241	0,333	no detectable radiation above background
Ferranti Def. Syst.	30-9-96	laser designator	Am-241	0,333	no detectable radiation above background
Lockheed Martin	12-9-00	laser designator	Am-241	0,333	no detectable radiation above background

Door NRD, de grootste firma die statische eliminatoren verkoopt, worden ook kleinere producten verkocht die niet in de bovengenoemde database zijn opgenomen. NRD levert antistatische kwastjes onder het merk STATICMASTER met een activiteit van 9,25 en 18,5 MBq Po-210 (Figuur 8.1). Deze borstels zijn populair bij professionele en amateur-fotografen, maar worden tevens gebruikt bij het wegen met analytische balansen. De STATICMASTER borstels zijn sinds 1950 op de markt, en zijn in verschillende landen vrij verkrijgbaar. In 1975 gaf de NRPB een rapport uit naar aanleiding van het feit dat deze borstels op grote schaal in het Verenigd Koninkrijk werden aangeboden [81]. De NRPB trok de conclusie dat de Po-210 bevattende keramische bolletjes bij beschadiging konden loskomen, en dat uit tests met verschillende statische eliminatoren niet bleek dat radioactieve eliminatoren beter waren dan niet-radioactieve eliminatoren. Verkoop van radioactieve statische eliminatoren aan het publiek in het Verenigd Koninkrijk werd door de NRPB afgeraden. De in Blaauboer et al. [1] en Eleveld en Pruppers [2] genoemde statische eliminatoren hebben betrekking op deze STATICMASTER borstels.

8.5 Aantallen in Nederland

Uit de vergunningregistratie blijkt dat er in Nederland minder dan 10 bedrijven zijn met professionele radioactieve statische eliminatoren. Noch bij 3M, noch bij Amersham zijn invoervergunningen voor antistatische middelen aangetroffen, zodat moet worden aangenomen dat invoer hooguit op zeer beperkte schaal plaats vindt [79]. Uit bij het RIVM

aanwezige informatie bleek dat in het verleden Mettler-balansen met Ra-226 zijn geïmporteerd [83]. Het exposietempo en de activiteit van deze balansen was aanzienlijk hoger dan de in de US-NRC vermelde waarde van 0,05-0,1 mR per uur. Tot wanneer import van dit soort apparatuur heeft plaatsgevonden en hoeveel ervan nog in gebruik is, is niet duidelijk.



Figuur 8.1. Links een dwarsdoorsnede van de bij rookmelders en antistatische middelen gebruikte folies (Diktes in inches), rechts een voorbeeld van de STATICMASTER borstel van NRD Inc. met 18,5 MBq Po-210.

In de dossiers van SZW is een beperkte hoeveelheid informatie over het aantal antistatische middelen voor de Nederlandse consumentenmarkt in de literatuur aangetroffen. Op basis hiervan, informatie van de importeur voor NRD en enkele fotovakhandels moet worden aangenomen dat er geen STATICMASTER of andere antistatische middelen worden verkocht in Nederland [84]. De Rijksoverheid voert een terughoudend beleid ten aanzien van het toelaten van deze middelen [79; 85].

Begin tachtiger jaren is door de Keuringsdienst van Waren een partij Po-210 houdende 'Stat-Off adapters' in beslag genomen. Voor deze producten was reclame gemaakt in een fotovakblad. Een ander bedrijf heeft in dezelfde periode vergunning aangevraagd voor het importeren van Po-210 houdende borstels. Deze vergunning is destijds niet verleend omdat het nut van deze toepassing niet onomstotelijk vaststond [79; 86].

8.6 Individuele en collectieve doses

In Webb et al. [81] wordt aangegeven dat continue blootstelling aan de 18,5 MBq STATICMASTER op 1 m afstand leidt tot een dosis van 0,2 μ Sv per jaar en dientengevolge verwaarloosbaar is. De dosis ten gevolge van desintegratie door brand of beschadiging van de STATICMASTER wordt door hen veel hoger ingeschat. Verschillende bronnen in het US register voor ingekapselde bronnen komen tot dezelfde conclusie [11]. Blaauboer et al. [1] ging uit van een individuele dosis van 0,01 μ Sv per jaar conform de door NCRP [87] vermelde dosis. Omdat het aantal in Nederland aanwezige STATICMASTER borstels niet bekend was kon geen collectieve dosis berekend worden (Tabel 8.2).

Aangezien er via de officiële import geen STATICMASTER borstels worden ingevoerd in Nederland is er hier geen individuele of collectieve dosis berekend.

Tabel 8.2. Dosis berekend in deze studie vergeleken met die van voorgaande studies voor de gebruiksfase van antistatische middelen

nuclide	max. activiteit kBq	individuele dosis $\mu\text{Sv/a}$	land	aantal producten	collectieve dosis mensSv/a	bron
Po-210	18,5E+03	0,2 ¹⁾	UK	niet bekend	-	81
Po-210	18,5E+03	0,01	USA	100.000	1E-03	87
Po-210	18,5E+03	-	USA	37.600	13E-02	16
Po-210	18E+03	0,01	NL	niet bekend	-	1
Po-210	18E+03	-	NL	0	0	deze studie

1) continue blootstelling afstand 1 m, verondersteld 1 Gy=1 Sv

- niet bekend of niet van toepassing

9 Elektronica

9.1 Inleiding

Een belangrijk deel van de radioactieve elektronica betreft elektronenbuizen. Elektronenbuizen werden in zendapparatuur gebruikt voor het reguleren van de stroom en de spanning, voor het genereren van radiosignalen en voor de omzetting van wisselstroom in gelijkstroom. Later werden ze ook in andere elektrische apparatuur toegepast voor vergelijkbare doeleinden [88]. In een aantal gevallen is radioactief materiaal toegevoegd om de ionisatie in de elektronenbuis te bevorderen. Door de ionisatie wordt de doorslagtijd verkort, of wordt het zogenaamde doorslagvoltage gestabiliseerd en is deze minder afhankelijk van de omgevingsfactoren. Soms is radioactief materiaal toegevoegd om de betrouwbaarheid van de ontsteking te verhogen [26].

De elektronenbuizen met radioactief materiaal behoren meestal tot de gasgevulde elektronenbuizen of (koude cathode) gasdiodes. De toepassingen waren zeer divers, o.a. gloeilampen, voltage regulatoren, starters, zend- en ontvangschakelaars (TR-switches) en spanningsonderbrekers. Een vollediger overzicht van de toepassingen is te vinden in SRT Technology [89], Magers [7] en Frame en Kolb [6]. De meeste in de literatuur aangetroffen gevallen van elektronenbuizen met radioactief materiaal betreffen militaire toepassingen. Toepassingen voor de consumentenmarkt betreffen verder o.a. TL-starters, speciale lampen en spanningsonderbrekers. Nucliden die vaak werden toegepast zijn H-3, Co-60, Ni-63, Kr-85, Pm-147 en Ra-226 en in mindere mate C-14, Cs-137, Re-187, Th-232, U-235, U-238.

9.2 Wetgeving

De vrijstellingsgrenzen voor Kr-85, Cs-137 en Ra-226 zijn 10 kBq, voor Co-60 100 kBq, voor Pm-147 10.000 kBq, voor Ni-63 100.000 kBq en voor H-3 $1\text{E}+06$ kBq [3]. De Amerikaanse wetgeving kent expliciete vrijstellingsgrenzen voor elektronenbuizen.

9.3 Achtergrond

Er zijn in de USPTO-database 387 patenten terug te vinden van elektronica waarin radioactief materiaal is gebruikt [CCL/313/54: ELECTRIC LAMP AND DISCHARGE DEVICES/with radioactive material]. De meeste patenten hebben betrekking op het verlagen van de weerstand, het verkorten van de doorslagtijd of het vergemakkelijken van het starten van de apparatuur. De eerste patenten voor elektronica waarin radioactief materiaal werd gebruikt dateren van 1904. Frame en Kolb [6] vermelden dat rond 1940 het aantal toepassing van radioactief materiaal sterk toenam in militaire apparatuur en voornamelijk betrekking hadden op *‘radar transmit tubes, trigger tubes, and tubes for voltage regulation and surge protection’*. Aanvankelijk werd voornamelijk Ra-226 en Cs-137 toegepast, later vooral Co-60, H-3 en Kr-85 [6; 7]. De overschakeling van Ra-226 op Kr-85 dateert van de jaren zestig. De meeste elektronenbuizen die nog in gebruik zijn, zijn ontwikkeld in de jaren vijftig en zestig voor radio, tv, radar, computers en voor specifieke toepassingen. Elektronenbuizen zijn tegenwoordig voor een groot deel vervangen door transistors. Het aantal typen dat nog wordt geproduceerd is zeer beperkt; deze elektronenbuizen worden gebruikt in specifieke toepassingen. Daarnaast zijn er in oudere apparatuur vaak nog elektronenbuizen aanwezig [88; 90]. Een goed overzicht van de radionuclidenconcentraties in en de productie van elektronenbuizen wordt gegeven in Magers [7].

9.4 Activiteiten en dosistempi

Frame en Kolb [6] geven een lijst met 403 elektronenbuizen met de toegepaste nucliden en de maximale activiteit. Uit de opgaven van de elektronenbuizen is soms te herleiden dat deze speciaal voor militaire doeleinden zijn ontworpen, maar meestal is dat niet het geval. De door Frame en Kolb [6] opgegeven activiteiten per nuclide zijn samengevat in Tabel 9.1. Hieruit blijkt dat in het merendeel van de elektronenbuizen Co-60 werd toegepast en in mindere mate Ra-226, Kr-85, Ni-63 en H-3 en dat de gemiddelde activiteit voor de meeste nucliden maximaal enkele tientallen kBq bedraagt. Voor H-3, Pm-147 en U-235 worden hogere activiteiten gemeld. In Bijlage 6 wordt een overzicht gegeven van de activiteiten per nuclide per toepassing. Het aantal in gebruiksartikelen toegepaste radionucliden is veel beperkter. De activiteit van nucliden in een aantal producten die met zekerheid voor de consumentenmarkt geproduceerd worden is gegeven in Tabel 9.2.

Tabel 9.1. Nucliden toegepast in elektronenbuizen op basis van gegevens in Frame en Kolb [6]

nuclide	aantal buizen	minimum activiteit kBq	maximum activiteit kBq	geometrisch gemiddelde kBq
H-3	30	1295	4,6E+08	2,3E+04
C-14	7	37	370	54,3
Co-60	169	3,7	370	14,3
Ni-63	24	3,7	185	52,9
Kr-85	35	0,074	1850	42,6
Pm-147	11	370	2590	981,8
Cs-137	7	14,8	185	60,8
Re-187	1	3,7	3,7	3,7
Ra-226	82	0,111	18500	5,5
Th-232	8	4,81	6,29	5,7
U-235	6	777	3515	1919,0
U-238	2	3,7	3,7	3,7
onbekend	23	-	-	23
totaal	403	-	-	-

- niet bekend of niet van toepassing

9.5 Aantallen in Nederland

De nucliden H-3, Kr-85, Pm-147 en Th-232 worden nog met zekerheid toegepast in consumentenelektronica die ook in Nederland verkocht wordt. Deze nucliden worden ook genoemd in NRPB/GRS [26]. Mogelijk wordt ook Ni-63 nog toegepast. Frame en Kolb [6] vermelden het toepassen van Ni-63 en in Schmitt-Hannig et al. [4] wordt het gebruik van Ni-63 houdende elektronica genoemd voor Frankrijk.

H-3

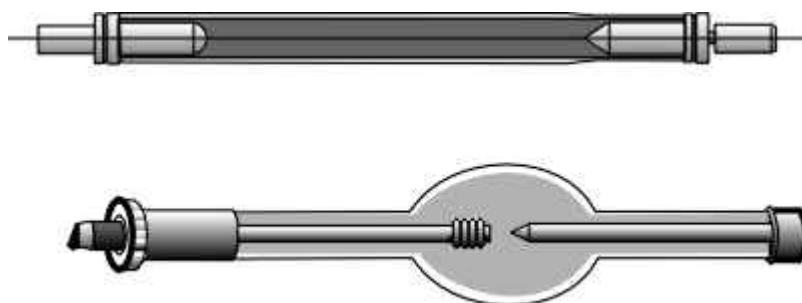
H-3 wordt toegepast in zogenaamde ‘*spark gap devices*’ die te hoge spanning bij verschillende apparatuur moeten voorkomen. Joslyn, een van de firma’s die spanningsonderbrekers levert noemt een nominale waarde van 3 kBq H-3 per spanningsonderbreker [91]. Het aantal van dit soort apparaten is onbekend, maar loopt wellicht in de 100.000-en. De websites van

verschillende firma's die spanningsonderbrekers leveren, inclusief die van Joslyn, geven geen informatie over het al of niet aanwezig zijn van H-3.

H-3 wordt verder gebruikt bij de productie van starters ter verbetering van de ontsteekvertraging. De toegepaste activiteit is volgens Blaauboer et al. [1] 11 kBq. De hoeveelheid H-3 is de laatste jaren afgenomen en Philips verwachtte in 1999 dat tritiumstarters binnen 2-3 jaar vervangen zouden worden door 'groene starters' [92; 93; 94]. Prijstechnische overwegingen zijn de reden dat er op dit moment nog H-3 starters op de markt zijn [95]. Het aantal H-3-houdende starters wordt zowel door Blaauboer et al. [1] als Eleveld en Pruppers [2] geschat op 5 miljoen. Dit aantal is tevens toegepast in de hier uitgevoerde berekeningen en resulteert op grond van bovenstaande in een conservatieve schatting.

Th-232

Thoriumhoudende wolfraamelektroden gaan zeer lang mee en kunnen zeer hoge voltages verdragen. Ze worden daarom toegepast in speciale lampen. NRPB/GRS [26] noemt het voorkomen in booglampen (*xenon short arc lamps*, *mercury short arc lamps*) en metaalhalide lampen (Figuur 9.1) met een gemiddelde activiteit van 0,5 kBq en een maximum van 10 kBq. In NRPB/GRS [26] wordt aangegeven dat er geen specifieke gegevens zijn over productie en jaarlijks gebruik, maar dat de omvang gezien de specifieke toepassing beperkt is. Korte booglampen worden toegepast in bioscopen, spotlights en speciale medische apparatuur. De hoge kosten, de korte levensduur en het vermogen (<100 – enkele kW) maken booglampen ongeschikt voor algemeen gebruik [96]. Meer informatie over booglampen is te vinden op websites van fabrikanten [97, 98] en opleidingen [99]. Het aantal producten is gezien de specifieke toepassing geschat op 1000 per toepassing.



Figuur 9.1. Twee voorbeelden van booglampen (arc lamps). Boven een lineaire booglamp, beneden een korte booglamp. Copyright CCI Publishing, Waco, Texas, USA.

