

# Stralingsincidenten veiligheidsregio's

Basisinformatie voor operationeel leidinggevenden



Instituut Fysieke Veiligheid  
Postbus 7010  
6801 HA Arnhem  
Kemperbergerweg 783, Arnhem  
www.ifv.nl  
info@ifv.nl  
026 355 24 00

Een handreiking is een publicatie die de status heeft van een adviserend document. In een handreiking wordt organisatie- en/of toepassingsgerichte methodiek vastgelegd. Het gaat daarbij om leerervaringen en leerpunten, best practices, deskundigen-, beleids- en uitvoeringsadviezen.

Ondanks de aan de samenstelling van de tekst bestede zorg kan het IFV geen aansprakelijkheid aanvaarden voor de eventuele schade die zou kunnen voortvloeien uit fouten en/of onzorgvuldigheden die in deze handreiking kunnen voorkomen.

Indien u opmerkingen en/of suggesties heeft met betrekking tot deze handreiking, verzoeken wij u vriendelijk om uw commentaar te e-mailen naar [info@ifv.nl](mailto:info@ifv.nl) o.v.v. *Handreiking Stralingsincidenten veiligheidsregio's*.

## Colofon

**Titel:** Handreiking Stralingsincidenten veiligheidsregio's,  
Basisinformatie voor operationeel leidinggevenden

**Datum:** 24 december 2021

**Status:** Definitief

**Versie:** December 2021

**Oorspronkelijke auteur:** Manon Oude Wolbers (IFV)

**Geactualiseerd door:** Peter den Outer (vz.projectgroep RIVM), Chris Twenhöfel (RIVM),  
Teetske van Gorcum (RIVM), Herman Schreurs (RIVM)

**Klankbordgroep:** Peter van Beek (VR Zeeland/CKV), Doreth Valk (SZW), Frans  
Greven (GGD Groningen), Ard van Pelt (GGD Zeeland), Jan Jacobs  
(Vakgroep IBGS Brw NL/IFV), Martina Duyvis (IFV), Mark van  
Bourgondiën (ANVS)

**Projectleider:** Oscar Koebrugge (IFV)

# Voorwoord

Deze handreiking *Stralingsincidenten veiligheidsregio's - versie 2021* vervangt de handreiking *Stralingsincidenten veiligheidsregio's - versie 2017*. Dit geactualiseerde en multidisciplinaire kennisdocument bevat achtergrondinformatie over potentiële incidenten met radioactieve stoffen, het mogelijk vrijkomen van ioniserende straling en het optreden door publieke hulpverleningsdiensten bij dit soort incidenten, ook wel stralingsincidenten genoemd. Dit document is primair bedoeld voor medewerkers van operationele publieke hulpverleningsdiensten en veiligheidsregio's.

Op verzoek van het IFV heeft het RIVM de publicatie *Stralingsincidenten veiligheidsregio's - versie 2017* gecontroleerd op actualiteit. De conclusie hiervan was, dat dit document niet meer actueel was door de komst van nieuwe NEN-normen en wijzigingen in wet- en regelgeving, zoals het vervallen van het Besluit stralingsbescherming (Bs) en de invoering van het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs). Ook zijn er sinds 2017 inzetten geweest en oefeningen uitgevoerd waaruit blijkt dat verschillende uitgangspunten en teksten uit 2017 over zaken waar de hulpverleners (direct) mee te maken hebben, aangepast moeten worden.

In 2021 heeft het RIVM daarom, op verzoek van het IFV, het document waar nodig geactualiseerd. In het kader hiervan de actualisatie heeft het RIVM, na afstemming met het IFV, een klankbordgroep samengesteld, waarin relevante partijen – met inhoudelijk mandaat namens hun eigen organisatie – vertegenwoordigd waren. Het betreft de volgende personen en partijen: Peter van Beek (VR Zeeland / CKV), Ard van Pelt (GAGS, Zeeland), Doreth Valk (SZW), Frans Greven (GGD Groningen), Jan Jacobs (vz. Vakgroep IBGS Brw NL / IFV) en Mark van Bourgondiën (ANVS).

Tot slot: ik vertrouw erop dat deze handreiking haar weg vindt naar alle professionals en andere belanghebbenden die een rol spelen bij de voorbereiding op en bestrijding van stralingsincidenten in veiligheidsregio's.

Arnhem,



I.J.J. Stelstra  
Algemeen directeur Instituut Fysieke Veiligheid

# Inhoud

<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
Doelgroep en opbouw	8
Leeswijzer	8
<b>1 Ioniserende straling</b>	<b>9</b>
1.1 Notatie en eenheden	11
1.1.1 Notatie isotopen	11
1.1.2 Eenheden	11
1.2 Soorten straling	11
1.2.1 Alfastraling	12
1.2.2 Bètastraling	13
1.2.3 Gammastraling	13
1.2.4 Röntgenstraling	14
1.2.5 Neutronenstraling	15
1.2.6 Combinatie	15
1.3 Eigenschappen van ioniserende straling	16
1.3.1 Halfwaardetijd	16
1.3.2 Dracht	16
1.3.3 Halveringsdikte	17
<b>2 Stralingsdosimetrie</b>	<b>18</b>
2.1 Basisgrootheden	18
2.1.1 Activiteit, A	18
2.1.2 Geabsorbeerde Dosis, D	18
2.1.3 Dosistempo, <b>D</b>	18
2.2 Limiterende grootheden	19
2.2.1 Effectieve dosis en weegfactoren	19
2.3 Operationele grootheden	20
2.3.1 Kwadratenwet	20
<b>3 Bronnen ioniserende straling</b>	<b>23</b>
3.1 Dagelijkse blootstelling	23
3.1.1 Dagelijkse blootstelling aan natuurlijke bronnen	23
3.1.2 Dagelijkse blootstelling aan kunstmatige bronnen	23
3.2 Mogelijke extra blootstelling	24
3.2.1 Medische blootstelling	24
3.2.2 Kosmische straling op vlieghoogte	24
3.2.3 Radioactiviteit in consumentenproducten	24
3.3 De gemiddelde stralingsbelasting	25
3.4 Mogelijke toepassingen van radioactieve stoffen	26
3.5 Identificatie van radioactieve stoffen	28
3.5.1 Etiketten	28
3.5.2 Bebording voertuigen	28
3.5.3 Vervoersdocumenten	29

3.5.4	Waarschuwingssymbool	29
<b>4</b>	<b>Gezondheidseffecten</b>	<b>30</b>
4.1	Deterministische effecten	31
4.2	Stochastische effecten	32
4.3	Inwendige besmetting	33
4.4	Medische behandeling	34
<b>5</b>	<b>Blootstellingspaden voor radioactieve stoffen</b>	<b>35</b>
5.1	Incidenten met een gesloten bron: externe straling	35
5.2	Incidenten met een open bron: besmetting en straling	36
5.3	Samenvatting blootstellingspaden	37
5.4	Gevaarlijke stoffen versus radioactieve stoffen	39
<b>6</b>	<b>Stralingsbescherming</b>	<b>40</b>
6.1	Dosislimitering in een geplande blootstellingssituatie	41
6.2	Dosisbeperkingen voor hulpverleners bij een radiologische noodsituatie	41
<b>7</b>	<b>Meten door hulpverleners</b>	<b>45</b>
7.1	Metten van het gammastralingsniveau	45
7.1.1	Automess 6150AD1	46
7.1.2	ADOS	46
7.2	Externe sondes	47
7.2.1	Sonde 6150AD-15: $\gamma$ -sonde, hoog bereik	47
7.2.2	Sonde 6150AD-18: $\gamma$ -sonde, laag bereik	48
7.3	Oppervlaktebesmettingsmetingen	48
7.3.1	Sonde 6150AD-17: $\alpha\beta\gamma$ -sonde, besmettingsmonitor, klein meetoppervlak	48
7.3.2	Sonde 6150AD-k: $\alpha\beta\gamma$ -sonde, besmettingsmonitor, groot meetoppervlak	49
7.4	Landelijk meetnet	51
7.4.1	Nationaal meetnet radioactiviteit (NMR)	51
7.4.2	Landelijk meetnet radioactiviteit in voedsel (LMRV)	51
7.4.3	Oppervlaktewater en drinkwater	51
7.5	Meetstrategie bij kernongevallen	52
<b>8</b>	<b>Stralingsincidenten</b>	<b>53</b>
8.1	A-scenario's	53
8.2	B-scenario's	56
8.3	Daadwerkelijk voorgekomen stralingsongevallen en incidenten	58
8.4	Achtergrondinformatie specifieke A-incidenten	59
8.4.1	Kernreactor	59
8.4.2	Nucleair en radiologisch defensiemateriaal	60
8.4.3	Vuile bom	61
<b>9</b>	<b>Interventie</b>	<b>63</b>
9.1	Maatregelen voor het optreden van de brandweer	63
9.1.1	Algemene maatregelen bij stralingsincidenten: gesloten bron	63
9.1.2	Specifieke maatregelen bij het vrijkomen van radioactieve stoffen: open bron	65
9.1.3	Specifieke maatregelen bij brand met radioactieve stoffen: bron in brand	66
9.1.4	Adembescherming	66
9.2	Maatregelen A-incidenten	67

9.2.1	Directe maatregelen	68
9.2.2	Indirecte maatregelen	69
9.2.3	Maatregelzones en rol hulpdiensten	69
9.3	Besmettingscontrole en verwijderen van besmetting	70
9.3.1	Besmettingscontrole	70
9.3.2	Normen voor de besmetting van personen	70
9.3.3	Verwijderen van besmetting	70
9.3.4	Behandelprotocollen GHOR	71
9.3.5	Besmette omgeving	74
<b>Bijlage 1 Begrippenlijst</b>		<b>75</b>
<b>Bijlage 2 Afkortingenlijst</b>		<b>84</b>
<b>Bijlage 3 Bronnen</b>		<b>89</b>

# Inleiding

Operationele hulpdiensten kunnen te maken krijgen met incidenten waarbij ioniserende straling en/of radioactieve stoffen vrij kunnen komen. Voorbeelden van stralingsincidenten zijn: een brand in een laboratorium waar met radioactieve stoffen wordt gewerkt of een ongeval tijdens het transport van radioactieve stoffen. Het kan ook gaan om incidenten met veel grotere gevolgen, zoals een incident in een kernenergiecentrale of een terroristische actie met radioactieve stoffen. Een belangrijk onderscheid daarbij is dat het vrijkomen van radioactieve stoffen het doel is van de terroristische actie, terwijl de andere incidenten voorbeelden zijn van ongelukken.

Het grootste deel van de bevolking vindt straling eng en gevaarlijk, zo ook veel hulpverleners. Het is goed mogelijk dat het handelen van hulpverleners bij stralingsincidenten bepaald wordt door de risicobeleving in plaats van door een goede risico-inschatting. In de meeste gevallen is hulpverlening bij stralingsincidenten goed mogelijk, zonder grote persoonlijke risico's voor hulpverleners. Het is belangrijk dat hulpverleners radiologische basiskennis kunnen toepassen om de risico's van een stralingsincident in te schatten, operationele procedures toe te passen en stralingsincidenten op een juiste manier af te handelen. Dit geldt zeker voor leidinggevendenden van de brandweer en stralingsdeskundigen, omdat zij verantwoordelijk zijn voor de veiligheid van het eigen personeel en van de andere hulpverleners. Ook moeten zij hen goed kunnen voorlichten over stralingsrisico's. Daarnaast speelt de veiligheidsregio een belangrijke rol in de voorlichting en de bescherming van de bevolking.

Dit document beschrijft theoretische, radiologische basiskennis die bruikbaar is om sneller en eenvoudiger te kunnen beslissen over de wijze van optreden bij stralingsincidenten. Deze handreiking helpt bij het kunnen afwegen van het resultaat van de inzet tegen de risico's voor het in te zetten personeel. De handreiking beschrijft alleen onderwerpen die specifiek zijn voor stralingsincidenten. Reguliere werkwijzen en procedures – zoals de procedure incidentbestrijding gevaarlijke stoffen, decontaminatie, meetprincipes en registratie en nazorg voor hulpverleners, slachtoffers en bevolking – staan beschreven in andere handreikingen of procedures en worden als bekend verondersteld.

Deze publicatie bevat gebundelde informatie uit de bronnenlijst en vervangt (de betreffende hoofdstukken uit) deze bronnen. De handreiking *Stralingsincidenten veiligheidsregio's* bevat geen operationele procedures en rampbestrijdingsplannen, maar de kennis achter deze plannen en procedures.

Tot slot: het stralings- en besmettingsrisico is nooit terug te brengen tot nul. Het is wel mogelijk om het stralingsrisico aanvaardbaar klein te houden. De wijze waarop is natuurlijk afhankelijk van de situatie. Bij incidentbestrijding worden hulpverleners nu eenmaal blootgesteld aan een hoger risico dan andere leden van de bevolking. Bij brandbestrijding vinden hulpverleners het aanvaardbaar om een hoger risico te lopen voor het redden van mensen. Voor het optreden bij stralingsincidenten is dat echter nog niet vanzelfsprekend. De uitgangspunten die hulpverleners hanteren bij het optreden bij incidenten zijn vergelijkbaar

voor brandbestrijding en stralingsincidenten: het risico is nooit nul maar wel aanvaardbaar klein. Deze publicatie ondersteunt bij het inschatten en vergelijken van deze risico's.

## Doelgroep en opbouw

Deze handreiking is samengesteld voor het personeel van operationele hulpdiensten en veiligheidsregio's en bestaat uit drie delen:

1. *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Achtergrondinformatie*  
Dit document is geschreven voor AGS, GAGS, stralingsdeskundigen en andere geïnteresseerden. Het bevat zowel basisinformatie als meer specialistische informatie. De hoofdtekst in dit document (tekst is zwart-gedrukt in het lettertype Arial) bevat basisinformatie die relevant kan zijn voor operationeel leidinggevend.
2. *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Basisinformatie voor operationeel leidinggevend*  
De basisinformatie uit het document *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Achtergrondinformatie* is uitgebracht als apart deel. Deze informatie is geschreven voor operationeel leidinggevend zoals bevelvoerders en officieren van dienst (OvD) van de verschillende kolommen. De basisinformatie is letterlijk dezelfde tekst als de hoofdtekst uit *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Achtergrondinformatie*.
3. *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Operationele handreiking*  
Dit document is samengesteld voor beide doelgroepen en bestaat uit een aantal aandacht斯卡arten en formulieren. Ook hier is onderscheid gemaakt in een algemeen deel en een deel met aandacht斯卡arten voor stralingsdeskundigen. De informatie op deze kaarten kan zowel van toepassing zijn tijdens stralingsincidenten als bij de operationele voorbereiding (zowel planvorming als vakbekwaamheid) daarop. De inhoud is overgenomen uit *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Achtergrondinformatie*.

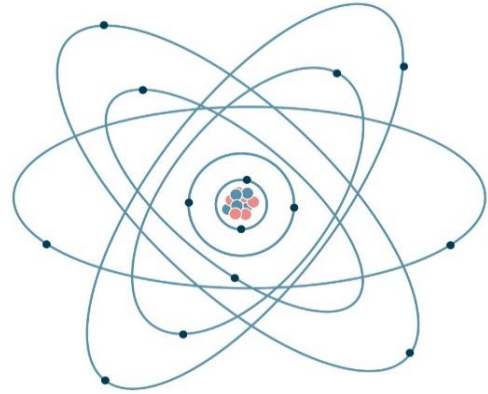
## Leeswijzer

Hoofdstuk 1 beschrijft de achtergrondprincipes van ioniserende straling, kenmerken van de verschillende stralingstypen en de risico's. Hoofdstuk 2 gaat dieper in op de stralingsdosimetrie en beschrijft diverse belangrijke grootheden, zoals de activiteit en dosis. Vervolgens geeft hoofdstuk 3 een beschrijving van de stralingsbelasting van de gemiddelde Nederlander, een overzicht van mogelijke toepassingen van radioactieve stoffen en de wijze waarop ioniserende straling te herkennen is. Welke gezondheidseffecten ioniserende straling kan veroorzaken, wordt duidelijk in hoofdstuk 4, waarna hoofdstuk 5 beschrijft op welke wijze een persoon blootgesteld kan worden aan radioactieve stoffen en/of externe straling. Het gaat in dit hoofdstuk vooral om de verschillen tussen 'bestraling' en 'besmetting' en tussen directe en indirecte blootstelling. Het beleid in Nederland is erop gericht om de blootstelling aan straling zoveel mogelijk te beperken. Hoe dat wordt uitgevoerd staat beschreven in hoofdstuk 6. Hoofdstuk 7 bevat een overzicht van de meetapparatuur die in gebruik is bij de brandweer en de (on)mogelijkheden hiervan. Stralingsincidenten die zich voor kunnen doen staan beschreven in hoofdstuk 8. Mocht er, tot slot, een stralingsincident plaatsvinden, dan zijn er verschillende maatregelen die getroffen kunnen worden om de effecten van blootstelling te beperken; een overzicht hiervan staat beschreven in hoofdstuk 9.

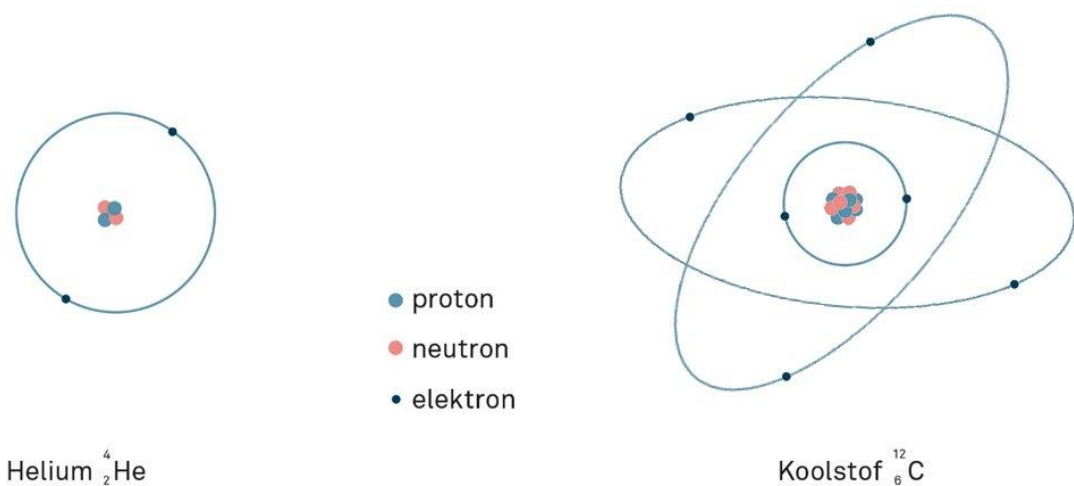


# 1 Ioniserende straling

Elke stof is opgebouwd uit uiterst kleine deeltjes, de atomen. Atomen zijn de kleinste bouwstenen van een chemisch element. Er bestaan ruim honderd verschillende soorten atomen. Voorbeelden van atomen zijn: helium, koolstof, zuurstof, ijzer, waterstof, uranium. Atomen bestaan uit een kern van protonen en neutronen. Protonen zijn positief geladen deeltjes en neutronen zijn niet geladen. Op relatief grote afstand van de kern bevinden zich schillen van elektronen. Elektronen zijn negatief geladen en cirkelen als het ware om de atoomkern (zie Figuur 1.1). Het aantal protonen bepaalt het soort atoom en het chemisch gedrag.



Figuur 1.1 Opbouw van een atoom



Figuur 1.2 Opbouw van een heliumatoom en een koolstofatoom

Helium bestaat uit een kern van 2 protonen en 2 neutronen, dus in totaal 4 deeltjes in de kern. Daaromheen cirkelen 2 elektronen in een elektronenschil. Koolstof bestaat uit 6 protonen, 6 neutronen en 6 elektronen die rondom de atoomkern bewegen (zie Figuur 1.2).

Voor één atoomsoort heeft de atoomkern altijd hetzelfde aantal protonen, maar het aantal neutronen kan wel verschillen. Stoffen met een gelijk aantal protonen en verschillende aantallen neutronen worden isotopen genoemd. Van één atoomsoort kunnen verschillende isotopen bestaan. Verschillende isotopen van een stof hebben dezelfde fysisch-chemische eigenschappen (zoals kookpunt en vlampunt) en hetzelfde aantal protonen, maar verschillen dus in het aantal neutronen.

De atoomsoort koolstof heeft drie relevante isotopen: koolstof-12 (6 protonen en 6 neutronen) en koolstof-13 (6 protonen en 7 neutronen) en koolstof-14 (6 protonen en 8 neutronen).

Koolstof-12 en koolstof-13 zijn stabiel, maar koolstof-14 heeft een instabiele kern. Sommige combinaties van protonen en neutronen in atoomkernen zijn dus stabiel, maar andere niet. Atomen met meer dan 83 protonen in de kern zijn van nature instabiel.

Een instabiele kern zal uit elkaar vallen; dit wordt ook wel radioactief verval genoemd. Het woord 'radio' betekent straling. Radioactieve stoffen zijn stoffen met een instabiele kern die op den duur in stukken uiteenvalt, waarbij ioniserende straling wordt uitgezonden. Isotopen die radioactief vervallen, worden ook wel radionucliden genoemd ofwel 'radioactieve kern' (nuclide = kern). De instabiele, radioactieve kern gaat over naar een of meerdere stabielere atoomkern(en) via desintegratie of splijting. Stoffen kunnen dus radioactief zijn en daardoor ioniserende straling uitzenden; de straling zelf is niet radioactief maar ioniserend. De straling kan bestaan uit deeltjes uit de atoomkern of elektronenschil, of uit fotonen (zie paragraaf 1.2).

De snelheid waarmee of het tempo waarin de kernen van een radioactieve bron vervallen, heet activiteit. Activiteit is het aantal atomen dat per seconde vervalft. De snelheid waarmee het verval plaatsvindt, is afhankelijk van de stof. Zo zijn er stoffen die binnen een fractie van een seconde hun radioactiviteit kwijtraken, terwijl andere stoffen daar miljoenen jaren over doen.

De ioniserende straling die vrijkomt bij het verval heeft een bepaalde energie. Deze energie wordt overgedragen aan andere materie tijdens interacties of botsingen. De energie per foton of deeltje van ioniserende straling is voldoende om elektronen uit atomen of moleculen te verwijderen van het voorwerp dat wordt getroffen door de straling; dit worden ionisaties genoemd. Dit wil zeggen dat er één of meerdere elektronen uit de schillen van het atoom worden gestoten. Elektronen zijn elektrisch geladen; er wordt dus elektrische lading vrijgemaakt, maar er blijven ook elektrisch geladen deeltjes (ionen) achter.

De mogelijkheid van straling om ionisaties te veroorzaken hangt af van de energie van die straling. Bij een hoge energie per foton of deeltje kunnen zelfs atoomkernen worden aangetast. Door blootstelling aan ioniserende straling treden chemische veranderingen op in de bestraalde moleculen en kan blijvende schade worden aangericht. De energie per foton of deeltje bepaalt dus de schade die kan worden aangericht; dit betekent dat een groot aantal fotonen of deeltjes met weinig energie niet gelijkwaardig is aan een klein aantal met een hoge energie per stuk. Bij het absorberen van ioniserende straling ontstaat ook warmte.

Ioniserende straling is in tegenstelling tot sommige niet-ioniserende straling zoals (zon)licht onzichtbaar. Ioniserende straling is niet te ruiken, niet te proeven, niet te voelen en niet te zien.

Ioniserende straling kan ook opgewekt worden met bepaalde toestellen, zoals röntgenapparaten en CT-scanners of deeltjesversnellers. In de medische wereld wordt dankbaar gebruikgemaakt van de beschadigende werking van ioniserende straling, bijvoorbeeld om kankercellen te doden (therapie). Ioniserende straling wordt ook toegepast om 'in de mens te kunnen kijken' (diagnostiek). De hoeveelheid straling (stralingsintensiteit) die gebruikt wordt voor therapie is grofweg tot 1 miljoen maal groter dan die voor het maken van een simpele röntgenfoto.

## 1.1 Notatie en eenheden

### 1.1.1 Notatie isotopen

Isotopen kunnen op verschillende manieren genoteerd worden. Het aantal protonen bepaalt om welk atoom het gaat. Als voorbeeld het isotoop Fosfor-32: dit is het atoom dat met de letter P (van het Engelse Phosphor) wordt aangegeven. 32 staat voor het totaal aantal protonen en neutronen in de kern. Fosfor heeft atoomnummer 15, dus de kern bevat 15 protonen. In dit geval bevat de kern dus:  $32 - 15 = 17$  neutronen.

De volgende vereenvoudigde notaties worden daarom meestal gebruikt:

- > Fosfor-32
- > P-32
- >  $^{32}\text{P}$

### 1.1.2 Eenheden

Vaak worden voorvoegsels gebruikt om de grootte aan te geven (zie Tabel 1.1):

Tabel 1.1 Voorvoegsels voor eenheden

afkorting	betekenis	factor	afkorting	betekenis	factor
n	nano	1 / 1.000.000.000	k	kilo	1.000
$\mu$	micro	1 / 1.000.000	M	mega	1.000.000
m	milli	1 / 1.000	G	giga	1.000.000.000
c	centi	1 / 100	T	tera	1.000.000.000.000
d	deci	1 / 10	P	peta	1.000.000.000.000.000

Dus  $1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv}$  en  $1 \text{ mSv} = 1000 \mu\text{Sv}$ ;  $1 \text{ TBq} = 1000 \text{ GBq}$  en  $1 \text{ GBq} = 1000 \text{ MBq}$ .

## 1.2 Soorten straling

Ioniserende straling kan onderverdeeld worden in vijf stralingstypen die vaak in combinatie voorkomen. Ionisatie kan op twee manieren gebeuren: direct of indirect. Directe ionisatie kan alleen door geladen deeltjes veroorzaakt worden. Indirecte ionisatie vindt plaats in stappen. Een ongeladen deeltje gaat een reactie aan met een atoom of een atoomkern. Hierbij ontstaan geladen deeltjes die op hun beurt andere atomen ioniseren.

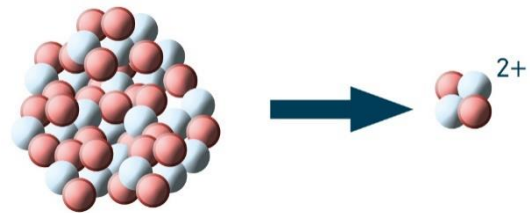
Indirecte ionisatie kan veroorzaakt worden door elektromagnetische straling (fotonen, zie de volgende alinea) met een hoge frequentie (golflengte  $< 100$  nanometer) en dus veel energie per deeltje. Elektromagnetische straling van lagere frequentie, van radiostraling tot en met ultraviolette straling, heeft een te lage energie om ionisaties te veroorzaken en wordt daarom ook wel niet-ioniserende straling genoemd.

Een foton is een 'pakketje energie', een verschijningsvorm van elektromagnetische straling; een foton heeft geen massa of lading. Dit onderscheid is bijvoorbeeld belangrijk voor de

mogelijk schadelijke werking van de straling. De mate waarin ioniserende straling schadelijk kan zijn, is afhankelijk van het doordringend vermogen van de straling. Dit doordringend vermogen is weer afhankelijk van het type straling. De afstand die ioniserende straling kan afleggen in materie (bijvoorbeeld lucht, water of het menselijk lichaam) heet de dracht (zie verder paragraaf 1.3).

### 1.2.1 Alfastraling

Alfastraling ( $\alpha$ -straling) bestaat uit geladen deeltjes die relatief groot en zwaar zijn.  $\alpha$ -deeltjes hebben de hoogste lading van de verschillende stralingstypen. Ze bestaan uit twee protonen en twee neutronen en zijn  $2+$  geladen.  $\alpha$ -deeltjes zijn in feite heliumkernen, maar hebben dan wel een hoge kinetische energie.



Figuur 1.3  $\alpha$ -deeltje splitst af uit kern

Een  $\alpha$ -deeltje is erg zwaar ten opzichte van elektronen (zie  $\beta$ -straling). Hoofdzakelijk zware radioactieve kernen zenden  $\alpha$ -straling uit (zie Figuur 1.3). Door de grootte van de  $\alpha$ -deeltjes is de weerstand groot en geven ze snel hun energie af. De dracht van  $\alpha$ -deeltjes is daarom heel klein, slechts enkele centimeters in lucht. De grootte van de deeltjes zorgt er ook voor dat het beschadigend vermogen van  $\alpha$ -straling groot is; bij contact wordt de energie direct volledig geabsorbeerd. Het spoor van een  $\alpha$ -deeltje door materie kan vergeleken worden met het spoor van een ontspoorde goederenlocomotief: *'Hij komt niet erg ver maar hij trekt wel een (rechtlijnig) spoor van vernieling achter zich aan'*. Het doordringend vermogen van  $\alpha$ -straling is dus heel klein.  $\alpha$ -straling is daarom alleen dicht bij de bron te meten en eenvoudig af te schermen; vaak is een vel papier, gewone kleding of het buitenste laagje van de huid (de opperhuid) al voldoende. Een bekende toepassing van een  $\alpha$ -straler is het gebruik in rookmelders.

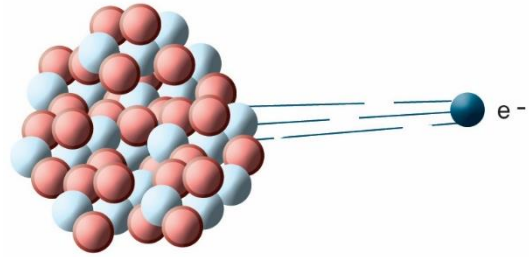
Kenmerken van  $\alpha$ -deeltjes zijn:

- > groot
- > tweevoudige lading ( $2+$ )
- > hoge snelheid
- > geven snel energie af
- > laag doordringend vermogen
- > richten veel schade aan
- > directe ioniserende straling.

Voorbeelden van  $\alpha$ -stralers zijn: uranium-238, radium-226, radon-222, polonium-218, -214 en -210, plutonium-239 en americium-241.

### 1.2.2 Bètastraling

Bètastraling ( $\beta$ -straling) is ioniserende straling waarbij kleine geladen deeltjes (elektronen of positronen) worden uitgezonden (zie Figuur 1.4). Elektronen zijn negatief ( $1^-$ ), en positronen zijn positief ( $1^+$ ) geladen. Deze deeltjesstraling heeft een groter doordringend vermogen dan  $\alpha$ -straling. De dracht van  $\beta$ -straling is ook groter, namelijk 3 tot 10 meter in lucht.



Figuur 1.4  $\beta^-$ -deeltje splitst af uit de kern

$\beta$ -deeltjes botsen met vergelijkbare deeltjes in het voorwerp (namelijk elektronen) dat ze treffen; het spoor dat ze achterlaten is daarom veel langer en grilliger dan dat van  $\alpha$ -deeltjes. Zo'n botsing is te vergelijken met een poolbiljartspel.  $\beta$ -straling is eenvoudig af te schermen: 1 cm perspex, enkele millimeters aluminium of een laag water van 1 cm is al voldoende. Gewone kleding levert voor  $\beta$ -straling onvoldoende afscherming. Een volledige brandweeruitrusting (uitrukpak, helm en gelaatsbescherming) schermt het lichaam wel goed af tegen  $\beta$ -straling van buitenaf.  $\beta$ -deeltjes kunnen bij uitwendige besmetting enkele millimeters door de huid dringen en verbranding veroorzaken. Een toepassing van  $\beta$ -straling is de diktemeting van papier in de papierproducerende industrie. In zogenaamde radionuclidenlaboratoria (C-laboratoria) in ziekenhuizen en academische instellingen wordt vaak radioactief fosfor gebruikt om biologische moleculen radioactief te maken; de radioactieve moleculen zijn dan in een proefdier of proefopstelling goed te volgen.

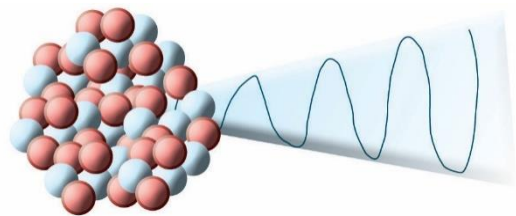
Kenmerken van  $\beta$ -deeltjes zijn:

- > klein
- > enkelvoudige lading ( $1^+$  of  $1^-$ )
- > hoge snelheid
- > geven snel energie af
- > gemiddeld doordringend vermogen
- > kunnen bij uitwendige besmetting door de huid dringen
- > directe ioniserende straling.

Voorbeelden van  $\beta$ -stralers zijn: fosfor-32, lood-214 en -210, bismuth-214 en -210.

### 1.2.3 Gammastraling

Gammastraling ( $\gamma$ -straling) bestaat, net als licht, uit pakketjes energie (fotonen); het is elektromagnetische straling met een zeer kleine golflengte en hoge energie. De fotonen dringen diep in weefsels en andere stoffen door of gaan er dwars doorheen. De verzameling van fotonen die bij radioactief verval vrijkomt, noemen we  $\gamma$ -straling.



Figuur 1.5  $\gamma$ -straling komt vrij uit kern

$\gamma$ -straling heeft een hoger doordringend vermogen dan  $\alpha$ - en  $\beta$ -straling en is vaak moeilijk af te schermen.  $\gamma$ -straling geeft haar energie af bij het botsen met materie. Omdat fotonen geen massa en geen lading hebben is de kans op een botsing kleiner dan voor  $\alpha$ - en  $\beta$ -deeltjes. De kans op een botsing is het grootst bij materiaal met een grote soortelijke massa zoals

lood. Daarom worden  $\gamma$ -stralers vaak bewaard in een loden omhulsel van 10-25 cm dik. Ook worden betonnen muren van 1 meter of dikker toegepast als afscherming. Enkele toepassingen van  $\gamma$ -straling zijn bronnen voor de controle van lasnaden in pijpleidingen en ijk- en referentiebronnen. Sommige bestralingsbronnen in ziekenhuizen bevatten ook grote hoeveelheden  $\gamma$ -stralers.

Kenmerken van  $\gamma$ -straling:

- > energiepakketjes
- > geen deeltjes dus moeilijker af te schermen
- > geen lading
- > hoog doordringend vermogen
- > indirecte ioniserende straling.

Voorbeelden van  $\gamma$ -stralers zijn: technetium-99m en indium-113m.

### 1.2.4 Röntgenstraling

Röntgenstraling wordt ook wel X-straling of X-ray genoemd en is vergelijkbaar met  $\gamma$ -straling, maar heeft een lagere energie. Röntgenstraling wordt opgewekt in een röntgentoestel voor diagnostiek. Het grote verschil met  $\gamma$ -straling is dat röntgenstraling uit te schakelen is maar een  $\gamma$ -bron niet. Stoffen met een hogere dichtheid houden röntgenstraling beter tegen dan stoffen met een lagere dichtheid.

Een bot in het menselijk lichaam houdt meer ioniserende straling tegen dan een stukje vet of een spier. De röntgenstraling die doorgelaten wordt en op een fotografische film komt, zorgt ervoor dat de film zwart wordt. Dat betekent dat op de plaats van het bot minder straling de film bereikt, zodat de film hier wit blijft (zie Figuur 1.6). Het gevolg is dat botten goed zichtbaar zijn en het omliggende zachtere weefsel moeilijker of niet te zien is.

De opgewekte straling in een röntgentoestel noemen we kunstmatig omdat we het toestel in en uit kunnen schakelen. Een röntgentoestel is voorzien van een radiologische gevaarsaanduiding (geel driehoekig etiket met zwarte rand, zie paragraaf 3.5.4) maar wekt alleen straling op als het toestel ingeschakeld is. Als bij een incident of een brand de stekker van een röntgentoestel uit het stopcontact wordt getrokken, is er geen gevaar meer voor ioniserende straling van dat toestel!

Kenmerken van röntgenstraling zijn:

- > vergelijkbaar met  $\gamma$ -straling
- > lagere energie
- > in- en uit te schakelen.



**Figuur 1.6** Röntgenfoto van een hand

### 1.2.5 Neutronenstraling

Neutronenstraling bestaat uit (elektrisch) neutrale, ongeladen neutronen met een groot doordringend vermogen. Neutronenstraling ontstaat onder andere bij het uiteenvallen van atoomkernen en is moeilijk af te schermen: de beste bescherming tegen neutronenstraling wordt geboden door water of een kunststof zoals polyetheen. Neutronenstraling kan in de zwaarste kernen doordringen en een splijtingsreactie veroorzaken. Hiervan wordt gebruik gemaakt in kernenergiecentrales waar neutronenstraling vrijkomt bij de kernsplijting van uranium. Neutronenstraling kan zeer schadelijk zijn en is in staat om niet-radioactieve stoffen te 'activeren' en dus radioactief te maken. Neutronenstraling komt relatief weinig voor (voornamelijk in kernenergiecentrales) en de typische radioactieve stoffen die bij stralingsincidenten vrijkomen, zijn geen neutronenstralers.

Kenmerken van neutronenstraling zijn:

- > kleine ongeladen deeltjes
- > extreem hoog doordringend vermogen
- > kan niet-radioactieve stoffen activeren
- > indirecte ioniserende straling.

Brandweermeetapparatuur kan geen neutronenstraling meten; deze wordt daarom niet verder behandeld in dit document.

### 1.2.6 Combinatie

Veel radioactieve stoffen zenden verschillende typen ioniserende straling uit. Er is bijna nooit sprake van één type straling maar van een combinatie van verschillende typen. Zie Tabel 1.2 voor een aantal voorbeelden.