Thoriumhoudend wolfraamelektroden worden ook in andere elektronenbuizen toegepast. Svetlana Electronic Devices noemt als toepassingen voor elektronenbuizen: '*high-power RF applications at big radio stations and large FM broadcast stations are almost exclusively powered by tubes, guitar amps, professional audio e.g. for recording and high-end audio components. Nearly all big power tubes used in radio transmitters use thoriated filaments, as do some glass tubes used in hi-fi amps.*' Er worden geen activiteiten genoemd [90]. Uitgangspunt voor de berekeningen is een activiteit van 0,1 kBq conform de in Tabel 9.2 vermelde metal halide lampen, het aantal is geschat op 10.000.

In NCRP [16] wordt het gebruik van thorium in TL-starters genoemd. Dergelijke starters worden ook genoemd in Frame en Kolb [6] en Sadagopan en Shukla [100] die activiteiten opgeven van enkele mBq tot enkele Bq (zie Tabel 9.2). Het is twijfelachtig of dergelijke producten nog verkocht worden in Nederland. Tot ca. 1989 werd door Philips Electronics Lightning divisie Th-232 toegepast in verschillende producten. Dit werd in de meeste producten langzamerhand vervangen door Kr-85 [92; 93; 94, 95].

Kr-85

Kr-85 wordt toegevoegd aan vulgas voor speciale lampen. De gemiddelde hoeveelheid in metaalhalide lampen bedraagt 1 kBq, het maximum 5 kBq per exemplaar [26].

TL-starters bevatten eveneens Kr-85. De hoeveelheid bedraagt gemiddeld 150-250 Bq per exemplaar, maximaal 1 kBq per lamp starter [26]. De door Philips geproduceerde starters bevatten vroeger vaak meer dan 10 kBq. Tegenwoordig bedraagt deze hoeveelheid maximaal 1 kBq en vaak zelfs minder dan 100 Bq [95]. Het aantal Kr-85 starters werd door Blaauboer et al. [1] geschat op 2 miljoen. Dit aantal is mogelijk aan de lage kant daar thoriumhoudende producten door Philips zijn vervangen door Kr-85-houdende producten [92; 93; 94]. In Duitsland worden vele miljoenen exemplaren per jaar verkocht [26].

Pm-147

De maximaal opgegeven Pm-147 activiteit voor lamp starters bedraagt 12 en 18,5 KBq (Tabel 9.2). Philips produceert geen producten met Pm-147 [95]. In het NRPB/GRS-rapport over vervoer van consumentenelektronica met radionucliden wordt toepassing van Pm-147 wel vermeld. Het is niet duidelijk of dergelijke starters in Nederland worden verhandeld.

Een aantal professionele doorslagveiligheden bevatten Pm-147 en worden in een apart deel van dit rapport behandeld. Omdat ze in de openbare ruimte worden toegepast staan leden van de bevolking bloot aan straling afkomstig van deze doorslagveiligheden.

Tabel 9.2. Overzicht van momenteel nog geproduceerde radioactieve elektronenbuizen voor de consumentenmarkt

product	nuclide	max. activiteit kBq	bron
spanningsonderbreker	H-3	3	91
lamp starter	H-3	11	1 ¹⁾
lamp starter	H-3	4,5	100
lamp starter	H-3	-	93
voltage regulator	Ni-63	185	6
metal halide lamp	Kr-85	5	26
lamp starter	Kr-85	19	1
TL starter	Kr-85	1	26
TL starter	Kr-85	0,925	6
lamp starter?	Kr-85	-	93
promethium starter	Pm-147	12	6
promethium starter	Pm-147	18,5	100
Th-elektrode	Th-232/228	-	90
thorium starter	Th-232/228	1,85E-05	16
thorium starter	Th-232/228	4E-06	6
thorium starter	Th-232/228	13E-03	100
metal halide lamp	Th-232/228	0,1	26
xenon short arc lamp	Th-232/228	3	26
mercury short arc lamp	Th-232/228	9	26

1) Eleveld en Pruppers [2] vermelden voor H-3 en Kr-85 in lamp starters dezelfde activiteiten als Blaauboer et al. [1].

- niet bekend

Co-60

Het lijkt niet waarschijnlijk dat Co-60-houdende elektronica nog in Nederland te verkrijgen is. Cobalt-60 is veelvuldig toegepast voor militaire doeleinden. Met betrekking tot de consumentenmarkt wordt het gebruik in oliegestookte ovens genoemd [6]. Frame en Kolb [6]

vermelden dat er in 1994 nog 100 van deze Co-60 ontstekers in voorraad waren en dat ze daarna niet meer geproduceerd zijn. Door de NCRP [16] werd het gebruik van deze apparatuur voor de consumentenmarkt eveneens genoemd. Hoewel de collectieve dosis gezien het beperkte aantal werd ingeschat op 0, werd gebruik door de NCRP afgeraden. In Schmitt-Hannig et al. [4] worden Co-60 houdende elektronenbuizen genoemd voor het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk met een maximale activiteit van respectievelijk 6 en 37 kBq. Aantallen worden niet gegeven.

9.6 Individuele en collectieve doses

Verschillende militaire bronnen geven aan dat de radionuclidenactiviteiten in elektronenbuizen dusdanig laag zijn, dat er, bij intact blijven van de buis, geen significant effect te verwachten is [101]. De NCRP [16] geeft eveneens aan dat ondanks het grote aantal verkochte elektronenbuizen de collectieve dosis beperkt is, hetgeen voornamelijk veroorzaakt wordt door de geringe hoeveelheid radionucliden per buis. De hoogste individuele dosis wordt veroorzaakt door buizen die Cs-137 bevatten en bedraagt 4 μSv per jaar. Voor Nederland wordt door Blaauboer et al. [1] de collectieve dosis geschat op 0,61 mensSv per jaar, Eleveld en Pruppers [2] schatten de collectieve dosis ten gevolge van Co-60 houdende elektronica op 9E-04 mensSv per jaar.

Tabel 9.3 Dosis berekend in deze studie vergeleken met die van voorgaande studies voor de gebruiksfase van elektronica

toepassing	nuclide	max. act. kBq	individuele dosis $\mu\text{Sv/a}$	land	aantal producten	collectieve dosis mensSv/a	bron
elektronenbuizen	diverse	-	4E-02	USA	2E+08	1E+01	16
elektronica	diverse	-	4E-02	NL	2E+07	6E-01	1
starters TL	diverse	-	2E-04	NL	3E+06	1E-02	1
elektronica	Co-60	26	1E+00	NL	1E+03	9E-04	2
elektronica	H-3	1500	0E+00	NL	1E+06	0E+00	2
TL starters	H-3	11	0E+00	NL	5E+06	0E+00	2
TL starters	Kr-85	19	4E-03	NL	2E+06	7E-03	2
spark gap device	H-3	3	0E+00	NL	1E+05	0E+00	deze studie
TL starters	H-3	5	0E+00	NL	1E+06	0E+00	deze studie
voltage regulator	Ni-63	185	0E+00	NL	0E+00	0E+00	deze studie
metal halide lamp	Kr-85	5	2E-04	NL	1E+03	2E-07	deze studie
TL starters	Kr-85	1	3E-05	NL	1E+06	7E-05	deze studie
TL starters	Pm-147	12	7E-07	NL	0E+00	0E+00	deze studie
Th-filaments	Th-232	0,1	3E-03	NL	1E+04	3E-05	deze studie
TL starters	Th-232	4E-06	1E-07	NL	0E+00	0E+00	deze studie
metal halide lamp	Th-232	0,1	3E-03	NL	1E+03	3E-06	deze studie
Xe short arc lamp	Th-232	3	1E-01	NL	1E+03	1E-04	deze studie
Hg short arc lamp	Th-232	9	3E-01	NL	1E+03	3E-04	deze studie

- niet bekend of niet van toepassing

De activiteiten zoals gepresenteerd in Tabel 9.2 zijn als uitgangspunt gebruikt voor de in Tabel 9.3 gepresenteerde berekeningen. De aantallen zoals vermeld in kolom 6 van Tabel 9.3 zijn gedeeltelijk afgeleid van Blaauboer et al. [1] en Eleveld en Pruppers [2] (H-3 lamp starters), de NRPB/GRS studie (metal halide lamp + arc lamp), de Philips jaarverslagen (Th-starters) en moeten beschouwd worden als ruwe schatting. Op basis van de informatie van Philips moet bijvoorbeeld worden aangenomen dat het aantal H-3 houdende starters afneemt

en het aantal Kr-85 houdende toeneemt. Een uitgebreidere studie is nodig om de aantallen radionucliden bevattende elektronica-producten nauwkeuriger te schatten.

Bij de berekeningen is gebruik gemaakt van de gammadosisconstante van de verschillende nucliden en is conform de berekeningen in Eleveld en Pruppers [2] een afstand van 2 m verondersteld en een blootstellingsduur van 1 uur per dag. De dosis ten gevolge van H-3 is verondersteld nihil te zijn, mits deze producten niet lekken. De totale collectieve dosis door consumentenelektronica wordt geschat op $5E-04$ mensSv per jaar.

10 Tandprothesen

10.1 Inleiding

Tandprothesen bestaan voor het grootste deel uit veldspaat waaraan acrylaten en pigmenten zijn toegevoegd. De pigmenten zijn noodzakelijk om de tandprothesen een natuurlijke kleur te geven. Het porselein voor de tandprothesen wordt aangeleverd als poeder dat verwerkt wordt door tandtechnische bureaus. Daar wordt het op vorm gemaakt en wordt het bij een hoge temperatuur (800-2000 °C) gebakken. Er zijn verschillende merken poeder [zie 102; 103].

Uraniumoxide is in het verleden toegevoegd aan tandprothesen omdat het onder verschillende soorten belichting resulteerde in een natuurlijke kleur. Onder ultraviolet licht kleurde uraniumhoudende tandprothesen op eenzelfde manier als echte tanden terwijl de meeste andere tandprothesen daar van afweken. Tegenwoordig worden vaak oxiden van lanthaniden gebruikt zoals cerium, of terbium [16]. In Sairenji et al. [102], NCRP [16] en Papastefanou et al. [103] wordt een goed overzicht gegeven van het gebruik van uraniumoxide en de radiologische aspecten.

10.2 Wetgeving

Boven de 0,1% valt uranium onder de splijtstoffen en is diensgevolge vergunningplichting [104]. De vrijstellingsgrens voor U-238+ in het nieuwe Besluit Stralingsbescherming [3] is 10 Bq/g hetgeen overeenkomt met 0,08% indien we uitgaan van U-238.

10.3 Achtergrond

De eerste vermelding van toepassing van UO_2 in tandprothesen dateert van 1941. Door Charles Dietz werd bij het Amerikaanse patentbureau een patent ingediend waarbij door toevoeging van uraniumoxide aan kunstmatig porselein tandprothesen werden verkregen die er ook onder ultraviolet licht natuurlijk uitzagen [US patent 2,301,174]. Na 1959 zijn er geen patenten meer aangetroffen waarin UO_2 werd toegevoegd aan tandprothesen [10]. In de jaren zeventig werd het gebruik van uranium vanwege de radioactieve eigenschappen afgeraden en werden alternatieven ontwikkeld op basis van oxiden van terbium en cerium [zie o.a. US Patent 4,167,417, en 4,170,823 uit 1979]. De toepassing van uraniumoxide is sinds halverwege de jaren tachtig afgenomen. In de publicatie van de OECD [105] werd reeds aangegeven dat het gebruik van uranium in tandprothesen afneemt. In NCRP [16] wordt gemeld dat uranium niet langer wordt gebruikt door fabrikanten in de Verenigde Staten. In Nederland wordt uraniumoxide niet meer toegepast.

10.4 Activiteiten en dosistemp

De verschillende gewichtspercenten uranium in tandprothesen staan weergegeven in Tabel 10.1. Hoewel de patenten percentages geven tot 0,15%, werd in de NCRP-berekeningen [16] uitgegaan van een gemiddelde van 0,02%. Deze hoeveelheid benaderde de in de praktijk toegepaste gemiddelde hoeveelheid. Sairenji et al. [102] vermelden activiteiten van maximaal 0,02% voor tandprothesen uit de USA en maximaal 0,0081% voor Japanse tandprothesen. De berekeningen in Tabel 10.1 gaan uit van het gebruik van natuurlijk uranium. Indien er vanuit wordt gegaan dat het uranium in evenwicht is met de dochternucliden dan liggen de activiteiten circa twee maal zo hoog als aangegeven in Tabel 10.1. De natuurlijke activiteit

van de porseleinpoeders bedraagt circa 0,0001% uranium hetgeen overeenkomt met 0,026 Bq uranium per gram [102].

Tabel 10.1. In verschillende publicaties opgegeven maximale hoeveelheden uranium in tandprothesen in gewichtsprocenten en in Bq/g (uitgaande van natuurlijk uranium zonder dochters)

land	max. gehalte %	max. activiteit Bq/g	bron
USA	0,1	26	US patent 2,301,174 dd 23/9/41
USA	0,15	38	US patent 2,895,050 dd 14/7/59
UK	0,1	26	106
USA	0,044	11	107
JP	0,0081	2	102
USA	0,02	5	102
USA	0,05	13	wettelijk maximum USA, US-NRC, 1984
Greece	0,045	12	103
USA	0,02 (average)	5	16

10.5 Aantallen in Nederland

Het aantal uraniumhoudende tandprothesen werd voor berekeningen in 1989 geschat op 3000. Dit aantal was gebaseerd op Amerikaanse aantallen, omgerekend naar de Nederlandse situatie [1]. Het aantal uraniumhoudende tandprothesen in Nederland nam toen vermoedelijk al af. De firma Ivoclar, die een groot deel van de tandprothesen in West-Europa levert, geeft aan dat tot 10-15 jaar terug geringe hoeveelheden uranium werden gebruikt om een fluorescerend effect in tandprothesen te verkrijgen. Uraniumoxide wordt momenteel niet meer toegepast [108; 109]. De vervangingsduur van tandprothesen bedraagt circa 10 jaar [110]. Dit betekent dat het aantal nog aanwezige tandprothesen met uraniumoxide zeer beperkt zal zijn.

10.6 Individuele en collectieve doses

De stralingsdoses door uraniumoxide in de tandprothesen worden voornamelijk veroorzaakt door α -deeltjes afkomstig van U-234 en U-238 en door β -deeltjes afkomstig van Pa-234m, waarbij de α -deeltjes de grootste dosisbijdrage aan de oppervlakte van de tandprothese leveren. De bijdrage van γ -straling wordt als verwaarloosbaar verondersteld. Voor de tandprothesen met de hoogste concentratie uraniumoxide bedroeg de dosis voor het mondslijmvlies aan de oppervlakte van de tandprothese 1650 mSv/jaar. De gemiddelde doses voor mondslijmvlies door de verschillende tandprothesen bedroeg aan de oppervlakte tussen de 29 en 660 mSv/jaar [102]. O’Riordan en Hunt [106], Thompson [107] en Papastefanou et al. [103] rapporteren maximale doses voor mondslijmvlies van 6000 mSv/jaar, 4000 mSv/jaar en 1300 mSv/jaar bij respectievelijk 0,1, 0,05 en 0,044% uranium. De gegevens zijn samengevat in Tabel 10.2.

Tabel 10.2. Dosis voor het mondslijmvlies berekend in verschillende studies

nuclide	gewichts- procent %	dosis mond- slijmvlies Sv/a	land	bron
uranium	0,10	6	UK	106
uranium	0,044	1,3	USA	107
uranium	0,02	1,65	USA	102
U-238	0,05	4	Griekenland	103

De NCRP [16] gaat uit van een gemiddelde dosis voor het mondslijmvlies door β -straling van 7 mSv per jaar bij 0,02% uranium. Als wordt uitgegaan dat dit 1% van het huidoppervlak is met een weegfactor van 0,01, dan levert dit een effectieve dosis op van 0,7 μ Sv per persoon per jaar. Door NCRP [16] werd verondersteld dat 45 miljoen Amerikanen nog uraniumhoudende tandprothesen droegen, hetgeen resulteerde in een collectieve dosis van 31,5 mensSv. Het aantal momenteel in de Nederlandse populatie nog aanwezige uraniumhoudende tandprothesen is zeer beperkt, de collectieve dosis is ingeschat op 0 mensSv per jaar (Tabel 10.3).

Tabel 10.3. Individuele en collectieve dosis berekend voor uraniumhoudende tandprothesen

nuclide	gewichts- procent %	individuele dosis μ Sv/a	land	aantal producten	collectieve dosis mensSv/a	bron
uranium	0,02	0,7	USA	45E+06	31,5	16
U-238, Ce-140	-	0,7	NL	3E+03	0,002	1
uranium	- ¹⁾	-	NL	0E+00	0	deze studie

1) wordt niet meer toegepast

- niet bekend

11 Keramische tegels

11.1 Inleiding

In de keramische industrie wordt zowel zirkoniumsilicaat (ZrSiO_4), als zirkoniumoxide (ZrO_2) gebruikt. Beide worden geproduceerd uit zirkoonzand. Zirkoonzand komt van nature voor, maar ontstaat ook als bijproduct van ‘*heavy-mineral sand mining*’. Zirkoonzand bestaat voor 66% uit zirkoniumsilicaat (ZrSiO_4), en 33% uit siliciumoxide (SiO_2). Naast zirkoniumoxide dat wordt geproduceerd uit zirkoonzand komt het in natuurlijke vorm voor als Baddeleyite.

Zowel zirkoonzand als Baddeleyite bevatten kleine hoeveelheden uranium- en thoriumoxide. Zirkoonzand wordt in percentages van 10-15% toegevoegd aan de buitenste glazuurlaag van keramische tegels. Frame en Kolb [6] vermelden over ZrO_2 : ‘*zirconium oxide is used as an insulator, refractory lining, and opacifier in enamels and glazes*’. De pigmenten waarin zirkoniumoxide wordt verwerkt, worden gekenmerkt door een grote vuurvastheid en hoge kleurintensiteit en worden gebruikt voor tegels, sanitaire artikelen en serviesgoed [111]. Verschillende thorium- en uraniumverbindingen werden in het verleden toegepast in glas, porselein en andere keramische artikelen vanwege de kleur. De toepassing van dergelijke verbindingen wordt vrij uitgebreid behandeld in Frame en Kolb [6]. Hier zal voornamelijk worden ingegaan op het gebruik van zirkoonzand.

11.2 Wetgeving

Het Besluit Stralingsbescherming is niet van toepassing op blootstelling aan radionucliden die aanwezig zijn in bouwmaterialen. Keramische tegels worden daar niet toe gerekend en vallen daardoor wel onder dit besluit [3]. De vrijstellingsgrenzen bedragen voor de in keramische tegels aanwezige radionucliden Ra-226+, Th-232 en U-238+ 10 kBq per product. De vrijstellingsgrenzen voor de activiteitsconcentratie bedragen 1 Bq/g voor Ra-226+ en 10 Bq/g voor Th-232 en U-238+ [3]. Bij de interpretatie van deze vrijstellingsgrenzen doen zich twee problemen voor: moet voor de activiteitsconcentraties de gehele tegel worden beschouwd of alleen de glazuurlaag en moet de vrijstellingsgrens voor activiteit per tegel worden beschouwd of voor een tegelwand als geheel.

Naast de vrijstellingsgrenzen voor producten stelt het Besluit Stralingsbescherming ook eisen aan het omgevingsdosisequivalent dat leden van de bevolking mogen ontvangen. Deze bedraagt 10 μSv per jaar [3, Nota van toelichting par. 4.5.2].

11.3 Achtergrond

Hoewel het voorkomen van U-238 en Th-232 (en dochters) in keramische tegels al langer bekend is, is er in het verleden weinig aandacht aan geschonken. Zowel OECD [105] als NCRP [16] noemen de aanwezigheid van U-238 en Th-232 in keramische tegels, maar vermelden geen doses. Vermoedelijk hebben deze verwijzingen betrekking op het voorkomen van Th-232 en U-238 in kleurstoffen. De aandacht voor de in zirkoonzand aanwezige natuurlijke radionucliden dateert van eind jaren zeventig [112]. Er zijn sindsdien enkele publicaties verschenen waarin de activiteiten van K-40, Ra-226, Th-232 en U-238 in keramische tegels en/of zirkoonzand zijn bepaald. Met het uitkomen van nieuwe Europese regelgeving die limieten stelt aan de activiteitsconcentraties in producten [113] en het streven van de Rijksoverheid de stralingsdosis binnenshuis op een constant niveau te handhaven is de

vraag naar de hoeveelheid straling vanuit keramische tegels ook in Nederland actueel geworden.

11.4 Activiteiten en dosistempi

De radionuclidenconcentraties in zirkoonzand hangen sterk af van de herkomst van dit zand [112]. De concentraties van Th-232 en U-238 in keramische tegels liggen respectievelijk meer dan een factor 50 en meer dan een factor 10 lager dan in zirkoonzand. De K-40 activiteit ligt een factor 10-20 hoger. De activiteitsconcentraties van deze radionucliden in keramische tegels zijn samengevat in Tabel 11.1 en liggen ruim beneden de vrijstellingsgrenzen genoemd in paragraaf 11.2.

Door Deng et al. [114] werd het dosistempo aan stapels tegels in winkels gemeten en in woonhuizen. Het gemiddelde gammadosistempo gemeten aan een stapel geglazuurde tegels was 50% hoger dan de achtergrond. Het dosistempo gemeten aan ongeglazuurde tegels en in kamers betegeld met geglazuurde tegels verschilde niet significant van de achtergrond. Deng et al. [114] merkten op het beta-dosistempo eveneens in ogenschouw te nemen. O'Brien et al. [115] en Higgy et al. [116] berekenden het dosistempo uit de radionuclidenconcentraties in keramische tegels. De resultaten van de verschillende studies staan samengevat in Tabel 11.2.

Tabel 11.1. Activiteitsconcentraties in keramische tegels en de bepalingmethode

K-40 Bq/kg	Ra-226 Bq/kg	Th-232 Bq/kg	U-238 Bq/kg	methode	bron
	25-88			γ -spectrometrie	115
800-900	-	50-70	60-80	γ -spectrometrie	112
250-600	70-80	50-70	70-80	γ -spectrometrie	116
			60-70	α -spectrometrie	116

11.5 Aantallen in Nederland

Er zijn in Nederland twee grote tegelproducenten en een beperkt aantal kleinere. Eén van de grotere, Koninklijke Mosa, produceert per jaar 150 miljoen tegels waarvan naar schatting 55% zirkoonsilicaat bevat. Een deel hiervan is voor de binnenlandse markt. Het aantal tegels dat jaarlijks wordt geïmporteerd ligt vermoedelijk vele malen hoger dan 150 miljoen. Informatie over welk deel van de in Nederland verkochte keramische tegels zirkoonsilicaat bevat en in welke hoeveelheden ontbreekt momenteel [15].

11.6 Individuele en collectieve doses

Recent zijn er enkele publicaties verschenen die ingaan op de activiteitsconcentraties en de individuele doses die het gevolg zijn van het gebruik van zirkoonzand in glazuur. Deze zijn samengevat in Tabel 11.2.

O'Brien et al. [115] berekenden voor een kamer van $3 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$ betegeld met geglazuurde tegels een effectieve dosis van $370 \mu\text{Sv/jaar}$. Bij een verblijftijd van 2-3% resulteert dit in een individuele dosis van $7,5\text{-}10 \mu\text{Sv/jaar}$. Eleveld en Pruppers [2] berekenden voor de Nederlandse situatie een individuele dosis van $4 \mu\text{Sv/jaar}$ en een collectieve dosis van 64 mensSv/jaar . Zij gaven aan dat overschrijding van het individuele dosiscriterium van $10 \mu\text{Sv a}^{-1}$ in de Nederlandse situatie niet ondenkbaar is. De doses die tegelzetters ontvangen of personen die beroepsmatig verblijven in een ruimte met veel tegels zijn mogelijk veel hoger. Deze schattingen zijn echter gebaseerd op enkele publicaties die niet noodzakelijk

representatief zijn voor de Nederlandse omstandigheden. Wat de radionuclidenconcentraties en de dosistempo zijn van de in Nederland verkrijgbare tegels en de omvang van de markt is niet bekend. De collectieve dosis is daarom niet berekend. Momenteel wordt een onderzoeksproject voorbereid om hierover meer informatie beschikbaar te krijgen.

Tabel 11.2. Dosistempo ten gevolge van geglazuurde keramische tegels binnenshuis

type straling	dosistempo $\mu\text{Sv/uur}$	verblijftijd	ind. dosis $\mu\text{Sv/a}$	coll. dosis mensSv/a	bron
β -dosistempo	0,09 – 0,032	-	-	-	114 ¹⁾
γ -dosistempo	0,0091-0,0178	10 min/dag	0,6 - 1	-	116 ²⁾
γ -dosistempo	0,04	2-3%	7,5 - 10	-	115 ³⁾
γ -dosistempo	0,024	30 min/dag	4	64	2 ⁴⁾

1) dosistempo in weefsel (7 mg cm^{-2}) op 20-100 cm afstand; aanname $\text{Gy} = \text{Sv}$

2) dosistempo in het midden van een $4 \times 5 \times 2,8 \text{ m}^3$ kamer voor een keramische wand van 2-4 cm

3) dosistempo in het midden van een $3 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$ kamer betegeld met geglazuurde tegels

4) dosistempo in het midden van een $3 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$ kamer betegeld met geglazuurde tegels

- = onbekend

12 Bliksemafleiders

12.1 Inleiding

Radioactieve bliksemafleiders bezitten rond de punt van de bliksemafleider een radioactieve bron. Het idee daarachter was dat een dergelijke bron de ruimte rond de bliksemafleider ioniseert waardoor een efficiëntere bliksemafleiding wordt verkregen [US patent 3,919, 956]. Meestal werden hiervoor α -emitters gebruikt zoals Ra-226 en Am-241.

In de zestiger jaren werd, o.a. door KEMA, onderzocht of radioactieve bliksemafleiders een betere werking vertoonden dan conventionele bliksemafleiders. Er kon niet worden aangetoond dat radioactieve bliksemafleiders een grotere werkingsruimte hadden dan conventionele, niet-radioactieve bliksemafleiders [117]. Daarmee verviel ook het nut om radioactieve bliksemafleiders te plaatsen. In Delhove [118] wordt uitgebreid op radioactieve bliksemafleiders en de stralingsrisico's ingegaan.

12.2 Wetgeving

Vanaf de eerste import van radioactieve bliksemafleiders in Nederland, in 1935, tot en met 1960 was er geen vergunning noodzakelijk voor het plaatsen van een radioactieve bliksemafleider. Vanwege de radiotoxiciteit werd de invoer van radioactieve bliksemafleiders in 1961 verboden. Tot circa 1970 werden er, vanuit de bestaande voorraad, nog radioactieve bliksemafleiders geplaatst. Met het in werking treden van het Radioactieve stoffenbesluit KeW op 1/1/70 werd het bezit van een radioactieve bliksemafleider vergunningsplichtig. De minister heeft toen wegens het ontbreken van aantoonbaar nut besloten dat geen vergunningen meer afgegeven zouden worden. Gemeenten zijn in 1973 aangeschreven om de in hun gemeente aanwezige radioactieve bliksemafleiders te melden en te laten verwijderen [119]. In de jaren 1990-1992 is er door de Milieuinspectie Zuidwest actie ondernomen om alle nog aanwezige radioactieve bliksemafleiders op te sporen en te verwijderen. Vier bliksembeveiligingsbedrijven hadden daartoe ontheffing gekregen [86]. Er is momenteel nog één firma in het bezit van een vergunning *'uitsluitend voor het voorhanden hebben van radioactieve bliksemopvangsers van bliksembeveiligingsinstallaties, zulks in verband met het verwijderen bij derden in heel Nederland'* [120].

12.3 Achtergrond

Het idee van radioactieve bliksemafleiders werd in 1914 geopperd door Szillard [6; 16]. Tot toepassing kwam het toen echter nog niet. De eerste Amerikaanse patenten voor radioactieve bliksemafleiders dateren uit 1935 en 1938. In totaal zijn er van de ca. 300 patenten die betrekking hebben op bliksemafleiders 12 aangetroffen waarbij radioactieve stoffen worden toegepast (zie Tabel 12.1). In een aantal gevallen worden in deze patenten nucliden genoemd; activiteiten worden niet vermeld.

De eerste radioactieve bliksemafleiders waren voorzien van Ra-226 [zie o.a. US patent 3,328,508]. Daarna werd ook wel Kr-85 en Co-60 gebruikt. In de jaren zeventig werd veel Am-241 gebruikt omdat dit een α -emitter is met weinig gamma activiteit. Het eerste patent waarin Am-241 wordt genoemd, dateert van 1967 en meldt de schadelijkheid van de gammastraling afkomstig van het tot dan toe gebruikelijke Ra-226. Ook uit andere literatuur blijkt dat Am-241-houdende bliksemafleiders pas vanaf halverwege de jaren zestig in gebruik kwamen [118]. Subasic et al. [121] melden dat de meeste bliksemafleiders waren voorzien

van Ra-226 en Am-241, maar dat tevens de nucliden Co-60, Eu-152 en Eu-154 gebruikt werden. Sinds 1987 is de productie en verkoop in Frankrijk, waar veel radioactieve bliksemafleiders werden geproduceerd, verboden. Een overzicht voor Europa is gegeven in Bijlage 7.