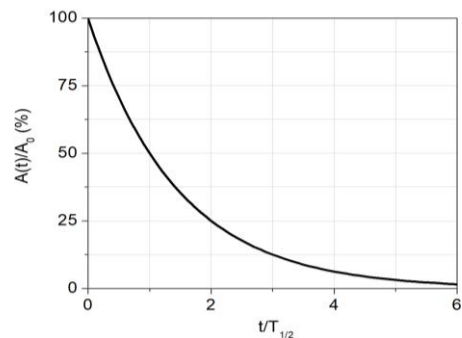
Tabel 1.2 Overzicht van soort ioniserende straling die wordt uitgezonden

radionuclide	notatie	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
americium	Am-241	X	–	X
uranium-reeks	U-238	X	X	X
radon-reeks	Ra-226	X	X	X
jodium	I-131	–	X	X
molybdeen – technetium	Mo-99/Tc-99m	–	X	X
krypton	Kr-85	–	X	X
kobalt	Co-60	–	X	X

## 1.3 Eigenschappen van ioniserende straling

### 1.3.1 Halfwaardetijd

Elk radionuclide heeft zijn eigen vervalsnelheid. Er bestaat een specifieke tijd waarbinnen de helft van het aantal instabiele kernen vervalst. Dit is de halfwaardetijd (of halveringstijd), aangeduid met  $T_{1/2}$ . De activiteit van een hoeveelheid radioactief materiaal,  $A(t)$ , neemt in de tijd exponentieel af (zie Figuur 1.7). Typisch voor exponentieel verval is dat altijd na steeds eenzelfde hoeveelheid tijd, de activiteit gehalveerd is. Dat betekent dat na het verstrijken van één halfwaardetijd de helft van de kernen is vervallen en de activiteit van de stof gehalveerd is.



Figuur 1.7 Radioactief verval

Na  $2 \times T_{1/2}$  is dus nog maar een kwart over, na 5 halfwaardetijden nog ongeveer 3% (want  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = 0,03$ ). Dit is ook af te lezen in de figuur. Na tien halfwaardetijden is minder dan één duizendste van de oorspronkelijke activiteit nog over.

Halfwaardetijden van radionucliden kunnen variëren van microsecondes (bijvoorbeeld polonium-212:  $T_{1/2} = 3 \cdot 10^{-7}$  s) tot vele miljarden jaren (bijvoorbeeld uranium-238:  $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$  j). De eenheid varieert dus ook van milliseconde (ms) tot megajaar (Mj). Deze eigenschappen worden bijvoorbeeld gebruikt bij het bepalen van de leeftijd van koolstofhoudende voorwerpen.

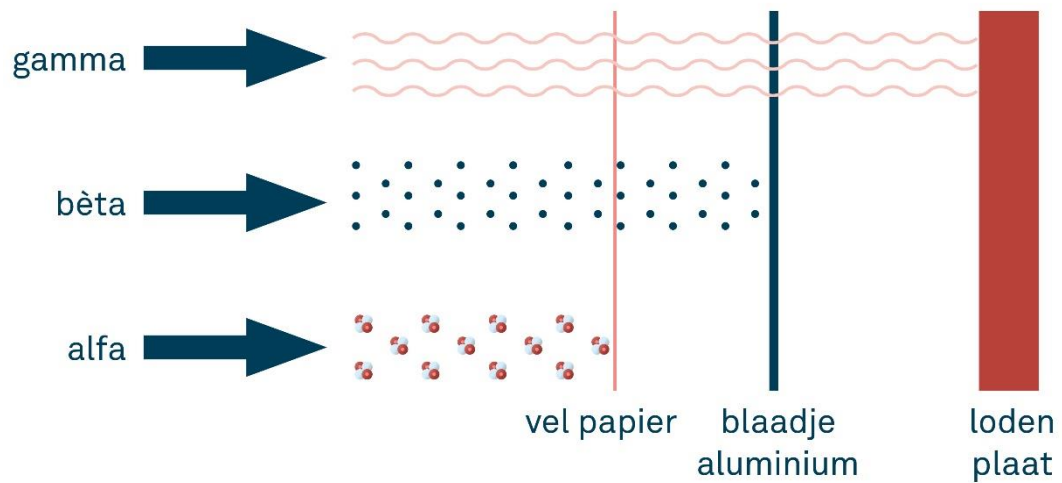
### 1.3.2 Dracht

Het doordringend vermogen van ioniserende straling is afhankelijk van de deeltjesgrootte en de lading van de ioniserende straling. Grote geladen deeltjes worden sneller tegengehouden en komen minder ver. De maximaal af te leggen weg van een hoogenergetisch geladen deeltje in bepaalde materie heet de maximale dracht,  $R$ . Dit is dus een maat voor het doordringend vermogen. De dracht voor  $\alpha$ -straling in lucht is maximaal 7 centimeter, in weefsels  $60 \mu\text{m}$ , en in vaste stoffen slechts  $10 \mu\text{m}$ . Het verschil wordt veroorzaakt door de soortelijke massa van de materie waardoor de  $\alpha$ -straling beweegt.  $\alpha$ -straling wordt dus door kleding en zelfs door de (dode) opperhuid tegengehouden. Daarom is  $\alpha$ -straling ook niet gemakkelijk te meten.

Omdat  $\beta$ -deeltjes (elektronen) lichter en kleiner zijn dan  $\alpha$ -deeltjes kunnen ze een grotere afstand afleggen en verder doordringen in materie. In lucht is de dracht van een  $\beta$ -deeltje maximaal 10 meter terwijl deze in vaste stoffen en weefsel hooguit 13 millimeter bedraagt. Er zijn een paar weinig voorkomende  $\beta$ -stralers met een hoge energie en een grotere dracht, maar in alle gevallen geldt dat een opstellijs op een gangbare afstand van 25 meter van een onafgeschermd  $\beta$ -bron voldoende veilig is.

De energiepakketjes (fotonen) in  $\gamma$ -straling hebben geen massa en geen lading en gaan daarom minder makkelijk interacties aan. Er is daarom eigenlijk geen echte dracht aan toe te kennen.  $\gamma$ -straling wordt door honderden meters lucht nauwelijks tegengehouden, maar wordt wel verzwakt als het door materie gaat. Alleen zware materialen zoals lood of metersdik beton, zijn voldoende om  $\gamma$ -straling voldoende af te schermen, maar zelfs dan kan er nog straling doorheen komen (zie Figuur 1.8).

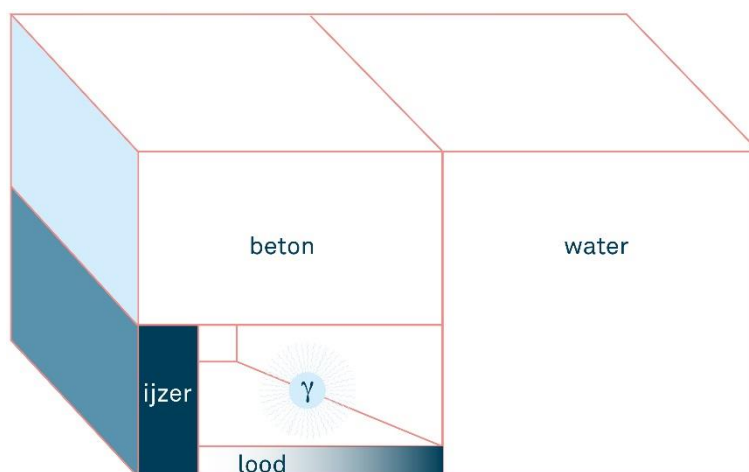




**Figuur 1.8** Dracht van verschillende soorten ioniserende straling:  $\alpha$ -straling wordt tegengehouden door een vel papier,  $\beta$ -straling door een blaadje aluminium en  $\gamma$ -straling door een loden plaat.

### 1.3.3 Halveringsdikte

Voor het afschermen van ioniserende straling kunnen verschillende materialen worden toegepast, zoals lucht, beton, perspex of lood. Voor elk afschermingsmateriaal is er een bepaalde dikte waarbij nog maar de helft van de stralingsintensiteit passeert; dit noemen we de halveringsdikte van het materiaal voor dat type straling. De dikte van de afscherming wordt zo gekozen dat er uiteindelijk een aanvaardbaar lage stralingsintensiteit door de afscherming heen komt. Ter illustratie staan in Figuur 1.9 verschillende halveringsdikten van afschermingsmaterialen voor een  $\gamma$ -bron afgebeeld. Hoe dichter het materiaal is (meer massa per volume) hoe meer moeite de straling heeft om er doorheen te komen. Hoe dichter het materiaal is, meer massa per volume, hoe meer moeite de straling heeft om er doorheen te komen.



**Figuur 1.9** Illustratie van halveringsdiktes van verschillende afschermingsmaterialen voor een  $\gamma$ -bron.

# 2 Stralingsdosimetrie

Om de schadelijke invloed van straling op levende organismen te kunnen kwantificeren zijn er speciale grootheden gedefinieerd. Dit hoofdstuk beschrijft de belangrijkste.

## 2.1 Basisgrootheden

### 2.1.1 Activiteit, A

De activiteit van een radioactieve bron is het aantal atomen dat per seconde vervalst. De eenheid van radioactiviteit is  $[s^{-1}]$ , dit wordt Becquerel [Bq] genoemd naar de ontdekker van radioactiviteit (Henry Becquerel). Deze eenheid geeft het aantal deeltjes dat per seconde vervalst en daarbij ioniserende straling uitzendt. In totaliteit wordt de radioactiviteit bepaald door de hoeveelheid van de aanwezige radioactieve stof en de halfwaardetijd van de stof.

37 MBq Fosfor-32, betekent dat er elke seconde 37 miljoen atomen fosfor-32 vervallen waarbij tenminste 37 miljoen stralingsdeeltjes worden uitgezonden. Dus 37 MBq is de bronsterkte of activiteit van de 32-fosforbron.

Een indicatie voor de sterkte van bronnen:

MBq  $\approx$  hoeveelheid gebruikt in radionuclidenlaboratoria

GBq  $\approx$  hoeveelheid gebruikt in nucleaire geneeskunde

TBq  $\approx$  hoeveelheid gebruikt in bestralingsbronnen

PBq  $\approx$  hoeveelheid gebruikt in kernenergiecentrales.

Bronnen met een activiteit boven de 100 MBq behoren tot de zeer sterke bronnen.

### 2.1.2 Geabsorbeerde Dosis, D

Ioniserende straling geeft haar energie af via interacties. Bij blootstelling aan ioniserende straling neemt het lichaam deze energie op, net zoals een lichaam warmte opneemt als iemand voor een kachel staat. De geabsorbeerde dosis is de hoeveelheid stralingsenergie die geabsorbeerd wordt door het lichaam, symbool: D. De geabsorbeerde dosis wordt weergegeven in Joule per kilogram. Hiervoor wordt de eenheid Gray (Gy) gebruikt. Dus  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ .

### 2.1.3 Dosistempo, $\dot{D}$

Niet alleen de totale dosis die een persoon op kan lopen is van belang maar ook binnen welke tijdsduur iemand een bepaalde dosis oploopt. Dit is dus de geabsorbeerde dosis per tijdseenheid, ook wel dosistempo genoemd. Het dosistempo wordt uitgedrukt in Gray per uur [Gy/u] en aangeduid met een 'stip' boven de D. Omdat dosistempo's meestal laag zijn, worden zij vaak in milliGray (duizendste Gy) of microGray (miljoenste Gy) weergegeven; de eenheid wordt dan mGy/u of  $\mu\text{Gy/u}$ . Vaak wordt voor uur ook het Engelse uur gebruikt. De schrijfwijze wordt dan mGy/hr en  $\mu\text{Gy/hr}$  of mGy/h en  $\mu\text{Gy/h}$ .

**Voorbeeld:** iemand die 30 minuten werkt in een omgeving waar op het werkpunt een dosistempo van 100 mGy/u wordt waargenomen, wordt blootgesteld aan een dosis van 50

mGy. En na een uur is dit 100 mGy. Hoe korter iemand in de omgeving blijft, hoe lager de stralingsdosis.

## 2.2 Limiterende grootheden

### 2.2.1 Effectieve dosis en weegfactoren

Het effect van ioniserende straling op het lichaam is afhankelijk van het soort straling dat wordt geabsorbeerd, maar ook van het soort weefsel dat de straling absorbeert. Het ene weefsel is gevoeliger dan het andere en het ene type straling is schadelijker dan het andere. Grofweg kan gesteld worden dat  $\alpha$ -straling 20 keer schadelijker is dan  $\beta$ - en  $\gamma$ -straling. Om de schade voor verschillende stralings- en weefselsoorten met elkaar te kunnen vergelijken wordt deze uitgedrukt in de effectieve dosis. Deze wordt berekend met weegfactoren.

Er wordt onderscheid gemaakt in stralingsweegfactoren ( $w_R$ , met de R van 'radiation' of straling) en weefselweegfactoren ( $w_T$ , met de T van tissue of weefsel); de stralingsweegfactor is een maat voor de schadelijkheid van de straling en de weefselweegfactor voor de gevoeligheid van het bestraalde weefsel (zie Tabel 2.1). De weegfactoren zijn dimensieloos; ze hebben geen eenheid.

**Tabel 2.1 Stralings- en weefselweegfactoren (Bbs, 2017)**

straling	stralingsweegfactor $w_R$
$\alpha$ -deeltjes	20
$\beta$ -deeltjes	1
$\gamma$ -straling	1
weefsel of orgaan T	weefselweegfactor $w_T$ voor elk orgaan:
1. rood beenmerg	0,12
2. dikke darm	0,12
3. longen	0,12
4. maag	0,12
5. borstweefsel	0,12
6. overige weefsels/organen	0,12
1. geslachtsorganen	0,08
1. blaas	0,04
2. lever	0,04
3. slokdarm	0,04
4. schildklier	0,04
1. huid	0,01
2. botoppervlak	0,01
3. hersenen	0,01
4. speekselklieren	0,01
<b>TOTAAL</b>	<b>1,00</b>

De effectieve dosis kan in een aantal stappen worden afgeleid.

Stap 1 is het bepalen van de orgaandosis  $D_T$ . De orgaandosis wordt gebruikt om de schadelijkheid in te kunnen schatten van straling in een bepaald orgaan of weefsel, zoals de dikke darm of de huid. De orgaandosis is de hoeveelheid straling die in een orgaan of weefsel geabsorbeerd is, gedeeld door de massa van het bestraalde orgaan of weefsel. De eenheid van orgaandosis is  $J/kg = Gy$ .

Stap 2 brengt de schadelijkheid van de straling in rekening door het berekenen van de equivalente orgaandosis,  $H_T$ . Dit is de orgaandosis  $D_T$  vermenigvuldigd met de stralingsweegfactor  $w_R$ . De eenheid is Sievert [Sv]. Omdat de stralingsweegfactor dimensieloos is, geldt  $1 Sv = 1 J/kg$ .

Stap 3 brengt de gevoeligheid van het bestraalde orgaan of weefsel in rekening; de equivalente orgaandosis  $H_T$  wordt vermenigvuldigd met de weefselweegfactor  $w_T$ . Zo wordt een indicatie verkregen van de biologische schade aan het bestraalde orgaan of weefsel. De factor  $w_T$  geeft de relatieve bijdrage van weefsel T aan het totale risico wanneer het gehele lichaam wordt blootgesteld aan het stralingsveld.

Stap 4 is het berekenen van de effectieve dosis E. Dit is de totale dosis opgelopen over het hele lichaam, dus voor alle weefsels en organen en alle stralingssoorten. De effectieve dosis E is dus  $E = w_T \times H_T = w_T \times w_R \times D_T$  opgeteld voor alle weefsels en organen.

De effectieve dosis geeft eigenlijk het gewogen effect van alle ioniserende straling op het hele lichaam weer. De effectieve dosis wordt net als de dosis uitgedrukt in de stralingsenergie (Joule) per kilogram. De eenheid voor de effectieve dosis is de Sievert [Sv].

**Voorbeeld:** iemand wordt bestraald op de lever met een gemiddelde dosis van 8 Gy  $\gamma$ -straling. De stralingsweegfactor ( $w_R$ ) voor  $\gamma$ -straling is 1 en de weefselweegfactor ( $w_T$ ) voor de lever is 0,04. Dus de equivalente dosis  $H_T = 8 Sv (= w_R \times D_T = 1 \times 8)$  en de effectieve dosis E is na toepassing van de weegfactoren:  $E = 0,04 \times 8 = 0,32 Sv (= w_T \times w_R \times D_T)$ . Daarna wordt een borstfoto gemaakt waarbij de longen, borsten en schildklier een equivalente dosis van 1 mSv ontvangen. De effectieve dosis voor de borstfoto is dan:  
 $E = w_{long} \times 1 mSv + w_{borstweefsel} \times 1 mSv + w_{schildklier} \times 1 mSv$   
 $= 0,12 \times 1 + 0,12 \times 1 + 0,04 \times 1 = 0,28 mSv$ .

## 2.3 Operationele grootheden

De grootheid die gemeten met de Automess 6150AD1 (zie paragraaf 7.1.1), geeft een goede schatting van de op te lopen dosis. De afwijking tussen meetresultaat en effectieve dosis is maximaal 35%; het meetresultaat onderschat de effectieve dosis en is dus maximaal 35% te laag. De mate van onderschatting is afhankelijk van de energie van de gemeten straling en van het wel of niet gebruiken van externe sondes.

### 2.3.1 Kwadratenwet

Ioniserende straling verspreidt zich bolvormig, net als licht, warmte, etc. Dit betekent dat eenzelfde hoeveelheid straling zich verdeelt over een oppervlakte die evenredig is met het kwadraat van de afstand tot een puntbron. Dit is de zogenaamde kwadratenwet, zie

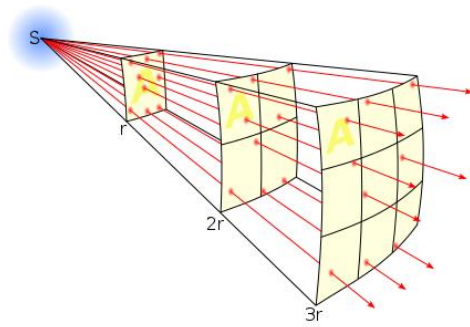
Figuur 2.1. Deze wet zegt dus dat met het vergroten van de afstand de stralingsdosis kwadratisch afneemt.

Dus:

$$D_1 \times r_1^2 = D_2 \times r_2^2$$

Met:  $D_1$  = gemeten dosis (of dosistempo) op afstand  $r_1$  van de bron

$D_2$  = gemeten dosis (of dosistempo) op afstand  $r_2$  van de bron.



**Figuur 2.1** Bolvormige verspreiding van straling: kwadratenwet

Tweemaal verder weg ( $r_2 = 2 \times r_1$ ) geeft een viermaal zwakkere uitstraling per oppervlak. Driemaal verder weg ( $r_2 = 3 \times r_1$ ) geeft een negenmaal zwakkere uitstraling per oppervlak (in Figuur 2.1 blijft het aantal lijnen gelijk). Dus als iemand in plaats van op 1 meter op 2 meter gaat staan, dan wordt de afstand 2x zo groot en wordt de dosis  $2 \times 2$  is 4 maal zo laag.