Tabel 12.1. Overzicht van patenten voor (radioactieve) bliksemafleiders aangetroffen in het United States Patent and Trademark Office [CCL/174/4C]

patenthouder	bedrijf	datum	patent no.	nuclide
Capart	-	24/12/35	2,025,338	radioactief
Grenier	Int. Holding Radial, Lux	30/8/38	2,128,408	o.a. Pb-210, Th-230
Grenier	Ste Helita, Paris	30/6/53	2,644,026	radioactief
Donelli	US Radium Comp., New York	3/12/57	2,815,395	α
Capart	-	30/9/58	2,854,499	α
Capart	-	17/1/61	2,968,806	α , β , Ra-226
Ritter	Gen. Protection Est., Liechtenst.	27/6/67	3,328,508	radioactief
Ritter	Gen. Protection Est., Liechtenst.	31/10/67	3,350,496	Am-241
Constant	CEN, Brussels	9/5/72	3,662,083	β , Kr-85
Puget	Nuclear Iberia	22/7/75	3,896,342	α , Ra-226, Am-241
Invernizzi	-	18/11/75	3,919,956	Am-241
Donelli	-	2/8/77	4,039,739	α , Am-241
Invernizzi	Energie Froide Int SA, Geneva	25/5/83	4,480,146	geen
Sautereau ea	Ste Fr. Helita, Paris	10/9/85	4,540,844	geen
Lefort ea	Indelec Sarl, Douai, FR	21/6/88	4,752,854	geen

- = onbekend of niet van toepassing

12.4 Activiteiten en dosistampi

In Nederland waren alleen bliksemafleiders van het merk H elita toegestaan (zie Figuur 12.1). De drie typen bliksemafleiders die in Nederland werden verkocht hadden volgens de Société H elita een activiteit van respectievelijk 11,1, 22,2 en 33,3 MBq Ra-226 [o.a. 118]. De 34 radioactieve bliksemafleiders die in de periode 1984 –1989 door het RIVM werden verwerkt en afgevoerd hadden een gemiddelde activiteit van 7,4 MBq Ra-226. De hoogst gemeten waarde bedroeg 35-40 MBq Ra-226 [119]. Wat de rol van corrosie is in de afname van de activiteit en het effect daarvan voor de blootstelling is niet duidelijk [122].

Het lijkt onwaarschijnlijk dat er in Nederland bliksemafleiders zijn geplaatst met Am-241. De invoer van radioactieve bliksemafleiders werd verboden vanaf 1961. Bliksemafleiders met Am-241 kwamen daarna pas op de markt.

12.5 Aantallen in Nederland

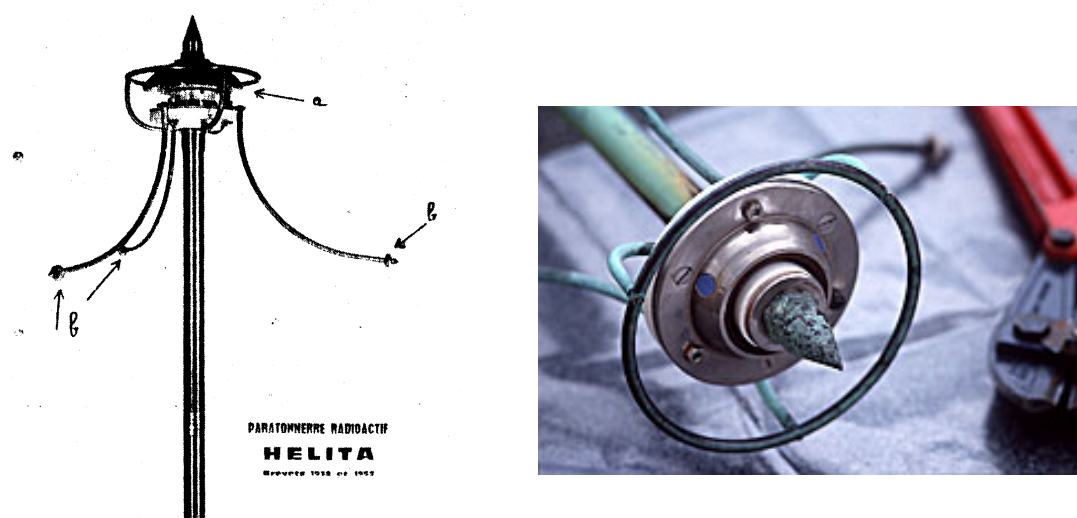
Naar schatting waren er tot 1970 500 radioactieve bliksemafleiders verspreid over Nederland geïnstalleerd. Dit aantal is tot stand gekomen door de adressenlijst van de alleenvertegenwoordiger van de Société Helita te combineren met een inventarisatie van het Ministerie van Volksgezondheid uit 1973. Deze totale lijst is door de Milieuinspectie Zuidwest gebruikt om in de jaren 1990 en 1992 te komen tot verwijdering van alle nog aanwezige radioactieve bliksemafleiders. Wereldwijd werd het aantal radioactieve bliksemafleiders in 1976 geschat op 200.000 [16; 121].

Van de 500 radioactieve bliksemafleiders waren er in 1990 reeds circa 100 afgevoerd naar RIVM en COVRA. Van de resterende 400 bliksemafleiders bleken er 257 reeds te zijn gedemonteerd. De bestemming van deze bliksemafleiders was niet meer te achterhalen. In de

periode 1990-1992 werden er 121 nog aanwezige bliksemafleiders verwijderd en afgevoerd naar COVRA. Van de overige 22 bliksemafleiders zijn er na 1992 nog enkele met zekerheid afgevoerd [86].

In 1995 en 1996 verwijderde de firma Hommema respectievelijk nog 3 en 1 radioactieve bliksemafleider [123]. De afgelopen twee jaar zijn er geen radioactieve bliksemafleiders meer door Hommema verwijderd. In 1996 is voor het laatst een radioactieve bliksemafleider via het RIVM afgevoerd naar de COVRA en in 1999 werd er door een blikseembeveiligingsbedrijf nog een radioactieve bliksemafleider met een geschatte activiteit van 4,8 MBq Ra-226 verwijderd in Rotterdam [86].

Breas [124] schat het aantal nu nog aanwezige exemplaren op maximaal 10. Een vertegenwoordiger van de firma Hommema [125] bevestigt dat er nog spitsen staan, maar kan geen schatting geven: *'In welke orde van grootte dit aantal is, is moeilijk in te schatten omdat wij niet over de importgegevens daarvan beschikken. Het aantal kan echter, gezien de gebouwen waarop ze veelal werden geplaatst, toch groter zijn dan wordt vermoed.'* Een schatting van 20 resterende spitsen lijkt gezien de hierboven genoemde aantallen aan de veilige kant.



Figuur 12.1. Links een voorbeeld van de in Nederland geplaatste radiumhoudende bliksemafleiders. De radioactieve delen zijn met a en b aangegeven. Rechts een detail van een gedemonteerde radioactieve bliksemafleider.

12.6 Individuele en collectieve doses

Bij de berekeningen is uitgegaan van een activiteit van 20 MBq Ra-226, een gammadosisconstante van $2,60\text{E-}01 \mu\text{Sv/uur}$ op 1 m per MBq Ra-226, een blootstellingsduur van 8 uur gedurende 200 dagen en een afstand van 20 meter. Afscherming is niet meegenomen. Er is aangenomen dat er zich nog 20 bliksemafleiders op woningen of andere gebouwen bevinden. Bij de berekeningen van de NCRP [16] is eveneens uitgegaan van een blootstellingsduur van 8 uur per dag, er wordt hier geen afstand opgegeven. De individuele dosis bedraagt $21 \mu\text{Sv}$ per jaar, de collectieve dosis $1\text{E-}03 \text{ mensSv}$ per jaar (Tabel 12.2). De dosis ten gevolge van incidenten moet vermoedelijk hoger worden ingeschat dan de dosis door op gebouwen aanwezige bliksemafleiders, maar een schatting hiervan is niet te geven [122].

Tabel 12.2. Doses ten gevolge van de nog aanwezige radioactieve bliksemafleiders

nuclide	max. activiteit kBq	ind. dosis $\mu\text{Sv/a}$	land	aantal producten	aantal blootgest	collectieve dosis mensSv/a	bron
Ra-226, Am-241	-	5E-01	USA	12000	120000	6E-02	16
Am-241 ¹⁾	-	9E+03	USA	1500	12	1E-01	16
Ra-226 ²⁾	20E+03	2E+01	NL	20	60	1E-03	deze studie
Ra-226 ³⁾	20E+03	2E+01	NL	1	2	4E-05	deze studie

1) dosis werknemers plaatsing radioactieve bliksemafleiders

2) dosis leden van de bevolking

3) dosis werknemers verwijdering radioactieve bliksemafleiders

- = niet bekend of niet van toepassing

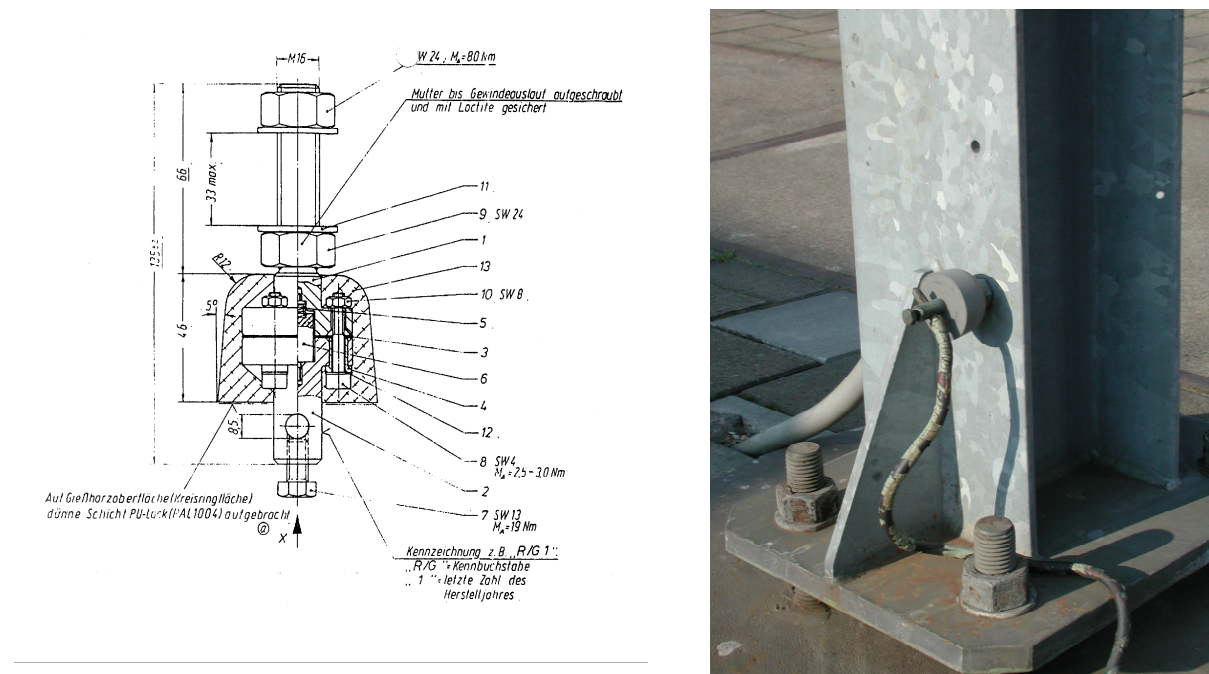
Ter vergelijking is hier de dosis voor werknemers bij verwijdering gegeven. Voor de dosis bij verwijdering is uitgegaan van gegevens zoals opgegeven in het instructiehandboek van de firma Hommema: afstand 0,5 m, blootstellingstijd 1 uur en een montageteam van 2 personen [123]. Er is uitgegaan van verwijdering van 1 radioactieve bliksemafleider per jaar met een activiteit van 20 MBq. De individuele dosis werd geschat op 21 μSv per verwijderde bliksemafleider, de collectieve dosis op 4E-05 mensSv (Tabel 12.2). In NCRP [16] werd de individuele dosis bij installatie van bliksemafleiders met Am-241 geschat op 70 μSv per geïnstalleerde bliksemafleider. Bij het opruimen van een naar beneden gewaaide radioactieve bliksemafleider werd aan de hand van dosismetingen berekend dat de extra opgelopen dosis 0,3 μSv bedroeg [119]. Gezien het feit dat de activiteit relatief hoog is ingeschat liggen de reële waarden vermoedelijk lager dan de hier berekende doses.

13 Doorslagveiligheden

13.1 Inleiding

Doorslagveiligheden, ook wel overslagbeveiligingen, worden toegepast in hoogspanningsleidingen, zoals bovenleidingen van spoorwegen. Deze doorslagveiligheden dienen om een te hoge spanning op bepaalde onderdelen te voorkomen. Om de ionisatie van lucht in de overspanningbeveiliging te bevorderen kunnen hieraan radioactieve stoffen worden toegevoegd. Door afscherming van de lucht in de beveiliging, door de omhulling, vindt er een geringere voorionisering van de lucht plaats door licht en achtergrondstraling. De toevoeging van Pm-147 dient ter verlaging en ter stabilisering van de aanspreekspanning van de doorslagveiligheid [126]. Er zijn verschillende firma's die doorslagveiligheden voor hoogspanningsleidingen produceren, zoals Siemens en ABB. Uit de informatie die deze firma's op hun internetsites verstrekken wordt niet duidelijk of zij radionucliden toepassen [bijv. 127].

De doorslagveiligheden worden op stalen delen gemonteerd die door isolatorbreuk of draadbreek onder hoogspanning kunnen komen te staan, zoals perronoverkappingen en seinpalen (zie Figuur 13.1). De doorslagveiligheden hebben daarbij als functie aanrakingsgevaar te voorkomen, doordat bij overschrijding van een bepaalde drempelwaarde een kortsluiting ontstaat waardoor de bovenleiding wordt afgeschakeld. Bovendien wordt het ongewenst wegvloeien van retourstroom naar de aarde voorkomen [126]. De facto betreft het hier geen gebruiksartikelen; wel kunnen leden van de bevolking worden blootgesteld aan straling afkomstig van deze producten. Zowel in Blaauboer et al. [1] als in Eleveld en Pruppers [2] wordt op de blootstelling aan deze producten ingegaan.



Figuur 13.1. Links: voorbeeld van een 800 V doorslagveiligheid zoals deze in Nederland worden gebruikt. No. 1 en 2 zijn de elektroden, no. 6 is de 800 kV doorslagveiligheid. Maten in mm. Rechts: toepassing in de praktijk.

13.2 Wetgeving

Het nuclide Pm-147 is tot een activiteitsconcentratie van 10.000 kBq niet vergunningplichtig, H-3 tot een activiteitsconcentratie van 1E+06 kBq [3]. De opslag is wel vergunningplichtig.

13.3 Achtergrond

De eerste patenten waarin de toepassing van radionucliden in doorslagveiligheden wordt genoemd, dateren uit de jaren dertig en veertig van de vorige eeuw (Tabel 13.1). Deze patenten betreffen het voorkomen van overspanning door blikseminslag. In deze eerste patenten worden vaak Ra-226 en Th-232 genoemd als ‘voor-ionisatoren’. Later werd voornamelijk Ni-63 en Kr-85 gebruikt [US Patent 3,431,452]. Het eerste patent waarin Ni-63 en Kr-85 worden genoemd dateert van 1961.

De toepassing van Pm-147 wordt voor het eerst gemeld in patenten uit de zeventiger jaren. Er werden in de periode na 1970 ook verschillende doorslagveiligheden gepatenteerd die geen radionucliden bevatten.

13.4 Activiteiten en dosistempi

Blaauboer et al. [1] geven voor de activiteit in doorslagveiligheden een range aan van 110-180 kBq Pm-147, Eleveld en Pruppers [2] van 100-200 kBq Pm-147. De in Nederland door de NS toegepaste doorslagveiligheden bevatten gemiddeld 50 kBq en maximaal 100 kBq Pm-147 [126].

Tabel 13.1. Overzicht van een aantal patenten voor (radioactieve) doorslagveiligheden aangetroffen in de database van het United States Patent and Trademark Office

patenthouder	bedrijf	datum	patent no.	nuclide
Hansell	Radio Corp of America	19/3/40	2,194,145	Ra-226
Foulke	General Electric	2/10/56	2,765,417	Ra-226, ThO ₂
Wellinger	General Electric	27/6/61	2,990,492	Ni-63 (Kr-85)
Hale en Wright	USA	4/3/69	3,431,452	geen
Scudner	Bell Telephone Labs Inc.	8/7/69	3,454,811	geen
Bahr en Peche	Siemens	12/9/72	3,691,428	ThO ₂
Lange	Siemens	25/5/76	3,959,696	geen
Peche et al.	Siemens	7/9/76	3,979,646	Pm-147
Lange	Siemens	2/11/76	3,989,985	geen
Klayum	Reliable Elec. Comp.	25/8/81	RE30,724	Pm-147
Munt	Siemens	14/8/84	4,466,043	geen

13.5 Aantallen in Nederland

Door Blauboer et al. [1] werd het aantal aanwezige doorslagveiligheden geschat op 40.000. Er werd geen schatting gemaakt van het aantal blootgestelde personen. Door Eleveld en Pruppers [2] werd uitgegaan van het door Blauboer et al. [1] opgegeven aantal. De aanvraag voor de complexvergunning van Railpro geeft aan dat de doorstroom ca. 10.000 stuks per jaar omvat; de opslag omvat maximaal 1500 doorslagveiligheden [126]. Volgens Railpro zijn de doorslagveiligheden op alle palen van de bovenleiding gemonteerd op ca. 50 cm van de grond [128]. Het aantal van 40.000 komt goed overeen met de hoeveelheid die berekend kan worden uitgaande van 2800 km spoorlijn en 60 m uit elkaar staande bovenleidingspalen.

Het lijkt aannemelijk dat doorslagveiligheden ook bij hoogspanningsleidingen worden toegepast. Hiervan zijn geen KeW-vergunningen aangetroffen, hetgeen er op kan wijzen dat hier beveiligingen zonder radionucliden worden toegepast. Indien beveiligingen met een vergelijkbare activiteit als de hierboven vermelde beveiligingen worden toegepast, dan mag de blootstelling als zeer beperkt worden verondersteld gezien de veelal grote afstand tot leden van de bevolking.

13.6 Individuele en collectieve doses

De gemiddelde activiteit van de door NS gebruikte doorslagveiligheden bedraagt 50 kBq Pm-147. Er is in de berekeningen uitgegaan van de maximale activiteit van 100 kBq Pm-147. Eleveld en Pruppers [2], gingen uit van blootstelling gedurende 24 uur per dag op 1 m afstand en een gammadosisconstante van $6E-07 \mu\text{Sv/h}$ op 1 m per MBq, hetgeen resulteerde in een individuele dosis van $0,11 \mu\text{Sv}$ per jaar. Voor de collectieve dosis werd uitgegaan van 1 blootgestelde per product.

Blootstelling vindt voornamelijk plaats op stations. Er is aangenomen dat op de 450 stations totaal 4500 doorslagveiligheden zijn geplaatst. Voor de individuele dosis is een blootstelling blootstelling van 10 minuten per dag op 1 meter afstand aangenomen. Dit resulteert in een individuele dosis van $4E-06 \mu\text{Sv}$ per jaar. Het aantal blootgestelden is geschat op circa 500.000 (4500 doorslagveiligheden x 6 blootgestelden per uur x 18 uur). De collectieve dosis bedraagt $2E-06 \text{ mensSv}$ per jaar (Tabel 13.2). Aangezien de gemiddelde activiteit ongeveer de helft bedraagt van de hier gebruikte hoeveelheid en door de omhulling afscherming plaats vindt, zal de reële collectieve dosis nog aanzienlijk lager zijn.

Tabel 13.2. Individuele en collectieve dosis voor doorslagveiligheden

nuclide	max. activiteit kBq	individuele dosis $\mu\text{Sv/a}$	land	aantal producten	collectieve dosis mensSv/a	bron
Pm-147	180	-	NL	4E+04	-	1
Pm-147	185	0,011	NL	4E+04	4E-04	2
Pm-147	100	4E-06	NL	4E+04	2E-06	deze studie

14 Overige producten

Een aantal producten is in voorgaande rapportages genoemd, maar is op basis van de criteria genoemd in hoofdstuk 1.3 niet in dit rapport opgenomen. Op enkele van deze producten wordt hieronder kort ingegaan.

Tritiumhoudende uurwerken leidden in 1988 tot een collectieve dosis van 15 mensSv per jaar, waarbij werd uitgegaan van 15 miljoen blootgestelden. Voor GTLS (gaseous tritium light source) werd geen collectieve dosis berekend [1]. Aan tritiumhoudende uurwerken en GTLS is vrij uitgebreid aandacht besteed in Eleveld en Pruppers [2]. Voor GTLS werd uitgegaan van 5000 exemplaren conform Blaauboer et al. [1], het aantal tritiumhoudende uurwerken was onbekend. Er werd in de berekeningen voor de collectieve dosis uitgegaan van niet-lekkende producten, hetgeen voor beide producten resulteerde in een verwaarloosbare collectieve dosis. Indien wordt uitgegaan van lekkende producten dan resulteerde dit in een individuele dosis van 8 μ Sv per jaar.

Er zijn elf Zwitserse firma's die lichtgevende verf produceren. In 2000 werd door deze firma's voor 250 TBq H-3 ingekocht [129]. De firma's MB-Microtec AG en RC-Tritec AG produceren GTLS voor horloges, kompassen en andere apparatuur. De uurwerken, en andere zogenaamde aanwijsinstrumenten vallen onder artikelen 27-34 van het BS [3]. Toepassen van radionucliden voor verlichtingsdoeleinden in aanwijsinstrumenten is verboden, tenzij het instrument voldoet aan bij Ministeriele regeling vastgestelde regels ten aanzien van de constructie. De totale activiteit mag niet meer bedragen dan $1\text{E}+09$ Bq H-3 of $1\text{E}+04$ Bq Pm-147. Het aantal in Nederland aanwezige tritiumhoudende uurwerken en andere aanwijsinstrumenten is onbekend.

Beta-lights, tritiumhoudende lichtgevende staafjes, gebruikt in de sportvisserij, bevatten volgens opgave maximaal 20 GBq H-3. De maximale stralingsdosis op 10 cm is 1 μ Sv per uur. Import is verboden. Een enkele maal wordt parallelimport geconstateerd door de inspectie [86]. De collectieve dosis is verwaarloosbaar.

Het gebruik van ThO₂ in optisch glas werd genoemd door de NCRP [16]. Toepassing van optisch glas met 16% ThO₂ in oculairs resulteerde in een individuele dosis van 3-8 Sv per jaar op het oog. De NCRP [16] schatte het aantal thoriumhoudende oculairs laag in, maar berekende vanwege het ontbreken van aantallen geen collectieve dosis. Frame en Kolb [6] noemen het voorkomen van thorium in zogenaamde Crookes glasses. Dit soort gekleurde brillenglazen werden geproduceerd tussen 1960 en 1980. Toepassing van thoriumfluoride in optisch glas wordt verder in een aantal recente patenten van de USPTO [10] genoemd (bijv. US Patent 5,719,705 dd 17/2/98 en 6,028,707 dd 22/2/00). In hoeverre het thoriumfluoride in de praktijk wordt toegepast, wordt uit de patenten niet duidelijk.

In Frame en Kolb [6] wordt een verscheidenheid aan radioactieve gebruiksartikelen behandeld. De meeste van deze producten zullen niet of slechts in zeer beperkte mate in Nederland aanwezig zijn. Het effect van deze producten op de totale collectieve dosis zal daarom beperkt zijn.

15 Resultaten en discussie

In Tabel 15.1 zijn de door Blaauboer et al. [1] berekende collectieve doses, en de in het huidige rapport berekende collectieve doses voor Nederland samengevat. Hierin zijn de belangrijkste radioactieve gebruiksartikelen meegenomen.

Op basis van deze schatting blijkt de totale Nederlandse collectieve dosis te zijn afgenomen van 130 mensSv per jaar in 1988 tot 4,6 mensSv per jaar voor 2000. De grootste dosisreductie werd veroorzaakt door gloeikousjes, cameralenzen, pc's en tv's. Deze producten droegen in 1988, met 114 mensSv, voor bijna 90% bij in de totale collectieve dosis en nemen in de huidige berekening met 3,9 mensSv circa 80% voor hun rekening. De reductie wordt veroorzaakt door een kleiner aantal van deze producten op de consumentenmarkt (gloeikousjes) of door een lagere inschatting op basis van nieuwe gegevens (cameralenzen, radiumhoudende rookmelders), vervanging van radioactieve door niet-radioactieve producten (gloeikousjes, tandprothesen), het niet meer voorkomen van een bepaald product op de consumentenmarkt (laselektroden, antistatische middelen), en door een lagere inschatting van het dosistempo, namelijk op basis van metingen in plaats van een 'worst case' benadering met het gammadosistempo of uitgaande van de wettelijke normen (rookmelders, beeldschermen). Voor de meeste onderzochte gebruiksartikelen was er geen significante afname van de toegepaste activiteit. Alleen voor sommige soorten elektronica, zoals lampstarters, en voor doorslagveiligheden werd een aanzienlijke daling geconstateerd. De maximale activiteit in deze producten daalde van 19 naar 1 kBq Kr-85, en van 180 naar 100 kBq Pm-147.

Tabel 15.1. De door Blaauboer et al. [1] en in deze studie berekende individuele en collectieve doses voor gebruiksartikelen

	nuclide	Blaauboer et al., [1]			deze studie		
		individuele dosis μSv/a	aantal ¹⁾ blootgest.	collectieve dosis mensSv/a	individuele dosis μSv/a	aantal blootgest.	collectieve dosis mensSv/a
laselektroden	Th-232	2E+02	2E+04	3,2	1E+02	0E+00	0
gloeikousjes	Th-232	1E+02	7E+05	70	1E+02	2E+04	2
rookmelders ²⁾	Am,Ra,Kr	nuclide-afh.	2E+06	0,18	4E-02	1E+07	0,36
rookmelders	Am-241	7E-02	3E+04	0,002	1E-01	2E+06	0,31
cameralenzen	Th-232	4E+00	3E+06	13	2E-01	7E+04	0,01
pc's		2E+01	8E+05	13	7,9E-01	1,5E+06	1,2
tv's		1E+00	2E+07	18	4,3E-02	16E+06	0,69
antistat. middelen	Po-210	1E-02	-	-	-	0E+00	0
elektronica	diverse	4E-02	15E+06	0,6	nuclide-afh.	-	0,0005
starters TL	diverse	2E-04	3,2E+06	0,01	³⁾	³⁾	³⁾
tandprothesen	U-238	7E-01	3E+03	0,002	-	0E+00	0
keramische tegels	Ra-226	-	-	-	4E+00	-	-
bliksemafleiders	-	-	-	-	2E+01	6E+02	0.001
overslagbeveilig.	Pm-147	-	4E+04	-	4E-06	5E+05	0,000002
uurwerken	H-3	1E+00	15E+6	15	0 ⁴⁾	-	0 ⁴⁾
TOTAAL				130			4,6

- gegevens onbrekend of dosis betreffende gebruiksartikel niet berekend

1) Voor antistatische middelen en overslag-beveiligingen: aantal producten = aantal blootgestelden

2) blootstelling op de werkplek

3) gegevens verwerkt in elektronica, zie h. 9.

4) aanname: geen lekkage conform Eleveld en Pruppers [2]

De reductie in de collectieve dosis wordt voor 60-70% veroorzaakt door een reële afname van het aantal radioactieve producten. De resterende 30-40% wordt veroorzaakt door een lagere inschatting van het aantal producten en het dosistempo op basis van nieuwe gegevens. De vervanging van thoriumhoudende gloeikousjes door niet-radioactieve producten resulteerde in een afname van de collectieve dosis van 70 naar 2 mSv per jaar. Het totaal aantal gloeikousjes is met circa een factor drie gedaald, waarvan naar schatting nog slechts 1/10e radioactief is. Er wordt vanuit gegaan dat er nog verdere reductie zal plaatsvinden, mede vanwege het feit dat thoriumhoudende gloeikousjes op de lijst met niet gerechtvaardigde producten geplaatst zullen worden. Voor de normale kampeersers zullen in de toekomst vermoedelijk alleen nog niet-radioactieve gloeikousjes te koop zijn. De volledige vervanging van thoriumhoudende harde gevormde gloeikousjes zal vermoedelijk langzamer verlopen.

De reductie in de collectieve dosis door cameralenzen kan worden toegeschreven aan een lagere ingeschatte individuele dosis op basis van meetgegevens en een lager ingeschat aantal radioactieve producten (70.000 in plaats van ruim 3 miljoen). Hoewel thoriumhoudende cameralenzen niet meer worden geproduceerd, zijn er nog veel op de tweedehandsmarkt verkrijgbaar. Van een aanzienlijk deel van de in dit rapport genoemde lenzen wordt vermoed dat ze thorium bevatten, maar zijn geen metingen bekend. Deze lenzen zijn niet in de berekeningen meegenomen. De in de literatuur gerapporteerde metingen geven aanleiding te veronderstellen dat veel thoriumhoudende lenzen volgens het nieuwe Besluit Stralingsbescherming vergunningplichtig zijn. Aanvullende metingen kunnen een onderbouwing leveren van de geschatte activiteit per lens en kunnen tevens dienen ter verificatie van de in Bijlage 4 genoemde lenzen waarvan wordt vermoed dat ze thorium bevatten. Het effect van het resultaat van deze metingen op de totale collectieve dosis zal echter beperkt zijn.

De reductie van de collectieve dosis voor beeldschermen is het gevolg van het gebruik van reële meetgegevens in plaats van de wettelijke stralingsnorm [1]. Berekeningen die, conform eerdere berekeningen, waren uitgevoerd met de wettelijke stralingsnorm en toepassing van de kwadratenwet, lieten een stijging met een factor twee zien voor pc's hetgeen voornamelijk werd veroorzaakt door toename van de blootstellingsduur en het aantal gebruikers. Voor tv's was de toename beperkt. Indien rekening wordt gehouden met het feit dat het hier geen puntbron betreft, en de kwadratenwet niet zonder meer mag worden toegepast, dan resulteert deze berekening in een dosis die een factor tien hoger is. Uitgaande van de wettelijke limiet levert dit een individuele dosis op die veel hoger is dan de 10 μ Sv per jaar die als toelaatbaar wordt aangenomen [4].