**Let op:** de kwadratenwet geldt voor puntbronnen, dus stralingsbronnen met een afmeting die erg klein is ten opzichte van de afstand  $r$ . Bij een grote oppervlaktebesmetting, bijvoorbeeld na een kernramp, geldt deze regel niet.

#### Voorbeeld

Stel je hebt te maken met een onafgeschermd bron van iridium-192. De activiteit van de bron is 1 TBq (Tera =  $10^{12}$ ). Op 1 meter afstand bedraagt het dosistempo 140 mSv per uur. Op 2 meter afstand is het dosistempo met een factor  $2^2 = 4$  afgenomen tot 35 mSv per uur. Op 10 meter afstand is het dosistempo een factor  $10^2 = 100$  lager. In een onbekende situatie is het dan ook verstandig om het dosistempo op ruime afstand te meten, en dan via de kwadratenregel het dosistempo op kortere afstand in te schatten.

In Tabel 2.2 is de kwadratenwet toegepast voor het berekenen van de maximale tijd voor de inzet van hulpverleners. De tabel gaat uit van een maximaal op te lopen dosis van 2 mSv en een alarmniveau van  $25 \mu\text{Sv/u}$ . De brandweer hanteert een dosisbeperking van 2 mSv voor een operationele inzet onder leiding van een bevelvoerder.

**Tabel 2.2** Berekenende maximale inzettijd op een bepaalde afstand tot de bron met kwadratenwet

Afstand tot bron bij meten $25 \mu\text{Sv/u}$	Inzettijd tot dosis 2 mSv bij een inzet op afstand tot de bron van:		
	1 meter	5 meter	10 meter
10 meter	48 min	20 uur	80 uur
20 meter	12 min	5 uur	20 uur
30 meter	5 min	132 min	9 uur
40 meter	3 min	75 min	5 uur

Stel er moet een inzet uitgevoerd worden op 1 meter van de bron en bij de verkenning is op 20 meter afstand van de bron het alarmniveau bereikt. Met de kwadratenwet kan uit-

gerekend worden dat de inzetijd op 1 meter van de bron dan 12 minuten bedraagt (zie rood-gearceerde cellen in de tabel).

De berekening ziet er als volgt uit:  $D_1 = 25 \mu\text{Sv/u}$ ,  $r_1 = 20$  meter,  $r_2 = 1$  meter en  $D_2$  wordt uitgerekend. Dus  $25 \times 20^2 = D_2 \times 1^2 \Rightarrow D_2 = 25 \times 20^2 / 1^2 = 10.000 \mu\text{Sv/u} = 10 \text{ mSv/u}$ .

De maximaal op te lopen dosis is 2 mSv en wordt bereikt na  $t = 2 / 10 = 0,2 \text{ u} = 0,2 \times 60 \text{ min/u} = 12$  minuten.

# 3 Bronnen ioniserende straling

Iedereen staat de hele dag bloot aan straling. Deze is vooral afkomstig van natuurlijke bronnen van ioniserende straling, maar ook van kunstmatige bronnen.

## 3.1 Dagelijkse blootstelling

### 3.1.1 Dagelijkse blootstelling aan natuurlijke bronnen

Er zit van nature radioactiviteit in de bodem. Bouwmaterialen die gemaakt zijn van grondstoffen uit de bodem zijn ook een bron van straling omdat deze natuurlijke radionucliden bevatten. Uit bouwmaterialen zoals beton komt, naast gammastraling, het radioactieve gas radon (en thoron) vrij. De vervalproducten van radon, ook wel de radonochters genoemd, kunnen zich in de lucht hechten aan stofdeeltjes. Bij het inademen van deze stofdeeltjes kunnen de radonochters achterblijven in de luchtwegen en daar hun straling afgeven. Hierdoor wordt de kans op longkanker groter. Als er niet voldoende wordt geventileerd kan de straling in gebouwen vele malen hoger zijn dan buiten. Radonochters dragen veel bij aan de jaarlijks ontvangen dosis door ioniserende straling. Door nieuwe inzichten<sup>1</sup> is de dosiswaarde hoger dan in eerdere jaren vermeld maar het is onveranderd gebleven dat radon voor de hoogste dosis zorgt van alle natuurlijke bronnen.

Met honderden doden per jaar in Nederland vormt radon na roken de belangrijkste oorzaak van longkanker.

Ook voedsel en drinkwater bevatten radioactieve stoffen die van nature op aarde aanwezig zijn. Via bodem, water en lucht zijn deze stoffen op en in onze planten en dieren gekomen.

Niet alleen vanuit de bodem maar ook vanuit de kosmos komt straling op ons af. De atmosfeer zorgt voor afscherming maar toch ontvangen we in Nederland op leefniveau nog 0,22 mSv/jaar aan kosmische straling.

De gemiddelde Nederlander die normaal ademt, eet en drinkt, ontvangt een vrijwel onvermijdelijke dosis van ongeveer 2,4 mSv/jaar. Ventileren zorgt voor een lagere dosis.

### 3.1.2 Dagelijkse blootstelling aan kunstmatige bronnen

Kunstmatige bronnen (door mensen gemaakt) dragen maar voor een klein deel bij aan de dagelijkse blootstelling aan straling. Bovengrondse kernwapenproeven en incidenten met nucleaire installaties hebben radioactiviteit in de atmosfeer gebracht. De jaardosis per inwoner van Nederland als resultaat van deze bronnen wordt geschat op minder dan

<sup>1</sup> Voor deze dosisschattingen zijn de dosisconversiefactoren van radon en thoron gebruikt zoals vermeld in ICRP (2017). Voorheen werden dosisconversiefactoren op basis van UNSCEAR gegevens toegepast voor dosisschattingen.

0,02 mSv. Ook industriële handelingen met stralingsbronnen dragen maar voor een klein deel bij aan de gemiddelde stralingsbelasting. Blootstelling komt door lozing en/of door externe straling. Nucleaire installaties en sommige procesindustrieën in Nederland lozen radioactieve stoffen in de lucht en/of in het open water. Toepassingen van (gamma)straling binnen sommige instellingen leiden door strenge regelgeving bij de terreingrens tot een niet of nauwelijks meetbare verhoging van de blootstelling. De gemiddelde jaardosis per inwoner van Nederland door de industriële bronnen is kleiner dan 0,01 mSv.

## 3.2 Mogelijke extra blootstelling

Naast de veelal onvermijdelijke blootstelling in ons dagelijks leven, kunnen sommige Nederlanders ook door andere oorzaken blootstaan aan straling. Dit kan bijvoorbeeld bij een medisch onderzoek of therapie, door een vliegreis of vakantie in de bergen en bij het gebruik van artikelen waar radioactiviteit inzit. Wie regelmatig een CT-scan ondergaat, veel vliegt of beroepsmatig met straling werkt, ontvangt jaarlijks een hogere dosis dan de meeste andere Nederlanders.

### 3.2.1 Medische blootstelling

Medische toepassingen zoals het maken van een röntgenfoto of een CT-scan leveren een bijdrage aan de stralingsbelasting. De blootstelling is per persoon erg verschillend. Bij sommige mensen worden regelmatig CT-scans gemaakt terwijl anderen alleen een röntgenfoto bij de tandarts hebben laten maken. Een röntgenfoto bij de tandarts geeft een dosis van ongeveer 3  $\mu$ Sv, terwijl de dosis bij een CT-scan van de onderbuik kan oplopen tot 10 mSv. Gemiddeld ontvangt de Nederlander bijna 1,2 mSv/jaar door alle medische onderzoeken. Daarbij is de dosis die patiënten ontvangen bij therapeutische behandeling in ziekenhuizen dus niet meegenomen.

### 3.2.2 Kosmische straling op vlieghoogte

Op grote hoogte wordt kosmische straling minder afgeschermd door de atmosfeer. Tijdens een vliegreis of op wintersport staan mensen daarom tijdelijk bloot aan een hogere dosis kosmische straling dan op zeeniveau. Een vliegreis Amsterdam-New York (retour) op 10 kilometer hoogte levert ongeveer 72  $\mu$ Sv effectieve dosis op en een retour naar London 4,4  $\mu$ Sv. Gemiddeld maken Nederlanders 1,3 retourvluchten per jaar en ontvangen daardoor een gemiddelde effectieve dosis van ongeveer 40  $\mu$ Sv. Vliegtuigbemanning ontvangt per jaar gemiddeld 1,9 mSv en maximaal 5 mSv.<sup>2</sup>

### 3.2.3 Radioactiviteit in consumentenproducten

De jaardosis per inwoner van Nederland door radioactiviteit in gebruiksartikelen (consumentenproducten) is zeer beperkt. Radioactieve stoffen werden vooral in het verleden toegepast in rookmelders, wijzerplaten, cameralenzen en gloeikousjes. Veel van deze producten zijn inmiddels uit de handel genomen.

---

<sup>2</sup> Dit zijn waarden uit 2019, voor de komst van het Coronavirus dat grote invloed heeft gehad op het vliegverkeer.



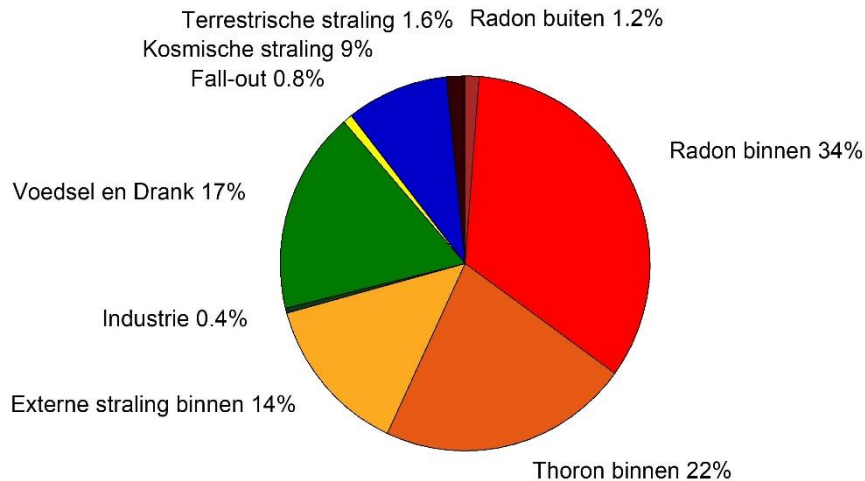
### 3.3 De gemiddelde stralingsbelasting

De gemiddelde stralingsbelasting wordt bepaald door de stralingsdoses die Nederlanders ontvangen bij elkaar op te tellen (de collectieve dosis) en te delen door het aantal inwoners van Nederland, zie Tabel 3.1. Merk op dat deze achtergrondstraling een optelsom is van externe straling en inwendige besmetting (zie ook Hoofdstuk 5). Vanzelfsprekend worden sommige mensen meer blootgesteld aan straling dan andere. De limiet voor beroepsmatige werknemers is 1 mSv. Deze dosis komt bovenop de dosis ontvangen door achtergrondstraling (2,5 mSv) en bovenop de eventueel ontvangen dosis door medisch onderzoek of vliegvluchten. Indien er erg veel vliegvluchten voor het werk gemaakt moeten worden, dient dit formeel wel in de Risico-Inventarisatie en -Evaluatie (RI&E) opgenomen te worden.

**Tabel 3.2 Jaarlijkse gemiddelde dosis door blootstelling aan ioniserende straling in 2021 [Bron: RIVM]**

	Bron	Jaardosis (mSv)
Elke Nederlander ontvangt een effectieve dosis van ongeveer 2,5 mSv/jaar	Radon(dochters) buitenshuis	0,03
	Radon(dochters) binnenshuis	0,83
	Thoron(dochters) binnenshuis	0,54
	Externe straling binnenshuis	0,34
	Blootstelling door industrie	0,01
	Natuurlijke radioactiviteit in voedsel en drank	0,43
	Fall-out	0,02
	Kosmische straling op leefniveau	0,22
	Terrestrische straling buitenshuis	0,04
	<b>Totaal</b>	<b>2,46</b>
Daarbij komt een effectieve dosis die per persoon erg varieert. Ongeveer 1 mSv/jaar	Medische blootstelling (diagnostiek)	1,20
	Kosmische straling op vlieghoogte	0,04
	Blootstelling door consumentenproducten	n.v.t.

De jaardosis kan worden weergegeven in een cirkeldiagram (zie Figuur 3.1). De figuur laat zien in welke verhoudingen de bronnen bijdragen aan de 2,5 mSv die Nederlanders per hoofd van de bevolking jaarlijks in ontvangen. Hieruit blijkt dat de grootste bijdrage door de straling van Radon(dochters) wordt geleverd. Toch is in vergelijking met de omringende landen de stralingsdosis van radon(dochters) laag omdat de radonconcentratie in Nederlandse woningen laag is. Verder geldt in Nederland een relatief laag gemiddelde stralingsbelasting door medisch diagnostisch onderzoek.



**Figuur 3.1** Onderverdeling gemiddelde stralingsbelasting (peiljaar 2021, RIVM). De medische stralingsbelasting is niet meegenomen in het cirkeldiagram.

### 3.4 Mogelijke toepassingen van radioactieve stoffen

Een aantal voorbeelden van toepassingen van radioactieve bronnen of instellingen waar radioactieve stoffen voorkomen, zijn:

- > Industrie:
  - vulhoogtemetingen.
  - diktemetingen, onder andere papier of metaalfolie (bijvoorbeeld in hoogovens)
  - controle van lasnaden in leidingwerk: met sterke  $\gamma$ -stralingsbronnen (tot activiteiten van 200 TBq) worden fotografische opnames gemaakt; dit wordt gammagrafie of NDO (van niet-destructief onderzoek) genoemd.
  - inrichtingen met cyclotrons en andere deeltjesversnellers.
  - voedselindustrie: doorstralen van voedsel in verpakking voor het doden van bacteriën en kwaliteitscontrole.
- > Ziekenhuizen:
  - röntgentoestellen voor het maken van röntgenfoto's en voor bestraling van tumoren; voor bestraling wordt gebruikgemaakt van zware radioactieve kobalt-60-bronnen of cesium-137-bronnen.
  - monitoren van de werking van organen, bijvoorbeeld de schildklier; door de patiënt een radioactieve jodiumoplossing te laten drinken wordt de schildklier radioactief; de patiënt is dan enigszins radioactief en zit een aantal dagen in quarantaine.
  - behandelen van tumoren.
- > Landbouw:
  - gebruik van radioactieve atomen (tracers) in bijvoorbeeld voedsel, kunstmest en bestrijdingsmiddelen.
  - bestraling van planten voor het veranderen van eigenschappen, bijvoorbeeld kleur of grootte.
  - bestrijden van dierplagen.

- > (Wegen)bouwkundige controles:
  - vocht- en diktemetingen van asfalt (bijvoorbeeld Troxler).
  - controle van lasnaden in pijpleidingen.
  - aanbod van radioactief schroot.
  - Transport.
- > Radionuclidenlaboratorium: onderzoek naar gedrag van stoffen in bijvoorbeeld proefdieren, celculturen of chemische reacties.
- > Kernenergiecentrales: energieopwekking uit splijtbare stoffen, bijvoorbeeld uranium. De enige operationele kernenergiecentrale in Nederland ligt in Borssele (EPZ, zie Figuur 3.2).
- > Kernreactoren bij onderzoeksinstellingen, zoals NRG in Petten en IRI (Interfacultair Reactor Instituut) in Delft.
- > Installaties voor uraniumverrijking bij Urenco Nederland in Almelo.
- > Verwerking en opslag van radioactief afval bij de COVRA (Centrale organisatie voor radioactief afval, zie Figuur 3.3) in Nieuwdorp (gemeente Borsele).



**Figuur 3.2 Kernenergiecentrale Borssele**      **Figuur 3.3 Opslag bij COVRA**

Voor medische toepassingen kan iemand aan een relatief hoge dosis worden blootgesteld. De foto in Figuur 3.4 laat zien hoe een brandweerman een meting doet ter hoogte van zijn blaas, nadat hij een injectie heeft gehad met een radioactieve vloeistof (technetium-99m) voorafgaand aan het maken van een botscan. Zie voor uitleg over meten Hoofdstuk 7. Bij een botscan wordt de vloeistof opgenomen door afwijkend weefsel, zoals een ontsteking of een tumor. Het dosistempo op de foto bedraagt  $469 \mu\text{Sv/u}$  maar is later opgelopen tot bijna 800. De blootstelling is wel kortdurend omdat de halfwaardetijd van deze radionuclide 6 uur is. Het lichaam zorgt zelf voor het verwijderen van de stof uit het lichaam; door veel te drinken wordt dit proces versneld.



**Figuur 3.4 Stralingsmeting na injectie met radioactieve vloeistof voor een botscan**

Er bestaan vele honderden verschillende radionucliden maar niet alle radionucliden zijn even gangbaar. Er is een selectie gemaakt van 40 gangbare radionucliden waar de brandweer bij de bestrijding van een incident mee in aanraking kan komen. Deze radionucliden zijn samengevoegd in de **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** bij het document *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Achtergrondinformatie* (bijlagen 4 en 5); deze tabel bevat relevante gegevens van deze radionucliden.

## 3.5 Identificatie van radioactieve stoffen

Radioactieve stoffen zijn ingedeeld in gevarenklasse 7 en het GEVI-nummer begint met 7. Radioactiviteit komt in de GEVI-code niet voor als bijkomend gevaar, maar radioactieve stoffen kunnen wel een bijkomend gevaar hebben (bijvoorbeeld 70, 74, 75 en 78; maar 77 komt niet voor). Als een verpakking intact is, bestaat er geen gevaar voor de omgeving! Intacte verpakkingen kunnen eenvoudig veiliggesteld worden uit de gevarenzone, bijvoorbeeld wanneer ze door brand bedreigd worden.

Er bestaan geen chemiekaarten voor radioactieve stoffen; wel zijn er vier algemene ERIC-kaarten (ERIC 7-01 t/m 7-04). Voor vervoer van radioactieve stoffen over de weg is het ADR van toepassing; voor een volledige beschrijving van de vervoersbepalingen wordt verwezen naar het ADR en de NVS-publicatie 26A, 2000 (*Vervoer van radioactieve stoffen over de weg in Nederland en België – Handleiding voor de praktijk*).

### 3.5.1 Etiketten

Elke verpakking die radioactieve stoffen bevat moet voorzien zijn van vervoersetiketten (zie Figuur 3.5) als de activiteitsconcentratie en de totale activiteit van de zending aangegeven waarden overschrijden. Er moeten twee etiketten aangebracht worden op tegenoverliggende zijden van de verpakking; op een container zelfs aan vier zijden. Verpakkingen voor vervoer zijn in drie klassen ingedeeld, aangeduid met een rood cijfer I, II of III. De klasse geeft aan hoeveel straling er aan de buitenkant van de verpakking maximaal te meten is.