Thoriumhoudende laselektroden zijn van de lijst met radioactieve gebruiksartikelen afgevoerd. Er zijn geen aanwijzingen dat ze voor de consumentenmarkt beschikbaar zijn. Thoriumhoudende laselektroden worden wel door professionele lassers toegepast voor hoogwaardig laswerk, hetgeen een klein deel van het totale laswerk vormt. Verschillende studies wijzen er op dat onvoldoende aandacht voor de arbeidsomstandigheden kan leiden tot zeer hoge individuele jaardoses. Er zijn, mede door wetgeving en publieke opinie geïnitieerde, alternatieve niet-thoriumhoudende laselektroden beschikbaar [17]. Een deel van de markt bestaat momenteel uit deze niet-thoriumhoudende alternatieven. Vervanging van thoriumhoudende laselektroden door niet-thoriumhoudende zal mede afhangen van de opstelling van de gebruikers en de regelgeving op dit terrein.

Voor cameralenzen, elektronica, keramische tegels en doorslagveiligheden geldt dat een deel van de producten radioactieve stoffen bevat en dat het aantal in Nederland aanwezige radioactieve producten moeilijk is vast te stellen. Voor het toepassen van deze producten was in het verleden, of is momenteel geen vergunning verplicht. Productinformatie laat de

aanwezigheid van radionucliden meestal onvermeld. Soms bieden vergunningen voor productie, opslag en/of vervoer enig inzicht. Momenteel wordt een onderzoeksproject voorbereid om meer informatie te verkrijgen over de activiteit van keramische tegels die in Nederland worden toegepast en de hoeveelheid van deze tegels. Van de genoemde producten resulteren tegels vermoedelijk in de hoogste collectieve dosis.

Dat het van belang is op de hoogte te blijven van de toepassing van radionucliden in verschillende gebruiksartikelen om een goede inschatting te kunnen geven van de gevaarzetting in verschillende stadia van het product (productie-, gebruiks- en afvalfase) blijkt uit recent gestelde kamervragen met betrekking tot ionisatierookmelders [130]. Inzicht in de aantallen van deze producten en hun activiteit en het aangeven van ontwikkelingen en mogelijke alternatieven is onontbeerlijk bij het beantwoorden van zulke vragen. In Tabel 15.2 wordt een korte samenvatting gegeven van de in dit rapport behandelde gebruiksartikelen.

Tabel 15.2. Overzicht van de in deze rapportage onderzochte gebruiksartikelen, het toegepaste nuclide(n), functionaliteit van de radioactiviteit van het product de aanwezigheid van alternatieven en de huidige status van het radioactieve product

toepassing	nuclide	radioactiviteit functioneel	alternatief voorhanden	status
laselektroden	Th-232	neen	ja	niet voor consumenten
gloeikousjes	Th-232	neen	ja	niet toegelaten
rookmelders	Am-241	ja	ja	toegelaten tot 2005
cameralenzen	Th-232	neen	ja	niet meer toegepast
beeldschermen	K-40	neen	neen	-
antistat. middelen	Po-210	ja	ja	verboden
elektronica	div.	ja	mogelijk	
tandprothesen	U-238	neen	ja	verboden
keramische tegels	Ra-226, Th-232, U-238	neen	ja	
bliksemafleiders	Am-241	ja	ja	verboden
doorslagveiligheid	Pm-147	ja	mogelijk	niet voor consumenten

Referenties

- [1] Blaauboer RO, Vaas LH, Leenhouts, HP. Stralingsbelasting in Nederland in 1988. (Eindrapport). VROM rapport 1992/56. 's-Gravenhage: VROM, 1992.
- [2] Eleveld H, Pruppers MJM. Schattingen van de individuele en collectieve dosis als gevolg van consumentenproducten waarin radioactieve stoffen zijn verwerkt. RIVM rapport no. 610310005. Bilthoven: RIVM, 2000.
- [3] Besluit Stralingsbescherming. Staatsblad 2001, 397.
- [4] Schmitt-Hannig A, Drenkard S, Wheatley J. Study of consumer products containing radioactive substances in the EU Member States. EU report EU15846EN. Luxembourg: European Commission, 1995.
- [5] <http://www.vanderbilt.edu/radsafe/> Radsafe, USA, dd 15/02/02.
- [6] Frame P, Kolb W. Living with radiation: The first hundred years. Maryland: Syntec Inc., 2001.
- [7] Magers B. 75 years of Western Electric tube manufacturing. A log book history over 750 WE tubes including dates of manufacture. Tempe, Cal.: Antique Elec. Supply, 1994.
- [8] Gordon B. The early Summicron 50/2.0 lenses. LHSA Viewfinder 1996; 29(3): 19-23.
- [9] Nordin R. Hasselblad compendium: a complete listing and description of all the cameras, lenses and accessories made by Hasselblad AB. Small Dole, UK: Hove Books, 1998.
- [10] United States Patent and Trademark Office. 2001. <http://www.uspto.gov/patft/index.html>
- [11] United States Nuclear Regulatory Commission. 2001. Index of Radioactive Sealed Sources and Devices by Manufacturer and Model Number. <http://www.hsr.gov/nrc/search.htm>
- [12] <http://www.overheid.nl/op/> Officiële Overheidspublicaties, Nederland, dd 15/02/02.
- [13] <http://www.twi.co.uk/bestprac/jobknol/jk6.html> The Welding Institute, UK, dd 20/10/00.
- [14] Van Sleen H. Thoriumdioxide bij het TIG-lassen. Literatuurstudie naar de stralings-belasting. Amsterdam: Amsterdamse Bedrijfsartsen opleiding CORVU, 1985.
- [15] Van Vliet T. Onderzoeksrapport Gebruiksartikelen Marktonderzoek. Rijswijk: Lares BV, 2001.
- [16] NCRP Radiation exposure of the US population from consumer products and miscellaneous sources. NCRP report no. 95. Bethesda, Maryland: NCRP, 1987.
- [17] Paschen P. Alternatives to thorium additions to tungsten-based materials. JOM 1996; 48(1): 45-47.
- [18] Kernenergiewet. Staatsblad 1963, 82.
- [19] Jankovic JT, Underwood WS, Goodwin GM. Exposures from thorium contained in thoriated tungsten welding electrodes. Am. Indus. Hyg. Ass. J. 1999; 60(3): 384-389.
- [20] McElearney N, Irvine D. A study of thorium exposure during tungsten inert gas elding in an airline engineering population. J. Occup. Med. 1993; 35(7): 707-711.
- [21] Crim EM, Bradley, TD. Measurements of air concentrations of thorium during grinding and welding operations using thoriated tungsten electrodes. Health Phys. 1995; 68(5): 719-722.
- [22] Resch J, Leichtfried G. Thoriumvrije elektroden voor lassen en snijden. Lastechniek, Januari 2000; 2000(1):20-21.
- [23] <http://www.pro-fusiononline.com/tungsten/radioactivity.htm> Pro-Fusion Technologies Inc, USA dd 04/09/01.
- [24] http://wolfram-industrie.com/intern/electrodes_int.htm Wolfram Industrie, Germany, dd 20/10/00.
- [25] De Wildt PJM. Thorium laselectroden. Een onderzoek bij zes bedrijven. Rijswijk: Hoofdingspectie Milieuhygiene, Hoofdafdeling Handhaving Milieuwetgeving, Toezicht Straling, Stoffen en Producten, 1996.
- [26] NRPB/GRS. Transport of consumer goods containing small quantities of radioactive materials. Draft report EC 4.1020/D/99-06. Chilton,UK: NRPB; Cologne, BRD: GRS, 2001.
- [27] Huyskens CJ, Hemelaar JTGM, Kicken PJH. Stralingsdoses ten gevolge van radioactiviteit in gloeikousjes. TU/SBD rapport 4889. Eindhoven, Techn. Universiteit, 1985.
- [28] Sadagopan G, Nambi KSV, Venkataraman G, Shukla VK, Kayasth S. Estimation of thorium in gas mantles to ascertain regulatory compliance. Rad. Prot. Dosim. 1997; 71(1): 53-56.

- [29] Ludwig T, Schwass D, Seitz G, Siekmann H. Intakes of thorium while using thoriated tungsten electrodes for TIG welding. *Health Phys.* 1999; 77(4): 462-469.
- [30] Reichelt A, Lehmann KH, Reineking A, Eder E. The measurement of released radionuclides during TIG-welding and grinding. In: KR Kase, ed., *Proceedings IRPA10*, 14 - 19 May 2000, Hiroshima, Japan, R-6a-326.
- [31] Hee G, Zerbib J-C. Evaluation of risks induced by using thorium-containing tungsten electrodes. *Soudage Tech. Connexes* 1997; 51(7/8): 16-20.
- [32] Saito H, Ishida Y. Radioactivity measurement of tungsten rods containing thorium. *Welding International* 1992; 6(4): 257-262.
- [33] Pors W, NIL, Nederlands Instituut voor Lastechniek, Voorschoten. persoonlijke mededeling dd 08/10/01.
- [34] Kraaij Hr, Velatec, Vereniging voor Lastechniek, Utrecht. persoonlijke mededeling dd 08/10/01.
- [35] Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen, 1969.
- [36] <http://www.britelyt.com/hist.htm> Petromax, Britelyt, USA, dd 18/10/00.
- [37] <http://ourworld.compuserve.com/homepages/awm/mantle.htm> Pressure Lamp Unlimited, USA, dd 18/10/00.
- [38] Mohammadi H, Mehdizadeh S. Re-identification of ^{232}Th content and relative radioactivity measurements in a number of imported gas mantles. *Health Phys.* 1983; 44: 649-653.
- [39] Shabana EI, Al-Mogabes KS, Al-Najem KN, Farouk MA. Radioactivity in some gas-flow lantern mantles produced by different manufacturers. *Appl. Rad. Isotopes* 1999; 51(6):609-613.
- [40] Furuta E, Yoshizawa Y, Aburai T. Comparisons between radioactive and non-radioactive gas lantern mantles. *J. Radiol. Protection* 2000; 20: 423-431.
- [41] Braber M, Groothandel Marius Braber BV, Zoetermeer, persoonlijke mededeling dd 5/12/00.
- [42] Hughes JS. Ionising radiation exposure of the UK population: 1999 review. Report NRPB-R311. Harwell, Didcot, UK: National Radiological Protection Board NRPB.
- [43] Auergesellschaft GmbH, Berlijn, brief dd 19/12/00.
- [44] NIBRA. Optische rookmelders versus ionisatie rookmelders. Arnhem: Nederlands Instituut voor Brandweer en Rampenbestrijding, 2001.
- [45] Besluit Stralenbescherming KeW 1986 (1986), Staatsblad 1998, 340; Staatsblad 1999, 19; Staatsblad 2001, 17.
- [46] Regeling aanwijzing rookmelders Kernenergiewet 2000-III. Staatscourant, 2000, nr 243 pag 19.
- [47] VROM. Beleidsnotitie Rookmelders. 's-Gravenhage, VROM, 2001.
- [48] OECD. Recommendations for ionization chamber smoke detectors in implementation of radiation protection standards. Paris: OECD/ NEA, 1977.
- [49] Wijziging regeling aanwijzing rookmelders Kernenergiewet. Staatscourant, 1995, nr 62.
- [50] De Wilt B, Ajax Fire Protection BV, Amsterdam, persoonlijke mededeling dd 24/09/01.
- [51] Witloks L, NIBRA, Arnhem, persoonlijke mededeling dd 21/09/01.
- [52] De Jong P. Emissie- en produktnormen. VROM rapport 39E. 's-Gravenhage, VROM, 1988.
- [53] Kingslake R. A history of the photographic lens. Boston: Academic Press Inc, 1989.
- [54] Smith WJ, Genesee Optics Software Inc. Modern Lens Design. A resource manual. New York: McGraw-Hill Professional Publishing, 1992.
- [55] McMillan RC, Horne A. Eye exposure from thoriated optical glass. *Proc. 3rd Int. Congress of the IRPA*. Washington DC: IRPA, 1973: 882-888.
- [56] Laney D. Leica Collectors Guide. Small Dole, UK: Hove Collectors Books, 1992.
- [57] <http://www.nikon.co.jp/main/eng/society/nikkor/newopti> Nikon, Japan, dd 15/12/01.
- [58] Furuta E, Aburai T. Evaluation of radiation exposure from a consumer product-an optical microscope. *Radioisotopes* 1998; 47(12): 920-925.
- [59] <http://www.webelements.com/webelements/elements/text/La/key.html> Webelements, UK, dd 15/02/02.
- [60] <http://www.analyticalsci.com/Astronomy/Telescopes/orion.htm> Orion Telescope Eyepieces, USA, dd 20/11/01.
- [61] Taylor HW, Gibbins WA, Svoboda I. Gamma radiation from camera lenses. *Radiat. Prot. Dosim.* 1983; 5 (1): 187-188.