- 7A. Wit etiket, klasse **I** (met rode I op etiket): maximaal 5  $\mu\text{Sv/u}$  aan het oppervlak.
- 7B. Bovenkant geel, onderkant wit, klasse **II** (met rode II op etiket): tussen 5  $\mu\text{Sv/u}$  en maximaal 500  $\mu\text{Sv/u}$  aan het oppervlak en maximaal 10  $\mu\text{Sv/u}$  op 1 meter afstand.
- 7C. Bovenkant geel, onderkant wit, klasse **III** (met rode III op etiket): tussen 0,5 mSv/u en maximaal 2 mSv/u aan het oppervlak en maximaal 100  $\mu\text{Sv/u}$  op 1 meter afstand.
- 7D. Algemene etiket: wordt alleen op het voertuig geplaatst, het stralingsniveau is maximaal 100  $\mu\text{Sv/u}$  op 2 meter afstand.
- 7E. Etiket voor splijststoffen, met opschrift *Fissile* op etiket: alleen voor splijststoffen.

De etiketten 7A, 7B en 7C bevatten de opschriften *Content* en *Activity*. De afzender van de verpakking vermeldt hier het type bron en de activiteit op het moment van transport. Deze informatie is ook terug te vinden in de vervoersdocumenten. De etiketten 7B en 7C vermelden ook de Transport Index (TI).



Figuur 3.5 Etiketten voor het vervoer van radioactieve stoffen

### 3.5.2 Bebording voertuigen

Bij vervoer van verpakkingen moeten voertuigen en containers voorzien zijn van:

- > de algemene oranje waarschuwingsborden voor het vervoer van gevaarlijke stoffen

- > aan de twee lange zijden en aan de achterzijde waarschuwborden van het type 7D of 7E (zie Figuur 3.5).

Bij zeecontainers moeten er naast vier stuks 7D ook vier stuks 7A, 7B of 7C borden zijn geplaatst. Alternatief is alléén vier stuks 7A, 7B of 7C, maar dan in groot formaat. Bij transporten met UN-nummers 2912, 3321 of 3322 moet dit vermeld worden op het onderste paneel van het oranje bord. Op het bovenste paneel moet dan de aanduiding 70 vermeld zijn.

### 3.5.3 Vervoersdocumenten

De afzender moet elke zending voorzien van een vervoersdocument.

### 3.5.4 Waarschuwingssymbool

De aanwezigheid van radioactieve stoffen, bronnen of röntgenapparatuur wordt aangegeven met een waarschuwingssymbool (gele driehoek met zwarte rand, zie Figuur 3.6). Dit symbool kan voorkomen in gebouwen, bijvoorbeeld op toegangsdeuren van laboratoria of de ruimten waar röntgenfoto's worden gemaakt in een ziekenhuis. Ook röntgenapparaten zijn voorzien van dit symbool. Veelal is met een onderbord is aangegeven om welk type stralingsbron (radioactieve stoffen of toestellen) het gaat



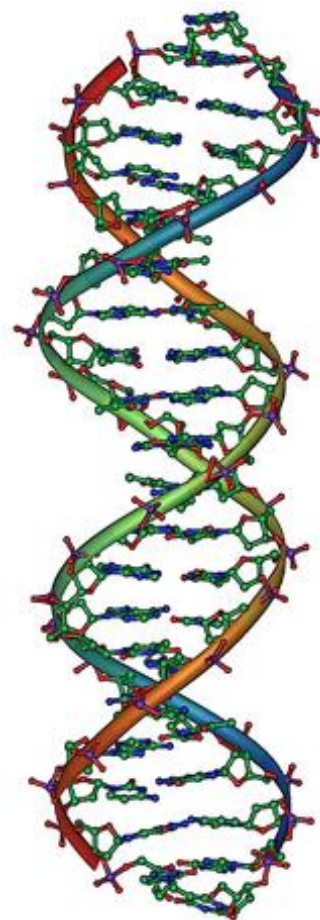
**Figuur 3.6** Waarschuwing

# 4 Gezondheidseffecten

Blootstelling aan ioniserende straling kan invloed op de gezondheid hebben. Dit kan variëren van roodheid van de huid tot brandblaren en zelfs het ontstaan van kanker.

Alle biologische organismen bestaan uit levende cellen. Er zijn eencellige organismen en hoger georganiseerde meercellige organismen, zoals een kikker of een mens, die uit verschillende soorten gespecialiseerde cellen bestaan. Een cel is het kleinste onderdeel van een organisme of levend wezen dat alle genetische, erfelijke informatie van dat organisme bevat. De belangrijkste drager van die erfelijke informatie is DNA, desoxyribonucleïnezuur (zie Figuur 3.1). DNA is de biologische computercode voor de vele processen die in het levende organisme plaatsvinden. Om als organisme te groeien of om te blijven leven is het noodzakelijk dat er voortdurend celdeling plaatsvindt.

Door straling kan schade in alle delen van een cel optreden, dus ook in het DNA. De schade wordt veroorzaakt door de ioniserende werking van straling. De meeste mutaties worden door een herstelmechanisme gerepareerd, maar in sommige gevallen leidt de stralingsschade tot celdood of mutaties.



Figuur 3.1 DNA

## Celdood

Als een cel beschadigd wordt door ioniserende straling kan de schade niet altijd goed gerepareerd worden. Dit kan leiden tot het doodgaan van de cel. Met het toenemen van de dosis of stralingsbelasting, neemt het aantal gedode cellen ook toe. Als in een orgaan of weefsel een beperkte hoeveelheid cellen dood is, hoeft dat nog geen probleem voor dat orgaan of weefsel op te leveren om goed te kunnen blijven functioneren. Bloedcellen sterven bijvoorbeeld continu af en worden ook weer aangemaakt. Maar als er te veel cellen tegelijk doodgaan in een orgaan zal dat leiden tot verlies van de functie van het orgaan. Celdood kan dus grote gevolgen hebben voor het functioneren van bestraalde organen en zelfs voor het hele lichaam, met mogelijk de dood tot gevolg.

## Mutatie

Soms repareert het lichaam de schade aan het DNA niet goed. Dit noemen we muteren (veranderen) van het DNA. Bij een mutatie in het DNA kan de cel zich nog wel gewoon delen, maar zit er een weffoutje in de code. Op de lange termijn *kan* dit, in samenhang met andere gebeurtenissen, tot het ontstaan van kanker leiden. Hier ligt veel nadruk op de kans, want de kans dat blootstelling aan straling leidt tot kanker, neemt toe met de dosis.

Zowel celdood als mutaties kunnen leiden tot gezondheidsschade. De ernst van de gevolgen hangt af van het type schade en het type orgaan. In het algemeen geldt dat snel delende

cellen (zoals in bloed, beenmerg, testes) het meest gevoelig zijn. Ook de ooglenzen is zeer gevoelig voor externe straling. Kinderen zijn over het algemeen gevoeliger voor straling dan volwassenen, omdat ze meer snel delende weefsels hebben (en omdat stralingseffecten nog veel meer tijd hebben om tot problemen te leiden).

## 4.1 Deterministische effecten

Deterministische effecten zijn directe effecten die worden veroorzaakt door functieverlies van weefsels of organen. Deze effecten kunnen kort na de bestraling optreden, variërend van enkele uren tot één à twee maanden, maar ze kunnen zich ook pas jaren na de blootstelling openbaren. Deterministische effecten worden veroorzaakt door het verlies van vele cellen door celdood. Deze effecten treden pas op boven een bepaalde dosis, de zogenaamde drempeldosis. Boven deze drempeldosis neemt de ernst van het effect sterk toe met een toenemende stralingsdosis. Deterministische effecten zijn sterk afhankelijk van de hoogte van de dosis en het type blootgestelde weefsel; de dosis wordt daarom uitgedrukt in Gy.

Tot een equivalente stralingsdosis van 1 Gy is het lichaam meestal goed in staat om de schade te repareren (via herstelmechanismen). Er zijn dan meestal geen acute, negatieve effecten waar te nemen. Beneden de 1 Gy ontstaat wel schade aan de cellen van organen, maar deze is meestal zo gering dat het orgaan geen functieverlies leidt of zichzelf herstelt. Het maximale effect van een dosis die hoger is dan 750 mGy is het beste zichtbaar in het bloed. Er is dan tijdelijk een afname van de witte bloedcellen te zien. Dit tekort wordt door het lichaam zeer snel weer aangevuld.

Bij bestraling van het lichaam met een hogere dosis ioniserende straling gaan binnen korte tijd zeer veel cellen van organen en weefsels kapot. De effecten van hoge doses bestraling zullen altijd optreden en in sommige gevallen zelfs tot sterfte leiden. Een eerste zichtbaar effect van overbestraling is diarree en braken (zie Tabel 4.1). Op grond van de dosis worden de stralingssyndromen onderscheiden in:

- > beenmergsyndroom
- > darmsyndroom
- > hersensyndroom of centraal zenuwstelselsyndroom.

Het beenmergsyndroom ontstaat doordat het rode beenmerg te weinig bloedcellen produceert. Als geen medische zorg wordt verleend, kan vanaf een equivalente dosis van 4 Gy sterfte optreden door acute effecten op het bloedvormend weefsel. Bij een hogere dosis (10-50 Gy) treedt ook het darmsyndroom op. Het darmsyndroom ontstaat sneller dan het beenmergsyndroom en wordt veroorzaakt door celdood (van stamcellen en andere cellen die zich delen). Als een slachtoffer herstelt van het darmsyndroom kan het alsnog overlijden door het later optredende beenmergsyndroom. Vanaf een dosis van 50 Gy en hoger treedt het hersensyndroom op. Sterfte treedt dan op tussen 1 uur en 2 dagen na bestraling.

Tabel 4.1 Vroege of acute effecten die optreden na bestraling van het hele lichaam

Dosis [Gy]	Effect
0,2-1	geen ziekteverschijnselen, vermindering van het aantal witte bloedlichaampjes
1-2	verminderde weerstand, vermoeidheid, braken, diarree, herstel na enkele weken
2-3	ernstige stralingsziekte door beschadiging van o.a. beenmerg
3-4	ernstige stralingsziekte, sterftkans binnen een maand zonder medische behandeling maximaal 50%
4-10	beenmergsyndroom: er kunnen geen nieuwe bloedcellen aangemaakt worden in het beenmerg, omdat deze cellen ernstig beschadigd of dood zijn; in bijna alle gevallen sterfte binnen een maand zonder medische behandeling
10-50	maag-darm syndroom: er kan geen nieuw slijmvlies in de darmen aangemaakt worden, omdat deze cellen ernstig beschadigd of dood zijn; sterfte binnen een week
>50	centraal zenuwstelselsyndroom: de zenuwcellen sterven en kunnen niet vervangen worden; sterfte binnen enkele uren tot dagen

Als voorbeeld: bij een niet-afgeschermd 500 TBq kobalt-60-bron ontvangt een omstander op 1 meter afstand al binnen enkele minuten een dodelijke dosis (ook wel lethale dosis genoemd, afgekort tot LD).

Als het lichaam *gedeeltelijk* bestraald is met een hoge dosis straling, kunnen de effecten veel minder ernstig zijn. De aanmaak van bloedcellen in de niet-bestraalde delen van het beenmerg kan dan gewoon doorgaan en er is dan voldoende capaciteit om dit op te vangen. Dit geldt niet als bij zo'n gedeeltelijke bestraling vitale organen beschadigd raken. Bij gedeeltelijk blootgestelde delen van het lichaam ontstaan na enkele uren brandwonden.

Ons lichaam kan alleen in zeer uitzonderlijke gevallen aan een hoge dosis ioniserende straling worden blootgesteld. De behandeling van kanker is een bekend voorbeeld, het lichaam wordt dan plaatselijk met een hoge dosis bestraald. Dit gebeurt met tussenpozen en in kleinere fracties. Dit leidt (meestal) tot het verschrompelen van de tumor. Hierbij wordt straling dus bewust toegepast.

Maar ook bij ongelukken met kernenergiecentrales kunnen hoge stralingsniveaus voorkomen als zeer grote hoeveelheden radioactieve stoffen vrijkomen. Dit was het geval in Tsjernobyl en Fukushima. Daar is gebleken dat hulpverleners die dichtbij de reactor ingezet worden een relatief hoge dosis kunnen oplopen. De kans op een incident van deze omvang is zeer klein. Incidenten waarbij ioniserende straling vrijkomt zullen meestal een zeer lage stralingsbelasting voor de hulpverleners opleveren. Door het gebruik van meetapparatuur wordt gezorgd dat de dosis die hulpverleners oplopen beperkt blijft.

## 4.2 Stochastische effecten

Bij een lagere dosis ioniserende straling ontstaan geen deterministische effecten, maar na verloop van tijd kunnen wel stochastische (kansgebonden) effecten optreden. Het belangrijkste stochastische effect is een verhoogde kans op kanker. Eventuele stochastische



effecten openbaren zich pas jaren na blootstelling. Voor de typische latentietijd (de tijd tussen het oplopen van de dosis en het optreden van een ziekte) van leukemie wordt 3 tot 10 jaar aangehouden en voor die van solide tumoren 25 jaar; de verdeling is echter heel breed.

Blootstelling aan een lage dosis ioniserende straling verhoogt **de kans** op het ontstaan van kanker. Blootstelling aan straling betekent dus niet dat er kanker ontstaat. Sterker nog, de kans dat dat niet gebeurt is veel groter dan de kans dat het wel gebeurt. Het is als principe vergelijkbaar met het kopen van loten in een loterij, hoewel men in een loterij wel hoopt te winnen en bij bestraling natuurlijk niet. Veel loten kopen vergroot de kans op het winnen van een prijs. Toch kan het voorkomen dat iemand met slechts één lot de hoofdprijs wint en een ander met vele tientallen loten helemaal niets krijgt. Overigens geldt voor lage doses (vergelijkbaar met de jaarlijkse stralingsbelasting) dat de kans op het ontstaan van kanker niet aantoonbaar hoger ligt dan de kans op het 'normale' ontstaan van kanker.

In de eerste helft van de twintigste eeuw werden cijfers en wijzers van uurwerken met de hand geschilderd met een radiumhoudende verf, zodat de klok in het donker afgelezen kon worden. Dit werk werd vaak gedaan door jonge vrouwen. Zij brachten de verf aan met een penseeltje dat zij met de mond spitsten. Zo kregen deze vrouwen schadelijke hoeveelheden radioactief radium binnen. Een opmerkelijk groot aantal zogenoemde 'dial painters' is gestorven aan de gevolgen van botkanker. Blootstelling aan straling speelde hierbij een rol.

Samengevat komt het hierop neer:

- > iedereen heeft kans op kanker, wel of niet blootgesteld aan ioniserende straling
- > bij een hogere dosis wordt de kans op kanker groter; de kans op kanker is 4% per Sv (voor volwassen werknemers)
- > over het type kanker dat zich ontwikkelt is weinig bekend; dat varieert.

### 4.3 Inwendige besmetting

Radionucliden die iemand heeft ingeademd of opgegeten zullen geheel of gedeeltelijk opgenomen worden in bepaalde organen en weefsels van het lichaam. Iedere keer als er daarna in het lichaam een radioactief deeltje vervalt, wordt er straling uitgezonden en (deels) geabsorbeerd.  $\alpha$ -deeltjes kunnen lokaal zwaardere schade aan het DNA toebrengen dan  $\beta$ -deeltjes en fotonen door de grootte van de deeltjes en de lading. Bij inwendige besmetting worden organen gedurende langere tijd bestraald. Hoe lang dat precies is, heeft te maken met de halfwaardetijd van de radioactieve stof en de tijd die het lichaam nodig heeft om die stof kwijt te raken. Maar in sommige gevallen vindt er na een éénmalige inname zelfs levenslang interne bestraling plaats. Bij een inwendige besmetting kan een aantal algemene maatregelen genomen worden:

- > tegengaan van opname van de stof in het lichaam (bijvoorbeeld door toedienen van actieve kool, laten braken, spoelen van neus en keel, et cetera)
- > bevorderen van de eliminatie (het verwijderen) van de stof uit het lichaam (bijvoorbeeld vocht toedienen bij besmetting met tritium, maar ook na een medische behandeling met radioactieve vloeistof)
- > symptoombestrijding.

## 4.4 Medische behandeling

Een specifieke behandeling die gericht is op de aard van de opgenomen radioactieve stof is maar zelden mogelijk. Alleen voor de volgende radionucliden zijn gerichte maatregelen te nemen:

- > Bij inwendige besmetting met radioactief jodium kunnen kaliumjodaat- of kaliumjodidetabletten voorgeschreven worden (jodiumprofylaxe). Het innemen van jodiumtabletten zorgt ervoor dat de schildklier verzadigd wordt door stabiel jodium, zodat radioactief jodium niet opgenomen wordt. Dit is alleen zinvol als dit kort vóór of binnen enkele uren na de besmetting gebeurt en alleen voor jongere mensen (< 40 jaar).
- > Bij besmetting met radioactief cesium kan Pruisisch of Berlijns Blauw worden toegediend, om absorptie in het lichaam te verhinderen.
- > Bij besmetting met plutonium en americium kunnen chelatoren de uitscheiding van het metaal uit het lichaam bevorderen. Chelatoren zijn stoffen die metalen binden, bijvoorbeeld di-ethyleentriaminepenta-azijnzuur (DTPA) dat plutonium bindt.

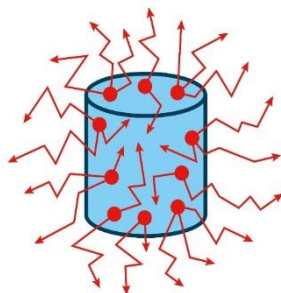
# 5 Blootstellingspaden voor radioactieve stoffen

Bij incidenten met radioactieve stoffen maken we onderscheid tussen incidenten waarbij de radioactieve bron wel of niet open is. Als de verpakking niet beschadigd is of de omhulling aanwezig is, spreken we van een gesloten bron; de radioactieve stof blijft in de bron. Als de verpakking of omhulling beschadigd of niet aanwezig is, hebben we te maken met een open bron; de radioactieve stof kan dan vrijkomen in de omgeving.

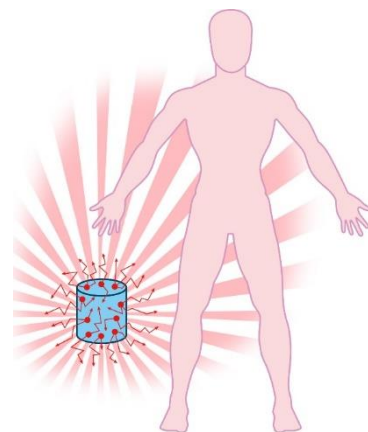
## 5.1 Incidenten met een gesloten bron: externe straling

Zolang de omhulling of verpakking van een gesloten radioactieve bron intact is, kan alleen  $\gamma$ -straling vanwege het grote doordringend vermogen buiten de bron een stralingsveld veroorzaken (Figuur 5.1). Een persoon kan dan aan externe straling worden blootgesteld; in de volksmond ook wel 'bestraling' genoemd. De radioactieve stoffen en zowel  $\alpha$ - als  $\beta$ -straling komen, vanwege de beperkte dracht, dus niet vrij uit de bron. De stralingsbron bevindt zich buiten het lichaam en personen kunnen dus alleen extern bestraald worden over het hele lichaam (zie Figuur 5.2). Als de stralingsbron verwijderd of afgeschermd wordt, of als de persoon weggaat, houdt de bestraling op.

Personen die bestraald zijn, worden NIET radioactief en zijn niet in contact geweest met een gevaarlijke stof en kunnen NIET besmet raken. Zij hoeven dus niet schoongemaakt te worden! De stralingsbelasting is afhankelijk van de bronsterkte, de afstand tussen de bron en de persoon, de afscherming (inclusief persoonlijke beschermingsmiddelen) en de blootstellingstijd.



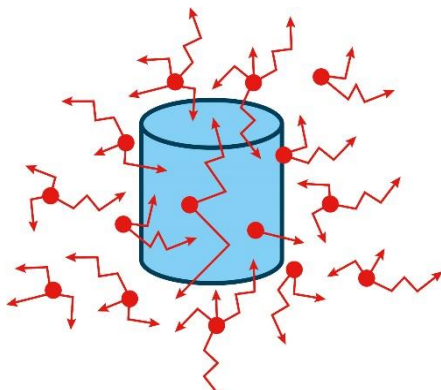
**Figuur 5.1** Gesloten bron: radioactieve deeltjes blijven in de bron, alleen externe straling buiten bron



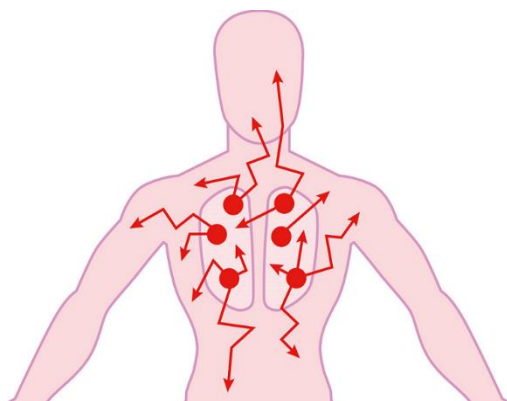
**Figuur 5.2** Persoon bevindt zich in extern stralingsveld: GEEN direct contact met radioactieve stof en GEEN besmetting

## 5.2 Incidenten met een open bron: besmetting en straling

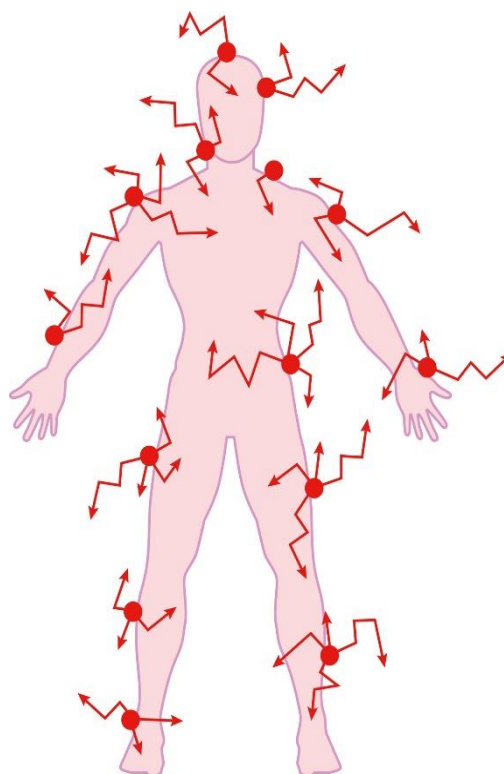
Bij een beschadigde, open bron (bijvoorbeeld bij een kernongeval of een terroristische aanslag met een 'vuile' bom), verspreidt het radioactief materiaal zich in eerste instantie in de lucht (zie Figuur 5.3). Radioactieve deeltjes in lucht zijn eigenlijk kleine stralingsbronnen, ze zenden ioniserende straling uit. Bij een open bron is dus, net als bij een gesloten bron, altijd sprake van externe straling.



**Figuur 5.3** Open bron: radioactieve deeltjes komen buiten de bron, zowel externe straling als radioactieve stof buiten bron



**Figuur 5.4** Inwendige besmetting én bestraling door inademing (inhalatie)  
NB: inwendige besmetting is ook mogelijk via het maag-darmkanaal of door de huid (hier niet getekend)



**Figuur 5.5** Uitwendige besmetting én bestraling op het lichaam

De vrijgekomen radioactieve stoffen kunnen ingeademd of ingeslikt worden (via besmet voedsel of drinkwater) en komen zo in het lichaam (zie Figuur 5.4). Er ontstaat zo direct contact tussen de radioactieve stof en menselijke cellen IN het lichaam: dit is inwendige besmetting door inademing of inslikken. De  $\alpha$ - en/of  $\beta$ -deeltjes kunnen dan vrijwel ongehinderd de cellen binnendringen en deze beschadigen. Vooral jodium dat in de schildklier gaat zitten en cesium dat zich via het bloed verspreidt over alle organen, zijn gevaarlijke isotopen.

Inwendige besmetting kan NIET afgespoeld of verwijderd worden. Afhankelijk van de chemische samenstelling van de radioactieve deeltjes zal een deel het lichaam via uitscheiding (uitademing, zweten, urine en ontlasting) verlaten, maar het gedeelte dat achterblijft zal het lichaam langdurig van binnenuit bestralen.

Na verloop van tijd zullen de radioactieve deeltjes neerslaan, waardoor de omgeving met alle aanwezige personen, dieren, en objecten, besmet kan worden. Neergeslagen radioactieve deeltjes in de omgeving wordt ook wel 'fall-out' genoemd.

Radioactieve stoffen kunnen ook op het lichaam (huid, slijmvliezen, haren) of kleding terecht komen en daar achterblijven (zie Figuur 5.5). Ook hier ontstaat direct contact tussen de radioactieve stoffen en menselijke cellen, maar buiten het lichaam: dit is uitwendige besmetting. Eenmaal op het lichaam kan de radioactieve stof ioniserende straling uitzenden en vindt bestraling van buitenaf plaats. Dit kan 'verbranding' van de huid veroorzaken als de intensiteit voldoende hoog is. Uitwendige besmetting kan eenvoudig verspreid worden door contact met andere objecten of personen. Uitwendige besmetting moet afgespoeld of verwijderd worden! Het meest effectief is snel uittrekken van besmette kleding (niet over het hoofd!), omdat de externe bestraling dan snel verminderd wordt.

Via wonden kan uitwendige besmetting het lichaam binnendringen en zo leiden tot een inwendige besmetting. Van tritium en jodium is bekend dat deze radioactieve stoffen door de intacte huid kunnen dringen. Besmetting is gevaarlijk bij alle soorten radioactieve stoffen.

Neergeslagen materiaal kan opnieuw in de lucht vrijkomen, bijvoorbeeld door opwarrelen. Dit wordt ook wel resuspensie genoemd. Resuspensie kan opnieuw inwendige besmetting veroorzaken (door inademing, inslikken of binnendringen door de huid). Vooral in een droge stoffige omgeving is dit relevant.

### 5.3 Samenvatting blootstellingspaden

De mogelijke blootstellingspaden zijn dus:

1. *Externe straling*: directe blootstelling aan externe straling, stralingsgevaar
  - a. vanuit een wolk met radioactieve deeltjes
  - b. vanuit de omgeving door radioactieve deeltjes die neergekomen zijn
2. *Uitwendige besmetting*:
  - a. *direct of primair*: neerslaan van radioactieve deeltjes op personen. Deze personen worden uitwendig besmet en extern bestraald.
  - b. *indirect of secundair (via-via)*:
    - i. door onderling aanraken kunnen personen elkaar uitwendig besmetten
    - ii. door resuspensie kunnen personen uitwendig besmet worden

3. *Inwendige besmetting:*

- a. *direct of primair:* door inademing van radioactieve deeltjes
- b. *indirect of secundair (via-via):*
  - i. via wondjes kan besmetting het lichaam binnendringen: uitwendige besmetting leidt zo tot inwendige besmetting
  - ii. via hand-mond-contact kunnen radioactieve deeltjes in de mond komen en ingeslikt worden
  - iii. door inslikken van radioactieve deeltjes op besmet voedsel of in drinkwater
  - iv. door resuspensie kunnen personen eerder neergekomen radioactieve deeltjes inademen.

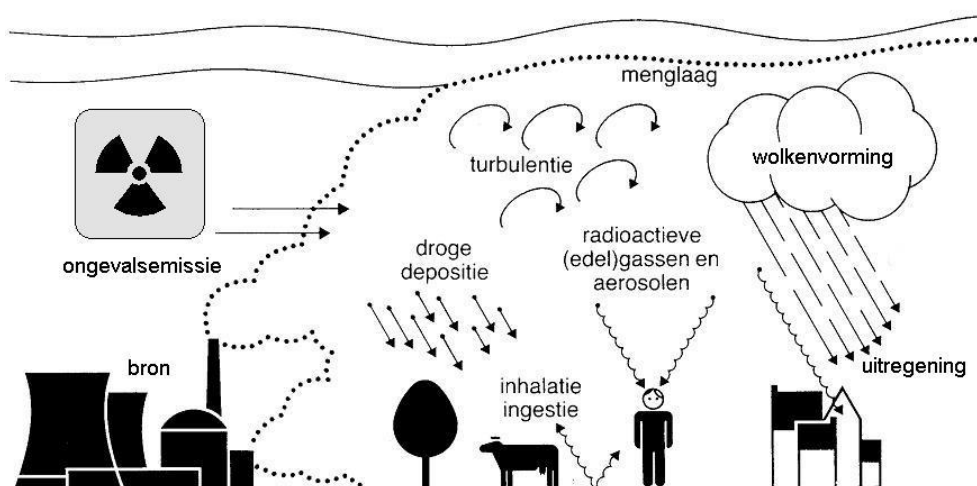
Afhankelijk van de omstandigheden kunnen de verschillende blootstellingspaden gelijktijdig optreden.

Tussen het vrijkomen van stoffen en uiteindelijk het oplopen van een dosis zitten nog vele processen die behoorlijk ingewikkeld kunnen zijn (zie Figuur 5.6). Dit geldt zeker als het gaat om verspreiding van radioactiviteit over een zeer groot gebied (denk daarbij bijvoorbeeld aan Tsjernobyl en Fukushima). Processen die een rol spelen zijn:

- > Pluimstijging die afhankelijk is van de hoogte waarop de lozing plaatsvindt en van de warmte-inhoud van de bron
- > Horizontaal en verticaal transport in de lucht: afhankelijk van de meteorologische ofwel weerscondities, aanwezigheid van bebouwing of obstakels
- > Depositie ofwel het neerslaan van deeltjes: dit is onder andere afhankelijk van de fysische/chemische eigenschappen van de deeltjes, de oppervlakteruwheid van het terrein en de mate van regenval

Er is een groot verschil tussen de depositie bij droog en bij nat weer: tijdens (hevige) regenval kan de depositie van radioactiviteit een factor 10-100 hoger zijn dan onder droge omstandigheden. Bij buiige regen tijdens het overtrekken van de wolk kan dat leiden tot 'hot spots' in het depositiepatroon.

- > Gedrag van personen: verblijf binnen of buiten, bewegen door/in besmette omgeving, gebruik beschermende kleding of adembescherming
- > In een latere fase speelt de voedselketen een rol, omdat de radioactieve stoffen in landbouwproducten terecht kunnen zijn gekomen.



**Figuur 5.6** Schematische voorstelling van de verspreiding van radioactieve stoffen na een stralingsincident in een kernenergiecentrale

## 5.4 Gevaarlijke stoffen versus radioactieve stoffen

Bij het vrijkomen van gevaarlijke stoffen kan de omgeving besmet raken. Personen in die omgeving kunnen de gevaarlijke stof inademen of inslikken. Ook kan de stof op het lichaam (huid, slijmvliezen, haren) terechtkomen. Dit geldt ook voor radioactieve stoffen. De wijze van blootstelling en de blootstellingsroutes voor besmetting zijn hetzelfde. De bescherming tegen blootstelling dus ook!

Het belangrijke verschil tussen radioactieve stoffen en andere gevaarlijke stoffen heeft te maken met de ioniserende straling die radioactieve stoffen uitzenden. Deze straling kan schade aanrichten zonder in direct contact te komen met het lichaam. Voor andere gevaarlijke stoffen is direct contact nodig om gezondheidsschade op te lopen (tenzij het om warmtestraling en drukeffecten gaat).

De bijzondere eigenschappen van radioactieve stoffen kunnen als volgt omschreven worden:

- > Radioactieve stoffen zenden ioniserende straling uit ( $\alpha$ -,  $\beta$ - en/of  $\gamma$ -straling); dit is vaak een combinatie van verschillende soorten straling en niet maar één type.
- > Radioactieve stofdeeltjes zijn kleine stralingsbronnen.
- > Radioactieve stoffen zijn stoffen die verspreid kunnen worden, maar ook ingeademd of ingeslikt kunnen worden en/of op het lichaam terecht kunnen komen (net als andere gevaarlijke stoffen).
- > De blootstelling aan externe straling neemt af door afscherming van de bron, voldoende afstand tot de bron (kwadratenregel) en door er minder lang in de buurt te blijven.
- > Radioactieve stoffen zijn gezondheidsschadelijk als een hoge stralingsdosis wordt opgelopen; meestal is daar een relatief lange blootstellingstijd voor nodig.
- > De stralingsintensiteit van een stralingsbron neemt met een voor die radioactieve stof specifieke snelheid af (halfwaardetijd); de halfwaardetijd kan variëren van fracties van seconden tot miljoenen jaren. Is de halfwaardetijd voor een stof seconden, dan kan de radioactieve besmetting snel verdwenen zijn.
- > Uiteraard neemt een besmetting ook af afhankelijk van de snelheid waarmee de radioactieve stof het lichaam op een natuurlijke wijze verlaat via uitscheiding (eliminatie).
- > Let ook op mogelijk andere gezondheidsschadelijke effecten van de stof; een stof kan bijvoorbeeld naast radioactief ook bijtend zijn.

# 6 Stralingsbescherming

Stralingsbescherming is er op gericht om de risico's van blootstelling aan ioniserende straling te beperken. De Kernenergiewet en de daarop gebaseerde regelgeving bevatten alle wettelijke bepalingen over ioniserende straling in Nederland. In verband met de schadelijke effecten van straling is het altijd belangrijk om de dosis zoveel mogelijk te beperken. In Nederland is de bescherming tegen straling geregeld in het Besluit basisveiligheidsnormen (Bbs). Het Bbs is gebaseerd op Europese regelgeving, waarin aanbevelingen van de Internationale Commissie voor Radiologische Bescherming (ICRP) zijn doorgevoerd. Het Bbs onderscheidt drie blootstellingsituaties: geplande blootstelling, bestaande blootstelling en een radiologische noodsituatie. In een geplande blootstellingsituatie gaat het om de (vooraf) geplande toepassing van een stralingsbron of wijziging van een blootstellingsroute. Een radiologische noodsituatie is een onverwachte blootstelling, waarvoor maatregelen nodig zijn om blootstelling te voorkomen of te verminderen. In een bestaande situatie is de blootstelling al aanwezig op het moment dat een besluit over de controle daarvan wordt genomen. De blootstelling van de bevolking na beëindiging van een radiologische noodsituatie valt hier ook onder, indien niet meer aan de reguliere limieten voor blootstelling van de bevolking kan worden voldaan.

Uitgangspunt van de stralingsbescherming is dat acute effecten moeten worden voorkomen en de kans op kanker zoveel mogelijk beperkt moet worden. Hierbij gelden de grondbeginselen van de stralingsbescherming:

- > **Rechtvaardiging** betreft een afweging van voor- en nadelen voor het invoeren of wijzigen van de blootstelling. Voor geplande situaties (handelingen) wordt een blootstelling geïntroduceerd en dit mag alleen plaatsvinden als dat nut heeft; de voordelen moeten de nadelen overtreffen, de baten moeten opwegen tegen de kosten. In noodsituaties gaat het om het rechtvaardigen van de beschermingsmaatregelen. Doen ze meer goed dan kwaad? Is er een netto positief individueel of maatschappelijk effect? De consequentie is dat in een rechtvaardiging niet alleen radiologische factoren, maar ook sociale en economische factoren in beschouwing worden genomen.
- > **Optimalisatie** is het proces gericht op verdere reductie van de blootstelling; dat wil zeggen dat de kans op blootstelling, de individuele dosis en het aantal blootgestelde personen zo laag als redelijkerwijs mogelijk is worden gehouden. Optimalisatie heeft het ALARA (As Low As Reasonably Achievable)-principe vervangen, maar betekent in feite hetzelfde. Ook in het proces van optimalisatie worden sociale en economische factoren betrokken.
- > **Dosislimitering** wil zeggen dat de door personen ontvangen doses de vastgestelde dosislimieten niet mogen overschrijden; deze limieten zijn zodanig gekozen dat acute effecten worden vermeden en de kans op het ontstaan van kanker wordt beperkt. In een radiologische noodsituatie en in bestaande blootstellingsituaties zijn dosislimieten niet van toepassing en worden referentieniveaus ingevoerd als 'richtlijn' voor de optimalisatie van de bescherming van de bevolking en hulpverleners.

Een referentieniveau (RN) is bedoeld als een hulpmiddel voor de optimalisatie. Het RN is gedefinieerd als een residuele effectieve dosis (acuut of in een jaar); dat wil zeggen een potentiële effectieve dosis over één jaar, rekening houdend met de te verwachten reductie



van dosis na implementatie van maatregelen ter bescherming van de bevolking of herstel van de leefomgeving. Het RN fungeert dan als een 'benchmark' voor de beoordeling van de effectiviteit van het pakket aan maatregelen voor de bescherming van de bevolking. Optimalisatie gaat door totdat de residuele jaardosis zo laag mogelijk onder het referentieniveau komt. In Nederland is het referentieniveau voor de bevolking tijdens een radiologische noodsituatie vastgesteld op 100 mSv. Na afloop van een radiologische noodsituatie is dat 20 mSv. Een residuele effectieve jaardosis van 20 mSv of lager is daarmee een voorwaarde voor een overgang van een radiologische noodsituatie naar een bestaande blootstellingssituatie. De referentieniveaus kunnen overigens op basis van de feitelijke situatie naar beneden worden bijgesteld.