- [62] Lewinsky B. Thorium-232 in TV camera lenses. Comments. Radiat. Prot. Dosim. 1985; 11(1):65.
- [63] Waligorski MPR, Jasinska M, Schwabenthan J. Enhanced nuclear radiation from camera lenses. Health Phys. 1985; 49 (3): 491-494.
- [64] <http://www.system.missouri.edu/ics/staff/andy/ATM/ARCHIVES/AUG98> Amateur Telescope makers Archive, USA, dd 06/12/00.
- [65] <http://www.ihagee.org/listfacts.pdf> Information from the Exakta list, dd 20/10/01.
- [66] <http://www.smu.edu/~rmonagha/mf/ektar.html> Medium Format Pages, Kodak Ektar lenses, USA, dd 04/12/00. en: <http://www.smu.edu/~rmonagha/mf/radioactive.html> Radioactive glass in lenses-Are your lenses really hot?!!, USA, dd 30/11/00
- [67] http://hv.greenspun.com/bboard/q-and-a-fetch-msg.tcl?msg_id=005cFL Warning, radioactive lenses!, dd 26/09/01
- [68] Van Hasbroeck PH. The Leica: A history illustrating every model and accessory. London, Sotheby Publications, 1993.
- [69] Roskam H. Docter Optic, Leiden, importeur Carl Zeiss Jena lenzen, e-mail dd 13/09/01, e-mail dd 22/02/02.
- [70] Van Oosten GJ. auteur "The Asahi Pentax screw mount guide 1952-1977", e-mail dd 30/10/01, e-mail dd 26/02/02.
- [71] Pomroy C, Noel L. Low-background radiation measurements on video display terminals. Health Phys. 1984; 46(2): 413-417.
- [72] Yamamoto H, Norimura T, Katase A. Concentrations of radioactive nuclides contained in the front glass of CRT and radiation doses. Radioisotopes 1999; 48(8): 514-521.
- [73] Doerfel HR, Graffunder H, Piesch E. Measurement of the effective dose equivalent due to low energy X-rays emitted from video display terminals and colour television sets. Rad. Prot. Dosim. 1986; 14(2): 123-126.
- [74] Wang Y-S. Measurement of ionizing radiation from color television receivers by thermoluminescent dosimeters. Health Phys. 1975; 28(1): 78-80.
- [75] Hirning CR, Aitken JH. Cathode-ray tube X-ray emission standard for video display terminals. Health Phys. 1982; 43(5): 727-731.
- [76] Broyles M, Neely O, Slinkman R, Thierfelder C. Evaluation of TV contribution to the annual genetically significant radiation dose of the population. IEEE Transactions on Broadcast and Television Receivers 1970; 16(3): 157-64.
- [77] Maiello ML, Rosenthal F, Harley NH. The determination of X-ray exposure from cathode ray tubes: exposures not detected. Health Phys. 1986; 50(2): 287-291.
- [78] CBS (2001). Statistisch Jaarboek 2001. 's-Gravenhage, Centraal Bureau voor de Statistiek CBS.
- [79] Dossiers KeW. 's-Gravenhage, Min. SZW/Centraal kantoor AI, afdeling beschikkingen, 2001.
- [80] Dignum PH, Leenhouts HP. Have electrostatic eliminators to be radioactive. Health Phys. 1975; 28(6): 825.
- [81] Webb GAM, Wilkins BT, Wrixon AD. (1975). Assessment of the hazard to the public from anti-static brushes containing polonium-210 in the form of ceramic microspheres. NRPB report R-36. Harwell, Didcot, UK: National Radiological Protection Board NRPB.
- [82] Czajkowski CJ. Evaluation of static eliminators containing polonium-210. Materials Characterization 1999; 42(1): 13-20.
- [83] Ter Kuile CR, Glastra P, Van Dongen R. Onderzoek naar radioactieve objecten en mogelijke contaminatie hiervan in het museum Boerhave te Leiden. RIVM rapport no. 248103036. Bilthoven: RIVM, 1985.
- [84] Snoek E, JOEL EUROPE BV, Schiphol Rijk, persoonlijke mededeling dd 12/09/01
- [85] Blouw P, afdeling Beschikkingen SZW/Centraal kantoor AI. 's-Gravenhage, persoonlijke mededeling dd 24/08/01
- [86] Dossiers KeW, Rijswijk: VROM-inspectie/regio Zuidwest, 2001.
- [87] NCRP. Radiation exposure from consumer products and miscellaneous sources. NCRP report no. 56. Bethesda, Maryland: NCRP, 1977.
- [88] <http://avstop.com/AC/apgeneral/VACUUMTUBES.html> dd 10/12/01.

- [89] SRS Technologies. (1990). Space application of radioactive materials. Huntsville, AL: SRS Technologies. [ast.faa.gov/pdf/radedits.pdf].
- [90] <http://www.svetlana.com/docs/tubeworks.html> Svetlana Electron Devices, USA, dd 30/11/00.
- [91] Joslyn, (1988). Radioactive prompting of spark gaps. Goleta, CA: Joslyn Electronic systems Corporation.
- [92] Van 't Hullenaar FJW, Ebben LTM. Jaarverslag 1998 Commissie Radioactieve Materialen Eindhoven: Philips Electronics Nederland BV, 1999.
- [93] Van 't Hullenaar FJW, Ebben LTM. Jaarverslag 1999 Commissie Radioactieve Materialen Eindhoven: Philips Electronics Nederland BV, 2000..
- [94] Van 't Hullenaar FJW, Ebben LTM. Jaarverslag 2000 Commissie Radioactieve Materialen Eindhoven: Philips Electronics Nederland BV, 2001.
- [95] Ebben, L., Stralingsbeschermingsdienst Philips BV, Eindhoven, persoonlijke mededeling dd 22/02/02.
- [96] <http://www.misty.com/people/don/shortarc.html> Don Klipstein, USA, dd 04/02/02.
- [97] <http://opto.perkinelmer.com/> Perkin Elmer Optoelectronics, USA, dd 12/10/01
- [98] <http://www.arc-lamps.com/products.html> Advanced Radiation Corporation, USA, dd 12/10/01
- [99] http://cord.org/cm/leot/course04_mod05/mod04_05.htm CORD education, USA, dd 12/10/01
- [100] Sadagopan G, Shukla VK. Radiation safety aspects of fluorescent lamp starters incorporating radiation source. In: KR Kase ed., Proceedings IRPA10, 14 - 19 May 2000, Hiroshima, Japan, P-6a-322.
- [101] Anonymus. Naval ships' technical manual. Chapter 400. Electronics. S9086-ND-STM-010/CH-400R1. 1999. www.nmc.edu/maritime/engine/lib/books/ch400.pdf dd 06/09/01.
- [102] Sairenji E, Moriwaki K, Shimizu M, Noguchi K, Anzai I, Ikeda N. Determination of uranium content in dental porcelains by means of the fission track method and estimation of radiation dose to oral mucosa by radioactive elements. Health Phys. 1980; 38(4): 483-492.
- [103] Papastefanou C, Vitsentzos S, Garefis P. Uranium in dental porcelain powders and dose induced in oral mucosa. Rad. Prot. Dosim. 1987; 19(1): 49-53.
- [104] Ontwerp-besluit tot wijziging van het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen. Staatscourant 27/9/2001 187: 26.
- [105] OECD. A guide for controlling consumer products containing radioactive substances. Paris: OECD/NEA, 1985.
- [106] O'Riordan MC, Hunt GJ. Radioactive fluorescers in dental porcelains. Harwell, Didcot, UK: NRPB, 1974. In: [16]
- [107] Thompson DL. Uranium in dental porcelain. HEW publication (FDA) 76-8061. Rockville, Maryland: Center for Devices and radiological health, 1976. In: [16].
- [108] Ivoclar. EG Sicherheitsdatenblatt Vivodent C, Vivoperl PE, Vivoperl PE Orthotyp, Orthotyp A. Schaan, Liechtenstein: Ivoclar, 1997.
- [109] Ivoclar. (2000). Briefwisseling maart 1999.
- [110] De Jager N, ACTA, Amsterdam, persoonlijke mededeling dd 1/11/01, e-mail A. Feilzer dd 6/11/01.
- [111] <http://www.seprbgp.com/product.htm> SEPR BGP Group, France, dd 08/01/02
- [112] Bruzzi L, Baroni M, Mazzotti G, Mele R, Righi S. Radioactivity in raw materials and end products in the Italian ceramics industry. J. Environ. Radioactivity 2000; 47(2): 171-181.
- [113] Richtlijn 96/26 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, L159, 29 juni 1996.
- [114] Deng W, Tian K, Zhang Y, Chen D. Radioactivity in zircon and building tiles. Health Phys. 1997; 73(2): 369-372.
- [115] O'Brien, RS, Aral H, Peggie JR. Radon exhalation rates and gamma doses from ceramic tiles. Health Phys. 1998; 75(6): 630-639.

- [116] Higgy RH, El-Tahway MS, Abdel-Fattah AT, Al-Akabawy UA. Radionuclide content of building materials and associated gamma dose rates in Egyptian dwellings. *J. Environ. Radioactivity* 2000; 50(3): 253-261.
- [117] Müller-Hillebrand D. Beeinflussung der Blitzbahn durch radioaktive Strahlen und durch Raumladungen. *ETZ Elektrotechnische Zeitschrift* 1962; 83(5).
- [118] Delhove J. Etude des aspects radiologiques lies a la fabrication et a l'utilisation de paratonnerres radioactifs. EUR 4292f. Bruxelles: CCE, 1969.
- [119] Leijen CATM, Smetsters RCGM. Incident met een radioactieve bliksemafleider op het terrein van de watertoren te Sassenheim. RIVM rapport no. 248606006. Bilthoven: RIVM, 1989.
- [120] Vergunningverlening Kernenergiewet aan Hommema van 1825 BV dd 3/8/98. *Staatscourant*, 1999, nr 30 pag 5.
- [121] Subasic D, Schaller A, Novakovic M. Radioactive lightning conductors: some special attention needed. *Radwaste Magazine* 1997; 4 (1): 43-46.
- [122] <http://www.bag.admin.ch/strahlen/publikationen/x/abteilung2000.pdf> BAG, Abteilung Strahlenschutz, dd 14/02/02
- [123] Hommema. (1997). Vergunningaanvraag Kernenergiewet Hommema van 1825 BV, dd 21/2/97. 's-Gravenhage, Dossier Kernenergiewet, Min. Soc. Zaken & Werkgelegenheid.
- [124] Breas G, VROM-inspectie/regio Zuidwest, Rijswijk, persoonlijke mededeling dd 6/11/00.
- [125] Henneveld H, Hommema van 1825 BV, Wijk bij Duurstede, persoonlijke mededeling dd 6/09/01, brief dd 11/09/02
- [126] Railpro. (1998). Aanvraag Vergunning Kernenergiewet Railpro dd. 26/02/98. 's-Gravenhage, Dossiers KeW, Min. Soc. Zaken & Werkgelegenheid.
- [127] www.railway-technology.com/contractors/electrification/abb/ ABB, Zwitserland, dd 12/10/01
- [128] Rademakers, B, Railpro, Hilversum, persoonlijke mededeling dd 22/02/02.
- [129] Bundesamt für Gesundheit. (2000). Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz. Fribourg, Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz.
- [130] Kamerstuk 2001-2002, 28000 XI, nr. 37. Tweede Kamer Vaststelling begroting van het Ministerie van VROM (XI) voor het jaar 2002, Verslag algemeen overleg op 31 oktober 2001 over consumentenproducten met radioactieve stoffen, ionisatierookmelders en stralingsbescherming.
- [131] <http://jacarpenter.homestead.com/WIDELUXF8.html> dd 20/11/01.
- [132] <http://www.clyeds.com/camera.htm> Clyed's Camera Stores Inc., USA dd 7/12/00
- [133] <http://www.pacificrimcamera.com/nhs/21rf/21f4.htm> Nikon Historical Society Journal, USA dd 20/11/01.
- [134] <http://www.mir.com.my/rb/photography/companies/canon/fdresources/fdlenses/earlyfdlenses/35mmfd.htm> Canon Photography in Malaysia, Malaysia, dd 20/11/01.
- [135] <http://www.cameraquest.com/ekzoom.htm> Cameraquest, USA, dd 20/11/01.
- [136] http://nikon.co.jp/main/eng/society/nikkor/n07_e.htm Nikon, Japan, dd 20/11/01.
- [137] <http://www.leicagallery.com/elmar50m.htm> KB Camera Leica Gallery, USA, dd 20/11/01.
- [138] <http://www.datasync.com/~farrar/zuiko.html> Unofficial Olympus OM Zuiko Lens Page dd 20/11/01.
- [139] <http://www.deja.com> Rec.photo.equipment.35 discussiegroep, dd 21/12/00
- [140] <http://www.photo.net/bboard> Photonet Community, dd 20/11/01.
- [141] http://www.enresa.es/ingles/60/6020/6021b3_4.html ENRESA, Spanje, dd 18/10/00.
- [142] <http://www.ideal.es/waste/pararrayos.htm> WASTE, Medio Ambiente Magazine On-line, Spanje dd 15/02/02
- [143] www.cite-scieces.fr/actu/numeros/N63_oct98/kiosques/html/une5.html ANDRA, Frankrijk, dd 11/12/00
- [144] www.francetechnologie.com/cie-pouyet/french/page1.html Pouyet paratonnerres, Frankrijk, dd 11/12/00.
- [145] Subasic D, Novoselac Z, Schaller A, Bartolincic S. Replacement of radioactive lightning rods by classic lightning rods. *Elektrotehnika* 1999; 42(3-4): 149 - 156.

- [146] <http://ism01.ism.asso.fr/kiosque/publications/article/149.html> Institut Supérieur des Métiers, Frankrijk, dd 15/02/02.

Bijlage 1 Verzendlijst

1	Directie RIVM
2	Directeur Sector Milieurisico's en Externe Veiligheid
3	Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
4	Hoofd afdeling Risicoanalyse en Modelleren van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
5	Projectleider project Belasting/risico's van straling in Nederland (61023000)
6	Hoofd Voorlichting & Public Relations
7	auteur
8	Bureau Rapportenregistratie
9	Bibliotheek RIVM
10	Bibliotheek LSO
11-20	Bureau Rapportenbeheer
21-59	Reserve-exemplaren LSO
60	Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie

Bijlage 2 Radioactieve rookmelders, patenten

Overzicht van een aantal patenten voor een aantal radioactieve en optische rookmelders aangetroffen in het United States Patent and Trademark Office [10]

patenthouder	bedrijf	datum	patent no.	nuclide
Donelian	Am. District Telegraph	24/9/46	2,408,051	α
Meili	Electrowatt Electical	22/2/55	2,702,898	Ra-226
Jenkins	-	16/8/55	2,715,720	fotoelektrisch
Derfler	Cerberus AG	23/1/58	2,994,768	α
Lampart	Cerberus AG	1/2/66	3,233,100	H-3, C-14, Po-210
Smith & House	Interstate Engin. Corp.	5/8/69	3,460,124	fotoelektrisch
Klein	Johnson Serv. Comp.	26/5/70	3,514,603	Po-210
Lampart & Seidweiler	Cerberus AG	21/7/70	3,521,263	α
Seidweiler et al	Cerberus AG	1/8/72	3,681,603	ionisatie
Tipton & Suchomel	General Signal Corp.	17/4/73	3,728,706	ionisatie
Lampart & Kuhn	Cerberus AG	23/10/73	3,767,917	ionisatie
Dobranzki et al	Emhart Corp.	20/1/76	3,934,145	α
Sasaki & Kobayashi	Nittan Comp.	27/1/76	3,935,492	ionisatie
Weaver et al.	Statitrol Corp.	15/3/77	4,012,729	Am-241
Solomon	Gulf & Western Man.	3/5/77	4,021,671	Ni-63

meer patenten in: [10] CCL 250/381: RADIANT ENERGY/With radioactive source

Bijlage 3 Radioactieve cameralenzen, patenten

Overzicht van patenten voor optische lenzen uit het United States Patent and Trademark Office [10]

bedrijf	aantal patenten	voornaamste bestanddelen	aantal met Th	range Th
Am. Optical Comp.	1	B ₂ O ₃ , BeCO ₃ , CdO	0	-
Bausch & Lomb	2	B ₂ O ₃ , BaO, CdO, SiO ₂	1	0 - 5,5%
Corning Glass Works	4	SiO ₂	0	-
Eastman Kodak	10	B ₂ O ₃ , La ₂ O ₃	8	0 - 41%
Ernst Leitz GmbH	8	B ₂ O ₃ , La ₂ O ₃	1	0 - 2%
Faulstich & Ritze	1	B ₂ O ₃ , BaO, La ₂ O ₃ , SiO ₂	0	
Hoya Glassworks	1	B ₂ O ₃ , La ₂ O ₃ , Gd ₂ O ₃	0	
Jap. Min. Intern. Trade	1	B ₂ O ₃ , CdO, La ₂ O ₃	0	-
Jenaer Glasswerk Schott	8	B ₂ O ₃ , La ₂ O ₃	0	
Pilkington Brothers Lim.	1	Br ₂ O ₃ , La ₂ O ₃	0	
Semi-Elements Inc.	1	B ₂ O ₃ , Gd ₂ O ₃	0	
Chance Brothers Lim.	1	SiO ₂ , BaO, B ₂ O ₃	1	3 - 15%
Minn Mining & Man	1	PbO, TiO ₂	0	
Flex-o-Lite Man. Corp.	1	BaO, TiO ₂	0	

meer patenten in: [10] CCL/501/906: Thorium oxide containing optical glass

Bijlage 4 Radioactieve cameralenzen, merken + typen

Lenzen waarin volgens de opgave 'zeldzame aarden' zijn gebruikt

naam	type	productie	aantal ge-produceerd	bron
Panon Widelux Lux	26 mm f2.8	1988-	zeldzaam 2)	131
Agfa Color Solinar	75 mm f3.5	1950-1959		132
Nikkor	21 mm f4.0	1959-1960	600	133
Canon FD ¹⁾	35 mm f3.5 SC	1973-1980		134
Voigtlander Zoomar	36-82 mm f2.8	1959->1966		135
Nikkor-N	50 mm f1.1	1958-1963		136
Leica Elmar	50 mm f2.8	1957-1974	50.000	137