## 6.1 Dosislimitering in een geplande blootstellingssituatie

Bij een geplande blootstellingssituatie gaat het om een bewuste beslissing om een blootstellingssituatie te introduceren of te wijzigen. Rechtaardiging en optimalisatie zijn ook hier van toepassing; er is voldoende gelegenheid om tot een afweging te komen. Dosislimieten zijn ingesteld om te voorkomen dat door een groot aantal individueel gerechtvaardigde handelingen de ontvangen dosis toch ontoelaatbaar hoog wordt. Er zijn dosislimieten voor de bevolking en voor de bijzondere groep van werknemers die beroepshalve werken met ioniserende straling, de zogenaamde blootgestelde werknemers. Voor de bevolking en niet-blootgestelde werknemers geldt een dosislimiet van 1 mSv per jaar. Voorbeelden van planbare blootstellingssituaties zijn het controleren van lasnaden met een  $\gamma$ -bron of de werkzaamheden van een radiologisch medewerker in een ziekenhuis.

## 6.2 Dosisbeperingen voor hulpverleners bij een radiologische noodsituatie

Bij een radiologische noodsituatie valt het personeel van de hulpdiensten, zowel beroepsmedewerkers als vrijwilligers, onder de definitie van een hulpverlener zoals vastgelegd in het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming. Hieronder vallen bijvoorbeeld ook verkenningseenheden van de brandweer. Het Bbs definieert voor deze groep een getrappt systeem van dosislimitering en referentieniveaus. Voor de hulpverleners in een radiologische noodsituatie betekent dit dat in eerste instantie moet worden uitgegaan van een dosislimiet van 20 mSv effectieve dosis, gelijk aan de limiet voor een blootgestelde A-werknemer in een geplande (niet-ongevals)blootstellingssituatie (zie Tabel S6.1). De gedachte hierachter is dat de inzet van hulpverleners tijdens een noodsituatie tot op zekere hoogte gepland kan worden en daarom maatregelen ter voorkoming en vermindering van blootstelling kunnen worden genomen.

Voor radiologische noodsituaties waarin niet aan de dosislimiet kan worden voldaan is in het Bbs een referentieniveau vastgesteld van 100 mSv effectieve dosis<sup>3</sup> voor bijvoorbeeld het ondersteunen of uitvoeren van taken in het kader van openbare orde en veiligheid, het

---

<sup>3</sup> Een aantal personen zijn in het Bbs uitgezonderd van deelname: personen onder 18 jaar, leerlingen, zwangere werknemers en werknemers die borstvoeding geven.

uitvoeren van metingen of het behalen van gezondheidswinst bij een persoon of bevolkingsgroep.

In uitzonderlijke situaties gelden hogere referentiewaarden van 250 en 500 mSv effectieve dosis door uitwendige bestraling van werknemers die als hulpverlener optreden voor het redden of veiligstellen van uitermate grote materiële belangen (250 mSv) en voor levensreddend werk, het voorkomen van ernstige gezondheidseffecten door straling of om de ontwikkeling van catastrofale omstandigheden te voorkomen (500 mSv).

Dosisbeperkingen voor de bevolking (interventieniveaus) worden behandeld in Hoofdstuk 9.

**Tabel 6.1 Referentieniveaus en dosislimiet voor hulpverleners tijdens een radiologische noodsituatie**

Taak	[mSv]
Referentieniveau voor levensreddend werk, het voorkomen van ernstige gezondheidseffecten of ter voorkoming van catastrofale omstandigheden <i>in aanwezigheid van een AGS (stralingsbeschermingsdeskundige op (minimaal) het niveau van Coördinerend Deskundige, CD)</i>	500
Referentieniveau voor het redden of het veiligstellen van uitermate belangrijke materiële belangen <i>in aanwezigheid van een AGS (stralingsbeschermingsdeskundige op (minimaal) het niveau van Coördinerend Deskundige, CD)</i>	250
Referentieniveau voor ondersteuning of uitvoering van metingen, evacuatie, jodiumprofylaxe, openbare orde en veiligheid indien niet aan de 20 mSv dosislimiet voor beroepsmatige blootstelling voor werknemers kan worden voldaan <i>in aanwezigheid van een AGS (minimaal opgeleid als Toezichthoudend Medewerker Stralingsbescherming voor verspreidbare radioactieve stoffen niveau D (TMS-VRS-D))</i>	100
Dosislimiet voor beroepsmatige blootstelling van werknemers die als hulpverlener <sup>1)</sup> optreden in een radiologische noodsituatie <i>in aanwezigheid van een AGS (minimaal opgeleid als Toezichthoudend Medewerker Stralingsbescherming voor verspreidbare radioactieve stoffen niveau D (TMS-VRS-D))</i>	20

1) De 20 mSv geldt in beginsel per jaar, omdat hier feitelijk de reguliere dosislimiet voor radiologisch werknemers van toepassing wordt verklaard.

Hierbij geldt dat een hulpverlener die activiteiten zou kunnen ondernemen waarbij een effectieve dosis van meer dan 100 mSv kan worden ontvangen:

1. vooraf duidelijk en uitvoerig is ingelicht over de gezondheidsrisico's
2. de betreffende activiteit vrijwillig uitvoert
3. de activiteit uitvoert in aanwezigheid van tenminste een Coördinerend Deskundige, CD (dit is een aanvullende eis ten opzichte van het Besluit stralingsbescherming)
4. daarnaast is dosisregistratie per persoon en medisch toezicht geregeld.

Naast de vereisten uit het Besluit basisveiligheidsnormen hanteert de brandweer een aantal aanvullende eisen bij een operationele inzet.<sup>4</sup> Er geldt als inzetprocedure een operationele alarmwaarde bij een dosistempo van 25 µSv/uur en er wordt een dosisbeperking van 2 mSv

<sup>4</sup> Deze aanvullende eisen zijn gebaseerd op oude circulaire's van BZK (EB62-386, EB65-1609, EB81-U1619).

externe straling voor een operationele inzet gehanteerd door de brandweer.<sup>5</sup> De meetapparatuur van de brandweer is hierop afgesteld. De afspraken die hiervoor gelden zijn:

1. Stralingsniveaus  $> 25 \mu\text{Sv/u}$  betekenen dat de situatie ongewoon is.
2. Voor werkzaamheden bij stralingsniveaus  $> 25 \mu\text{Sv/u}$  vraagt de bevelvoerder eerst advies aan de AGS.
3. Bij stralingsniveaus  $> 25 \mu\text{Sv/u}$  mag een bevelvoerder besluiten tot een inzet waarbij mensenlevens gered kunnen worden.
4. De stralingsbelasting die bij een inzet onder leiding van een bevelvoerder mag worden opgelopen door hulpverleners is maximaal 2 mSv per inzet<sup>6</sup>; dit komt ongeveer overeen met de gemiddelde stralingsbelasting per jaar van de bevolking in Nederland (zie Hoofdstuk 3).
5. Bij meerdere inzetten per jaar geldt een maximale totale dosis van 20 mSv per jaar.
6. De bevelvoerder plaatst een opstellijn op minimaal 25 meter bovenwinds van de locatie waar een stralingsniveau van  $25 \mu\text{Sv/u}$  wordt gemeten of daar waar een stralingsniveau  $< 1 \mu\text{Sv/u}$  wordt gemeten met de Automess.
7. De bevelvoerder weegt altijd het resultaat van de inzet af tegen het risico en beperkt de stralingsbelasting tot een minimum (bij voorkeur  $< 25 \mu\text{Sv/u}$ ).

Voor werkzaamheden bij hogere stralingsniveaus en besmettingsgevaar is de aanwezigheid van een stralingsdeskundige vereist. Dit is meestal de AGS die adviseert over de inzet, de risico's en de te nemen maatregelen voor het beperken van de blootstelling (zie hiervoor Hoofdstuk 9). De AGS is minimaal opgeleid tot Toezichthoudend Medewerker Stralingsbescherming voor verspreidbare radioactieve stoffen niveau D (TMS-VRS-D).<sup>7</sup> Voor een inzet met een mogelijke blootstelling aan externe straling boven het referentieniveau van 100 mSv is dat bij voorkeur minimaal een Coördinerend Deskundige, CD (voorheen Niveau 3). De GAGS adviseert, communiceert en geeft voorlichting over de mogelijke gezondheidsrisico's.

De waarde van  $25 \mu\text{Sv/u}$  is gekozen om de grens aan te geven tussen 'normaal' en 'ongewoon'. Vaak wordt deze waarde ten onrechte gezien als de grens tussen 'veilig' en 'onveilig'. De grens van  $25 \mu\text{Sv/u}$  is zeer laag in vergelijking met de dosisbeperkingen die gelden voor een hulpverlener. Overschrijding van de alarmwaarde van  $25 \mu\text{Sv/u}$  of een persoonlijke dosis van 2 mSv is daarom geen argument om af te zien van levensreddende werkzaamheden of andere vormen van spoedeisend handelen waarbij uitermate grote belangen in het geding zijn.

Als operationele vuistregel is de alarmwaarde van  $25 \mu\text{Sv/u}$  echter goed bruikbaar ter bescherming van de hulpverleners zolang blootstelling via inhalatie door afwezigheid van radioactiviteit in de lucht of door afdoende adembescherming kan worden uitgesloten. De alarmwaarde beschermt dan tegen uitwendige bestraling. Als inhalatie niet kan worden

---

<sup>5</sup> Deze dosisbeperking is in 1981 vastgelegd door het ministerie BZK in een circulaire (EB81-U1619) en daarna vertaald in inzetprocedures en les- en leerstof voor de brandweer.

<sup>6</sup> Circulaire EB81-U1619 stelt dat de brandweerstralingsdeskundige inzetten met een stralingsbelasting tot 2 mSv mag leiden. Het verwijderen van besmetting en besmettingscontrole moet vervolgens onder leiding van een (externe) (bedrijfs)stralingsdeskundige niveau C (nu Coördinerend Stralingsdeskundige) plaatsvinden. Dit is in de praktijk vertaald naar de aanwezigheid van een Coördinerend stralingsdeskundige en dat mag een AGS zijn. Formeel vinden deze werkzaamheden plaats onder leiding van de AGS als stralingsdeskundige.

<sup>7</sup> Het stralingsdeskundigheidsniveau is in de praktijk inmiddels aangepast van niveau 3 naar niveau 5b. Dit is dus een lager niveau dan oorspronkelijk bedoeld in de circulaire van BZK. Niveau 5A is niet voldoende omdat dit alleen over toestellen gaat, terwijl 5B ook open en gesloten bronnen bevat.

uitgesloten, kan door inademing een aanzienlijke dosis worden opgelopen zonder waarschuwing van de Automess via de ingestelde alarmwaarde.

# 7 Meten door hulpverleners

De grootste beperking van de meetapparatuur van de brandweer is dat *uitsluitend* de externe straling gemeten wordt! Inwendige besmetting kan de brandweer niet meten; hiervoor is speciale meetapparatuur (de 'whole body counter') nodig. Ook voor het meten van neutronenstraling is speciale apparatuur nodig. Specialistische meetapparatuur is beschikbaar bij enkele onderzoekscentra zoals het RIVM, bij kernenergiecentrales, onderzoeksreactoren, instituten met deeltjesversnellers of losse neutronenbronnen.

We maken onderscheid in verschillende soorten metingen, namelijk:

1. Externe stralingsmetingen
  - a. omgevingsmeting (externe straling): ROMEO-meting
  - b. persoonsdosismeting: DELTA-meting bij elke inzet
2. Uitwendige besmettingsmetingen
  - a. in kaart brengen neergeslagen radioactieve deeltjes, de zogenaamde 'fall out' en/of 'hot spots': FOXTROT-meting (dus meten op oppervlakken)
  - b. besmettingscontrole van mogelijk besmette personen: SIERRA-meting
  - c. besmettingscontrole van hulpverleners: SIERRA-meting (dus meten op personen).

Metingen vinden plaats onder leiding van een brandweerstralingsdeskundige; dit is meestal de AGS. De stralingsdeskundige zal de meetresultaten interpreteren en vertalen naar een inzetadvies. Doel is altijd om het gevareng gebied, het effectgebied en persoonlijke risico's in kaart te brengen.

Dit hoofdstuk is een beschrijving van de meetapparatuur en het werkingsprincipe daarvan; voor de bediening van de meetapparatuur wordt verwezen naar de gebruiks- of instructiekaarten. Voor het verstrekken van een meetopdracht en het rapporteren van meetresultaten zijn meetformulieren beschikbaar (zie *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Operationele handreiking, Meetformulier RA*).

## 7.1 Meten van het gammastralingsniveau

De brandweer maakt gebruik van twee type stralingsmeters, de Automess en de ADOS. Beide meters meten eigenlijk hetzelfde, namelijk het stralingsniveau van  $\gamma$ -straling op de meetlocatie: de externe stralingsdosis (ook wel gammastralingsniveau). Het gemeten gammastralingsniveau kan de dosis met 35% onderschatten, afhankelijk van de manier van kalibreren en de samenstelling van de radioactieve besmetting; de dosis is dan in werkelijkheid hoger. Beide meters meten ook het dosistempo. Meetresultaten kunnen weergegeven worden in Gy of in Sv op het display; voor  $\gamma$ -straling zijn de waarden gelijk (zie paragraaf 2.2).

De brandweer gebruikt de Automess vooral als stralingsmeter voor de omgeving en de ADOS als persoonlijke dosismeter. Bij overschrijding van bepaalde waarden geven de meters een akoestisch en optisch alarm af. De alarmwaarden zijn ingesteld op:

- > dosistempo: 25  $\mu\text{Sv/u}^8$
- > dosis: 2 mSv.

De werkafpraak hiervoor is: markeer de locatie waar het alarm afgaat en keer terug naar de opstelling. Op de achterzijde van de meetapparatuur staat een korte bedieningsinstructie.

### 7.1.1 Automess 6150AD1

De Automess 6150AD1 of het identieke type AD5 of AD6 (zie Figuur 7.1) gebruikt de brandweer voor het meten van het externe dosistempo; deze meter wordt de Automess genoemd. De Automess meet het dosistempo en de opgelopen dosis aan  $\gamma$ -straling (en röntgenstraling). De meter bestaat uit een stalen kast waar de straling op verdunde, geel-gemarkeerde punten doorheen dringt. Met deze meter is het alleen mogelijk om  $\gamma$ -straling te meten omdat het doordringend vermogen van  $\alpha$ - en  $\beta$ -straling te klein is. Het gemeten dosistempo wordt standaard weergegeven op de meetschaal in  $\mu\text{Sv/h}$  (met h van hour = uur). Het meetbereik is 1  $\mu\text{Sv/u}$  tot 999 mSv/u.



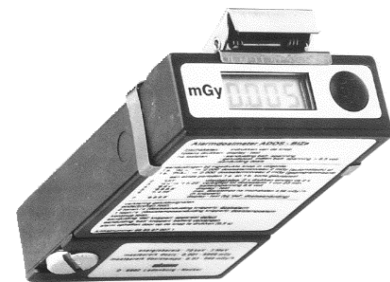
Figuur 7.1 Automess 6150AD1

De Automess kan ook gebruikt worden voor het meten van de opgelopen dosis, maar daarvoor gebruikt de brandweer in principe de ADOS (zie paragraaf 7.1.2). De Automess meet in tegenstelling tot de ADOS de dosis vanaf het moment dat het apparaat wordt ingeschakeld.

De oorspronkelijke AD1 gaf de meetresultaten weer in  $\mu\text{Gy/h}$  en was voorzien van een grijze sticker aan de voorzijde. De meters zijn geactualiseerd waarna de meetresultaten in  $\mu\text{Sv/h}$  worden weergegeven en de meter meestal is voorzien van een gele sticker aan de voorzijde. Inmiddels is de AD1 niet meer leverbaar en wordt vervangen door de AD5; de specificaties, werking en bediening van de AD5 zijn hetzelfde als die van een geactualiseerde AD1. De AD5 is herkenbaar aan de grijze sticker aan de voorzijde met opschrift 6150 AD 5/H.

### 7.1.2 ADOS

Een persoonlijke dosismeter, is een meter die de opgelopen stralingsdosis van iemand meet gedurende een inzet. Voor het meten van de persoonlijke dosis wordt de ADOS gebruikt (zie Figuur 7.2). Deze meter waarschuwt als een bepaalde stralingsbelasting (externe dosis van 2 mSv) bereikt is maar biedt geen bescherming tegen ioniserende straling. De ADOS meet alleen  $\gamma$ -straling. Dat is voldoende, want de werkkleding van de brandweer is voldoende dik om  $\alpha$ - en  $\beta$ -straling af te schermen. Inwendige besmetting komt bij het dragen van bluskleding in combinatie met adembescherming niet voor. De ADOS geeft dus een goed beeld van de opgelopen dosis tijdens een inzet.



Figuur 7.2 ADOS

<sup>8</sup> Dit is voor de ADOS 30  $\mu\text{Sv/u}$  in verband met het meetbereik van deze meter.

De ADOS is meestal niet beschikbaar voor de eerste eenheden, maar wel voor verkenningseenheden. De ADOS wordt *onder* de werkkleding gedragen (vaak in een zak van de uitrukkleding), omdat op die plaats het beste de werkelijk opgelopen externe dosis gemeten kan worden. Het alarm moet natuurlijk wel te horen zijn! Een bijkomend voordeel is dat de dosismeter daar beschermd is tegen vuil, water en verlies. Vaak wordt per team van twee personen één dosismeter uitgereikt.

De meetschaal van de ADOS is in mGy. Voor  $\gamma$ -straling is dit gelijk aan mSv, want de stralingsweegfactor is 1. Het meetbereik is 0,001 - 9999 mGy. Op het display in Figuur 7.2 staat de waarde 0,005 mGy, dat is dus 5  $\mu$ Gy. Het is belangrijk om de beginstand van de meter voor de inzet te (laten) noteren. De ADOS telt namelijk door en kan niet op 0 worden gesteld. Zorg ook dat geregistreerd wordt wie welke meter meeneemt. Na controle moet de meter ingenomen worden, het meetresultaat uitgelezen en geregistreerd op een registratieformulier voor de hulpverlener (= standaardprocedure). Zie hiervoor *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Operationele handreiking, Registratie persoon*.

De ADOS meet niet alleen de dosis maar ook het dosistempo. Bij overschrijding van de alarmwaarde voor het dosistempo geeft de ADOS een alarm af.

## 7.2 Externe sondes

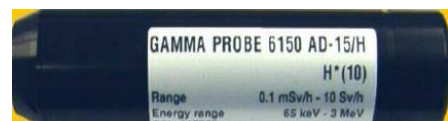
De Automess kan uitgebreid worden met verschillende sondes. De brandweer maakt gebruik van sondes om de gevoeligheid van de meter aan te passen voor het meten van hoge of lage dosistempo's en van sondes waarmee oppervlaktebesmetting gemeten kan worden. Ook om  $\alpha$ - en  $\beta$ -straling te kunnen meten is een externe sonde nodig, zie hiervoor paragraaf 7.3. Een sonde wordt via de sondekabel gekoppeld aan de Automess (zie Figuur 7.3).