1) In ieder geval 3 series objectieven

2) Standaardlens van de Agfa Super Isolette II en III 1950-1959

Lenzen waarin thorium is gebruikt of waarvan wordt vermeld dat ze radioactief zijn, zonder vermelding van metingen

naam	type	productie	aantal ge-produceerd	bron
Canon Pellix	50 mm	mid '60		66
Canon FL	58 mm f1.2			6
GAF Anscomatic	38 mm f2.8			6
Kilfitt	-	1952-1986		8
Kodak Aero Ektar	152 mm f2.5	1943-1945	zie Tabel 4	o.a. 66
Kodak Aero Ektar	305 mm f2.5	1943-1945	zie Tabel 4	o.a. 66
Kodak Anastar	44 mm f3.5			6
Kodak Cine Ektar	25 mm f1.9			6
Kodak Ektanar	38 mm f2.8			6
Kodak Ektanon	46 mm f3.5			6
Kodak Ektanon	50 mm f3.9			6
Kodak Ektar	80 mm f/2.8	eind '40		9
Kodak Ektar	135 mm f/3.5	eind '40		9
Olympus Zuiko MC ¹⁾	50 mm f1.4	1972-1983	1.000.000	138
Olympus Zuiko ²⁾	55 mm f1.2	1972-1983	25.000	138
Rodenstock Ww Perigon	130 mm f12	1958		67
Schneider Repro-Claron	135 mm f9.0			67
SMC Takumar	35 mm f2.0	1972-1979		
Super Takumar	50 mm f1.4	1964-1971	800.000	139
Super Takumar	55 mm f1.8	1962-1971		67
Super Takumar	50 mm f1.5	-		6
Super Takumar	55 mm f2.0	1962-1973		6
Super Takumar	105 mm f2.4	> 1969		6
Voigtlander Apo Lanthar	150 mm f4.0?	1950's		140
Yashinon DS	50 mm f1.7			6

1) Er zijn verschillende versies van deze lens (vermoedelijk 5). Sommige vroege versies hebben een radioactief 'rare-earth glass element' [138].

2) Er zijn minstens twee versies van deze lens. Een ervan heeft twee radioactieve 'rare-earth elements' [138].

Bijlage 5 Radioactieve folies

De statische eliminatoren waarin Po-210 of Am-241 is verwerkt bestaan meestal uit twee onderdelen: een metaalfolie waarin het radionuclide is opgenomen en een stalen omhulsel waarin het metaalfolie is opgeborgen om het te beschermen tegen beschadiging [11, 30/3/2000]. Tussen de verschillende producenten bestaan kleine verschillen in drager en afdeklaag. Het metaalfolie bestaat uit een metalen drager (zilver, goud of koper) van maximaal 200 micrometer dik waarop het Po-210 of Am-241 is gedispergeerd. Het radionuclide is afgedekt met een enkele micrometers dikke laag van een goud, goud-palladium- of een koperverbinding. Door middel van electrolyse wordt dit geheel afgedekt met een 1 of 2 micrometer dikke laag goud of nikkel. Een goede beschrijving is te vinden in het register aanwezige document P-001 van 23/7/86 of van PDM.1001 van 4/9/98. De dwarsdoorsnede van één van deze folies is weergegeven in Figuur 8.1 van dit rapport.

De in de tabel opgegeven activiteiten zijn die voor een hele plaat folie. In deze vorm worden de folies getransporteerd voor verdere verwerking: AEA Technology meldt over een type folie dat deze op het moment van vervoer een activiteit heeft van 80 milliCurie per meter [11, AEA Technology, 4/9/98].

De verschillende typen bronnen die gebruikt worden in statische eliminatoren zoals opgegeven in het US-NRC register voor ingekapselde bronnen met de datum van registratie [11]

datum	firma	model	nuclide	type bron	max. activiteit MBq
11/01/68	Amersham Corp.	AMM	Am-241	folie	niet opgegeven
9/01/70	NRD	A-001	Am-241	folie	308.950
23/07/86	NRD	P-001	Po-210	folie	185-11.988
7/08/91	Amersham Corp.	PDM.1002	Po-210	folie	7400
28/04/95	DuPont Merck	NER-8295, 8285, 8275	Kr-85	gasvormig	555
26/01/96	3M	7B8L	Po-210	folie	18,5
4/09/98	AEA Techn.	PDM.1001	Po-210	folie	2220

Voor specifieke toepassingen worden de folies op maat geknipt en door verschillende fabrikanten toegepast in bijvoorbeeld ‘*in line*’ statische eliminatoren, ‘*ion air guns*’ en ‘*air blowers*’. Ze kunnen daarom in de vorm van stroken voorkomen, maar ook opgerold in een koker waardoor lucht wordt geperst. De door AEA Technology geproduceerde statische eliminatoren bevatten bijvoorbeeld metaalfolies Amersham PDM.1002 of NRD P-001 variërend in activiteit van 81 - 6666 MBq Po-210 [11, MA-1059-D-333-B]. Voor de Kr-85 bevattende bronnen geldt hetzelfde. TSI Incorporation produceert verschillende Kr-85 bevattende statische eliminatoren met activiteiten variërend van 37 – 370 MBq, waarvan de bronnen door DuPont Merck zijn geleverd (zie Tabel).

Voor de statische eliminatoren waarin Po-210 of Ra-226 houdend folie is verwerkt is in de USA bijna zonder uitzondering een jaarlijkse ‘*leak test*’ verplicht. De Po-210 houdende bronnen worden in de praktijk vaak geleased, waarbij de oude Po-210 bron na een jaar gewisseld wordt met een nieuwe bron. [11, NY0502D110G dd 31/12/97, MA1059D333B dd 30/3/2000].

Bijlage 6 Radioactieve elektronica

Gegevens zijn gebaseerd op een overzicht in Frame en Kolb [6]. De frequentie geeft de frequentie van voorkomen in dit overzicht.

toepassing	nuclide	frequentie	minimum kBq	maximum kBq	gemiddelde kBq
Overvoltage Spark-Gap	Cs-137	5	14,8	185	68,1
Overvoltage Spark-Gap	onbekend	7	-	-	-
Anti-Transmit-Receive Switch	Co-60	36	9,25	37	21,4
Anti-Transmit-Receive Switch	Kr-85	1	-	-	1850
Anti-Transmit-Receive Switch	Ra-226	2	74	159	117
Cold-Cathode	Kr-85	4	3,7	555	218
Cold-Cathode	Ra-226	1	-	-	onbekend
Cold-Cathode FAX	onbekend	1	-	-	-
Cold-Cathode Indicator	Kr-85	2	1,85	3,7	2,78
Cold-Cathode Relay	Kr-85	6	7,4	163	60,4
Cold-Cathode Relay	Ra-226	1	-	-	37
Cold-Cathode Ringer	Kr-85	1	-	-	74
Cold-Cathode Triode	Kr-85	2	18,5	167	92,5
Cold-Cathode Triode	Ra-226	2	0,37	37	18,5
Cold-Cathode Triode Relay	Kr-85	2	-	-	0,074
Cold-Cathode Voltage Reference	Kr-85	2	-	-	167
Cold-Cathode Voltage Regulator	Kr-85	3	44,4	167	105
Cold-Cathode Voltage Regulator	Ra-226	4	0,37	37	18,5
Corona Voltage Regulator	Ni-63	12	3,7	185	66,6
Corotron	Ni-63	1	-	-	onbekend
Counter Tube	U-235	2	-	-	3515
Crater Lamp	onbekend	2	-	-	-
Diode Rectifier	Th-232	1	-	-	5,55
Double-Gap Cold-Cathode Triode	Kr-85	5	-	-	18,5
Double-Gap Cold-Cathode Triode	Ra-226	3	0,37	1,85	13,7
Double-Gap Gas Switch	Co-60	1	-	-	5,55
Dual Transmit-Receive Switch	Co-60	5	-	-	9,25
Duotriode	onbekend	2	-	-	-
Fission Counter	U-235	3	777	3520	2010
Fixed Tuned Gas Switching	Co-60	1	-	370	-
Full-Wave Rectifier	onbekend	2	-	-	-
Gas Diode Voltage Regulator	Ra-226	2	-	-	1,11
Gas Discharge Stepping	Kr-85	2	-	-	18,5
Gas Discharge Surge Arrester	Ni-63	1	-	-	2,96
Gas Noise Source	Ra-226	7	-	-	22,2
Gas Switching	Co-60	1	-	-	11,1
Gas Switching	onbekend	1	-	-	-
High-mu Dial Triode	Re-187	1	-	-	3,7
Krytron Trigger	Ni-63	3	-	-	148
Magnetron	Co-60	1	-	-	5,92
Magnetron	Th-232	1	-	-	6,29
Microwave Noise Source	Ra-226	1	-	-	2,22
Microwave Reference Cavity	Co-60	3	25,9	37	29,6
Microwave Reference Cavity	H-3	1	-	-	5,6E+06
Neon Voltage Reference	Co-60	1	-	-	7,4
Neon Voltage Reference	Ra-226	1	-	-	0,185
Neutron Counter	U-235	1	-	-	851

Nixie Numeric Display	onbekend	1	-	-	onbekend
Power Triode	Th-232	1	-	-	onbekend
Pre-Transmit-Receive Switch	Co-60	3	11,1	17,6	13,3
Pre-Transmit-Receive Switch	H-3	5	-	-	5550
Pre-Transmit-Receive Switch	Ra-226	2	-	-	122
Radar Transmitting Rectifier	Th-232	1	-	-	5,55
Rectifier	Th-232	1	-	-	onbekend
Spark-Gap	Cs-137	2	74	185	130
Spark-Gap	onbekend	1	-	-	74
Spark-Gap Radar Modulator	Co-60	3	-	-	9,25
Spark-Gap Radar Modulator	Ra-226	3	37	74	48,1
Spark-Gap Radar Modulator	onbekend	2	-	-	74
Spark-Gap Switch	Co-60	1	-	-	37
Spryttron Trigger	Ni-63	2	-	-	148
Surge Arrester	Co-60	1	-	-	37
Surge Arrester	Pm-147	2	-	-	1110
TR Limiter	H-3	1	-	-	onbekend
Transmit-Receive Limiter	H-3	3	5550	5,6E+04	2,2E+04
Transmit-Receive Switch	Co-60	82	3,7	-	16,5
Transmit-Receive Switch	Co-60	1	-	-	onbekend
Transmit-Receive Switch	H-3	11	5550	4,6E+08	4,3E+07
Transmit-Receive Switch	Kr-85	1	-	-	1850
Transmit-Receive Switch	Ra-226	2	-	-	74
Transmitting Pentode	Co-60	1	-	-	11,1
Transmitting Triode	Th-232	2	4,81	5,55	5,18
Voltage Arrester	Kr-85	1	-	-	onbekend
Voltage Arrester	Ra-226	1	-	-	onbekend
Voltage Reference	Co-60	1	-	-	7,4
Voltage Regulator	C-14	2	37	370	204
Voltage Regulator	Co-60	12	7,4	37	14,8
Voltage Regulator	Ni-63	2	18,5	111	64,8
Voltage Regulator	Ni-63	1	-	-	onbekend
Voltage Regulator	Ra-226	7	0,111	222	64,2
Voltage Regulator	U-238	2	-	-	3,7
Voltage Regulator	onbekend	2	-	-	-
Voltage Surge Protector	Ra-226	1	-	-	37
Voltage Surge Protector	onbekend	1	-	-	-
Unknown	C-14	5	-	-	37
Unknown	Co-60	12	5,55	55,5	22,8
Unknown	Co-60	3	-	-	onbekend
Unknown	H-3	9	1300	1,1E+05	1,4E+04
Unknown	Kr-85	3	148	925	666
Unknown	Ni-63	1	-	-	111
Unknown	Ni-63	1	-	-	onbekend
Unknown	Pm-147	9	370	2590	1110
Unknown	Ra-226	40	1,11	1,9E+04	470
Unknown	Th-232	1	-	-	6,29
Unknown	onbekend	2	-	-	-
TOTAAL		404			

Het overzicht betreft zowel militaire als niet-militaire elektronica. Het is niet duidelijk in hoeverre deze elektronenbuizen nog in de handel zijn. De toepassingen met Ra-226 zijn sinds de jaren zestig vervangen door toepassingen met Kr-85 [7].

- = niet vermeld of niet van toepassing

Bijlage 7 Radioactieve bliksemafleiders, voorkomen en status in Europa

Status van radioactieve bliksemafleiders in een aantal Europese landen

land	aantal	nucliden	status	bron
Europese Unie			in alle landen verboden	4
Duitsland	-	-	niet gebruikt laatste 20-30 jaar, geen gegevens over aantallen	4
Frankrijk	50.000 ¹⁾	-	verboden sinds 1987, (opgeruimd 1998)	143, 144
Griekenland	2.500 ²⁾	vnl Am-241, (ook Ra-226)	geplaatst tussen 1960 en 1986, nu verboden	4
Italië	12.000	Ra-226, Am-241	geschat voor 1976, nu 'gradually dismantled' (1995)	4, 16
Kroatië	360	Co-60, Eu-152,154	verboden per 2005	145
Luxemburg	150	-	import 150 vóór 1986, nu verboden (1995)	4
Nederland	500	Ra-226	invoer verboden sinds 1961, opgeruimd 1990-92	79, 86
Spanje	18.000-25.000	Sr-90, Ra-226, Am-241	verboden sinds 1986, opgeruimd 1992-95	4, 141, 142
Ver. Koninkrijk	-	-	'not available to public'	4
Zwitserland	100-200	Ra-226	tot 1965 geïnstalleerd, niet verwijderd	122

1) [146] meldt dat er van de 50,000 ca. 2000 zijn teruggehaald.

2) in [4] p. 78: 10.000 Am-241 voor Griekenland i.p.v. 2500

- = niet vermeld of niet van toepassing