Figuur 7.3 Sonde via sondekabel aangekoppeld

### 7.2.1 Sonde 6150AD-15: $\gamma$ -sonde, hoog bereik

De AD-15 (zie Figuur 7.4) wordt gebruikt voor het meten van hoge stralingsniveaus  $\gamma$ -straling. Het bereik is 0,1 mSv/u tot 10 Sv/u. Het energie bereik is 65 keV – 3 MeV. Het alarmniveau voor het dosistempo bedraagt 0,1 mSv/u. Ook kan de totaal opgelopen dosis bepaald worden.



Figuur 7.4 Sonde AD-15

Dergelijk hoge stralingsniveaus zijn alleen mogelijk in zeer extreme situaties zoals bij een uitstoot van een kernenergiecentrale.

### 7.2.2 Sonde 6150AD-18: $\gamma$ -sonde, laag bereik

De AD-18 (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) wordt gebruikt als de AD1 geen of onvoldoende uitslag geeft. Deze sonde is namelijk veel gevoeliger en heeft een meetbereik van 0,1  $\mu\text{Sv/h}$  – 10 mSv/h. Het energiebereik is 65 keV – 1.3 MeV. Het alarmniveau voor dosistempo bedraagt 1  $\mu\text{Sv/u}$ . Ook kan de totaal opgelopen dosis bepaald worden.



Figuur 7.5 Sonde AD-18

## 7.3 Oppervlaktebesmettingsmetingen

Het meten van  $\alpha$ - en  $\beta$ -straling is vooral van belang als de radioactieve stof zich aan een oppervlak gehecht heeft. Door de beperkte dracht van de ioniserende straling zijn  $\alpha$ - en  $\beta$ -stralers op grotere afstand niet schadelijk voor de gezondheid. Om  $\alpha$ - en  $\beta$ -straling te meten wordt een oppervlaktebesmettingsmonitor gebruikt; hiermee kan uiteraard ook  $\gamma$  straling gemeten worden. Een besmettingsmonitor meet de externe straling in lucht veroorzaakt door de radioactieve besmetting op het te controleren oppervlak. De meting wordt uitgevoerd op korte afstand van dit oppervlak; voor  $\alpha$ -straling is dit 2 mm en in andere gevallen 1 cm.

Een besmettingsmonitor registreert de radioactieve besmetting in aantal tikken per seconde of counts per second (cps). Op het display wordt dit aangegeven met  $\text{s}^{-1}$ . Elke tik geeft de absorptie van stralingsenergie weer. Als bekend is om welke radionuclide het gaat en wat de efficiency van de meter voor die radionuclide is, kan omgerekend worden hoe groot de oppervlaktebesmetting is (in  $\text{Bq/cm}^2$ ).

Besmettingsmonitoren zijn gevoelig afgesteld. Het meten van besmetting is alleen mogelijk als er geen andere ioniserende straling in de omgeving aanwezig is dan de straling die van de besmetting afkomstig is. Aan deze voorwaarde wordt niet voldaan als de achtergrond te veel besmet is of als iemand kort geleden een medische behandeling met radioactieve stoffen heeft ondergaan.

### 7.3.1 Sonde 6150AD-17:

#### $\alpha\beta\gamma$ -sonde, besmettingsmonitor, klein meetoppervlak

De sonde AD-17 (zie Figuur 7.6) bevat een venster op de sondekop die deeltjesstraling doorlaat. Met de sonde AD-17 kan  $\alpha$ -,  $\beta$ - en (beperkt)  $\gamma$ -straling gemeten worden, mits de plastic kap van de sonde verwijderd wordt. Op het moment dat de sonde wordt aangesloten, verandert de meetschaal en worden vorige meetresultaten gewist (zie Figuur 7.7). Het meetbereik is  $0,01 \text{ s}^{-1}$  -  $9,999 \text{ ks}^{-1}$  (= 9999 cps) en het alarmniveau is  $1 \text{ s}^{-1}$ . De achtergrondstraling is afhankelijk van de locatie en bedraagt  $0,1 - 1 \text{ s}^{-1}$  gemeten met de AD-17.





Figuur 7.6 Automess met AD-17



Figuur 7.7 Display met sonde AD-17 met  $2,06 \text{ kS}^{-1} = \text{ong. } 2000 \text{ cps}$ ; in de linkerbovenhoek van het display staat de gebruikte sonde

### 7.3.2 Sonde 6150AD-k:

#### $\alpha\beta\gamma$ -sonde, besmettingsmonitor, groot meetoppervlak

De sonde AD-k (k van het Duitse Kontamination) heeft een veel groter oppervlak en is ruim 10x gevoeliger dan de AD-17. Deze meter wordt ook wel het 'strijkijzer' genoemd en meet ook besmettingen met een lagere intensiteit (zie Figuur 7.8). Het meetbereik is  $0,01 \text{ s}^{-1}$  tot  $20 \text{ ks}^{-1}$  (= 20.000 cps) en het alarmniveau is 25 cps. Tot  $40 \text{ ks}^{-1}$  registreert de AD-k nog wel tikken maar is de meting minder betrouwbaar.



Figuur 7.8 Automess met AD-k; links de meter in de  $\alpha\beta\gamma$ -sonde met aangesloten kabel en rechts de onderzijde van de sonde zonder kap, het meetoppervlak.

Tabel 7.1 geeft een overzicht van de mogelijkheden van stralingsmeetapparatuur bij de brandweer.

Tabel 7.1 Overzicht van stralingsmeters en sondes

	Meetbereik	Toepassing	Alarmniveau	Beschikbaarheid <sup>1)</sup>
AD1 / 5 (intern)	1 $\mu\text{Sv/u}$ – 999 $\text{mSv/u}$	normaal gebruik	dosistempo: 25 $\mu\text{Sv/u}$ dosis: 2 $\text{mSv}$	TS <sup>2)</sup> , VE, AGS
AD-15	0,01 $\text{mSv/u}$ – 9,99 $\text{Sv/u}$	$\gamma$ -straling: hoog stralingsniveau voor extreme stralingssituaties	dosistempo: 0,1 $\text{mSv/u}$ = 100 $\mu\text{Sv/u}$	AGS
AD-18	0,01 $\mu\text{Sv/u}$ – 9,99 $\text{mSv/u}$	$\gamma$ -straling: grotere gevoeligheid voor laag stralingsniveau; bv. opsporen van bronnen	dosistempo: 1 $\mu\text{Sv/u}$	VE, AGS
AD-17 <sup>3)</sup>	0,01 $\text{s}^{-1}$ – 9,999 $\text{ks}^{-1}$ meetopp: 6,2 $\text{cm}^2$	$\alpha\beta\gamma$ -sonde, lage gevoeligheid / meetoppervlak, besmettingsmeting	aantal tikken/counts: 1 cps	VE, AGS
AD-k <sup>3)</sup>	0,01 $\text{s}^{-1}$ – 40 $\text{ks}^{-1}$ meetopp: 170 $\text{cm}^2$	$\alpha\beta\gamma$ -sonde, grotere gevoeligheid / meetoppervlak, besmettingsmeting, sneller zoeken	aantal tikken/counts: 25 cps	AGS
ADOS	0,001 $\text{mGy}$ – 9999 $\text{mGy}$ 0,03 $\text{mGy/u}$ – 999 $\text{mGy/u}$	persoonsdosismeter	dosistempo: 30 $\mu\text{Sv/u}$ dosis: 2 $\text{mSv}$	VE, AGS

1) TS = tankautospuit, VE = Verkenningseenheid (voorheen meetploeg), AGS = Adviseur gevaarlijke stoffen.

2) Volgens het Branchevoorschrift standaardbepakking brandweervoertuigen is dit een alarmdosismeter: een personendosimeter waarmee nog een aantal dosistempo-alarmniveaus ingesteld kunnen worden; dit mag ook een andere meter dan de AD1 zijn, zoals de ADOS.

3)  $\text{ks}^{-1}$  = 1000 cps.

## 7.4 Landelijk meetnet

### 7.4.1 Nationaal meetnet radioactiviteit (NMR)

Het Nationaal Meetnet Radioactiviteit (NMR) is het nationale stralingsmeetnet. Het NMR is een geautomatiseerd meet- en datacommunicatienetwerk. Het NMR heeft als hoofddoel het vroegtijdig signaleren van grootschalige stralingsincidenten: overschrijding van een drempelwaarde leidt tot een alarmering van het RIVM en/of de veiligheidsregio('s). Na beoordeling van de situatie kan dat leiden tot landelijke opschaling. Tijdens een grootschalig incident levert het NMR een landelijk beeld van de actuele besmetting van bodem en lucht.

Het NMR bestaat uit:

- > een landelijk gespreid netwerk van ruim 165  $\gamma$ -monitoren (zie Figuur 7.9): ongeveer een meetpaal per 25 km<sup>2</sup>. Deze meten continu het  $\gamma$ -stralingsniveau. De meetgegevens komen binnen bij werkstations bij de regionale meldkamers en worden doorgegeven aan de landelijke centrale (bij het RIVM).
- > 14  $\alpha/\beta$ -monitoren. De meetgegevens van deze monitoren worden rechtstreeks aan de landelijke centrale doorgegeven.
- > 1 radionuclide-specifieke monitor die bij het RIVM is geplaatst.



Figuur 7.9 NMR-meetpost

### 7.4.2 Landelijk meetnet radioactiviteit in voedsel (LMRV)

De Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) en het Wageningen Food Safety Research (WFSR) controleren op de radioactiviteit in levensmiddelen. Hiervoor is een landelijk meetnet radioactiviteit in voedsel (LMRV) opgericht en zijn laboratoriumfaciliteiten beschikbaar. Het LMRV netwerk bestaat uit circa 45 vaste meetopstellingen (voedselmonitoren) verspreid over Nederland. Het LMRV wordt beheerd door het WFSR en meet vier productgroepen:

1. melk(producten),
2. vlees, vis en schelpdieren
3. groente, fruit, granen en afgeleide producten
4. land- en tuinbouwgronden, gras, kuilvoer, organische meststoffen en bassinwater.

### 7.4.3 Oppervlaktewater en drinkwater

Rijkswaterstaat (RWS) en de waterschappen controleren op de besmetting van oppervlaktewater, zwevend slib, waterbodems, aquatische organismen en zuiveringsslib van rioolzuiveringsbedrijven. RWS voert zo nodig maatregelen uit en adviseert over het minimaliseren van besmetting. Op een aantal strategische locaties (bij grensovergangen en drinkwaterinlaatpunten) wordt het radioactiviteitsniveau periodiek bepaald. De besmetting van drinkwater wordt gecontroleerd door de drinkwaterbedrijven. Ingeval van een geconstateerde besmetting, of preventief, kan de inname van water voor de productie van drinkwater worden stilgelegd.

## 7.5 Meetstrategie bij kernongevallen

Het meten bij kernongevallen is een omvangrijke en complexe taak. Het effectgebied bij de zwaardere kernongevallen kan groot zijn (mogelijk tot wel 100 kilometer of verder van de bron) en er kan sprake zijn van grote dynamiek in lozing en weersomstandigheden. Het doel van meten in het veld tijdens en na een grootschalig stralingsincident is in eerste instantie het beschermen van de bevolking tegen stralingsrisico's. Met de meetresultaten kunnen prognoses van de verspreiding getoetst worden en kan een inschatting gemaakt worden van de dosis die per tijdsperiode door leden van de bevolking wordt opgelopen. Op basis daarvan kan worden berekend of en waar interventieniveaus kunnen worden overschreden en kunnen besluiten over beschermende maatregelen worden genomen om de dosis voor de bevolking te beperken. Daarnaast is het belangrijk om de daadwerkelijke blootstelling van de bevolking vast te kunnen stellen voor verantwoording achteraf en het instellen van latere maatregelen.

Maatregelen voor de bescherming van de bevolking worden beoordeeld op basis van vooraf vastgestelde interventieniveaus uitgedrukt in effectieve of equivalente dosis. De ontvangen dosis is een optelsom van alle blootstellingen door inhalatie, ingestie en externe straling door een voorbijtrekkende radioactieve wolk en besmette bodem. De effectieve en equivalente dosis worden door de meetapparatuur van de brandweer niet rechtstreeks gemeten, maar worden uit modelberekeningen afgeleid. Hiervoor zijn aanvullende specialistische metingen van onder andere de nuclidesamenstelling benodigd. Al deze radiologische metingen zijn daarom onderdeel van een landelijke meetstrategie bij kernongevallen. Hierin zijn de brandweer, defensie en het RIVM vertegenwoordigd. De landelijke meetstrategie voor kernongevallen is opgesteld voor de urgente (voor en tijdens de lozing) en (deels) de vroege fase (direct na de lozing) van de respons op een kernongeval en behandelt de meetinspanningen vanaf het moment van dreiging op een radioactieve lozing, de periode van de lozing, waarin een radioactieve wolk het effectgebied passeert, en de periode direct na de lozing als het effectgebied in kaart wordt gebracht.

Verkenningseenheden van de brandweer worden ingezet voor het bepalen van externe stralingsniveaus, oppervlaktebesmettingen in stedelijk gebied en mogelijk ook voor het meten van uitwendige besmetting van personen. De meetplannen tijdens de drie responsfasen worden hieronder kort geschetst. Uitwendige besmettingsmetingen en ontsmetting zijn momenteel geen onderdeel van de meetstrategie en worden behandeld in hoofdstuk 9.

# 8 Stralingsincidenten

Stralingsincidenten worden onderverdeeld in twee categorieën: incidenten met categorie-A- en met categorie-B-objecten. Bij een (dreigend) incident met een categorie-A-object ontstaat er bestuurlijk, maatschappelijk en operationeel een complexe situatie, omdat bij dit type stralingsincident regio-overstijgende effecten te verwachten zijn. De bestrijding van een incident met een A-object vereist daarom een andere (landelijke) aanpak en deskundigheid dan incidenten met categorie-B-objecten. Een incident met een categorie-B-object heeft lokale effecten. Een incident met primair lokale fysieke effecten kan wel uitgroeien tot een crisis; de overheid kan dan besluiten over te gaan tot een landelijke aanpak. In dit hoofdstuk vindt u een overzicht van de ongevalsscenario's, zoals deze in het Landelijk Crisisplan Straling (LCP-S) zijn vastgesteld.

## 8.1 A-scenario's

Stralingsincidenten hebben betrekking op objecten van een categorie A- of B-objecten. Een ongeval met een categorie-A-object, een 'A-scenario', kan regio-overschrijdende gevolgen hebben en vraagt om bestuurlijke coördinatie door de Rijksoverheid (zie hiervoor het LCP-S). De betrokken veiligheidsregio's zorgen voor een adequate operationele voorbereiding.

A-objecten zijn:

- > binnenlandse of buitenlandse kernenergie installaties
- > nucleaire onderzoeksreactoren
- > nucleair aangedreven schepen
- > ruimteobjecten met een energievoorziening met radioactieve bron of reactor
- > transporten met nucleair defensiemateriaal.

Bij ongevallen met categorie A-objecten kan het treffen van directe maatregelen zoals evacuatie, schuilen in gebouwen, jodiumprofylaxe en bescherming van de landbouw noodzakelijk zijn. Eén van de grootste stralingsincidenten die kan plaatsvinden is een kernongeval, bijvoorbeeld in de kernenergiecentrale van Borssele. Het slechts denkbare scenario voor een kernenergiecentrale is het smelten van kernbrandstof in combinatie met het falen van het insluitsysteem, waardoor grote hoeveelheden radioactieve stoffen vrijkomen. Overigens is de kans dat een ongeval plaatsvindt uiterst gering, omdat voor kerncentrales strenge veiligheidseisen gelden.

De categorie A-objecten zijn in de Kernenergiewet vastgesteld. Tabel 8.1 laat een overzicht zien van preparatiezones die voor deze objecten zijn vastgesteld. De preparatiezones worden gebruikt voor de operationele voorbereiding op het uitvoeren van beschermende maatregelen. Tot op zekere hoogte zijn de preparatieafstanden voor nucleaire objecten in de grensregio met het buurland geharmoniseerd. Hierdoor worden gemeenschappelijke besluiten over beschermende maatregelen in de grensregio eenvoudiger gerealiseerd. Nederland kent een predistributie van jodiumtabletten voor kinderen tot 18 jaar en zwangeren in de preparatiezone tot 100 km rond de nucleaire objecten Borssele, Doel, Tihange en Emsland, 20 km rond Mol, 3 km rond de reactor in Petten en 0,5 km rond de

reactor in Delft. Voor volwassenen tot 40 jaar is er een predistributie van jodiumtabletten tot 20 km rond Borssele, Doel en Emsland.

**Tabel 8.1 Overzicht A-scenario's met netto vermogen en preparatiezones**

Weergegeven is het object (met de afstand tot de Nederlandse grens), het elektrisch of thermisch vermogen (MWe/MWth), de preparatieafstand schuilen, evacuatie en de preparatiezone jodiumprofylaxe voor kinderen/volwassenen in km, de afstand voor voedselmaatregelen en een schatting van het aantal te ontsmette personen voor controle en mogelijk besmet.

A-object (afstand tot grens)	Vermogen	Preparatie- zone Evacuatie	Preparatiezone Jodium- profylaxe kind / volwassen	Preparatie- zone Schuilen	Aantal schoon te maken per- sonen	Aantal personen besmet- tings- controle
	MWe/MWth	(km)	(km)	(km)		
<b>A1 en A2: Kernenergiecentrales</b>						
Borssele	512 MWe	10 <sup>1)</sup>	100 / 20	20	10	1000-en
Doel (2.8 km)	433 / 433 / 1006 / 1047 MWe	10	100 / 20	20		1000-en
Emsland (20 km)	1400 MWe	-	100 / 20	25		100-en
Mol (10.4 km)	4 / 120 MWth	-	20 / -	20		
Tihange (38 km)	962 / 1008 / 1015 MWe	-	100 / -	-		
<b>A3: Onderzoeksreactoren</b>						
Petten	45 MWth	3	3 / -	3	5	100-en
Delft	2 MWth	-	0,5 / -	0,5	5	100-en
<b>A4: Nucleair aangedreven schepen</b>						
Haven Rotterdam Den Helder	-	< 100 meter	400 meter	700 meter	10	100-en
<b>A5: Transport nucleair defensiemateriaal</b>						
Nederland	-	800 meter <sup>2)</sup>	-	2000 meter <sup>3)</sup>	10	100-en
<b>A7: Moedwillig handelen (vuile bom)</b>						
Nederland	-	400 meter	- / -	2000 meter	10	100-en

1) Voor evacuatie geldt dat de binnenste 5 km voorrang heeft boven het daarbuiten gelegen gebied.

2) Veiligheidszone: altijd ontruimen

3) Alleen bij brand

#### **A1: Binnenlandse kernenergiecentrales**

Borssele is de enige in werking zijnde kernenergiecentrale in Nederland: een incident kan leiden tot de emissie van radioactieve splijtingsproducten in het milieu. Er is een rampbestrijdingsplan en er zijn preparatiezones voor een aantal urgente maatregelen afgesproken. Bij mogelijke schade in een reactorkern wordt 'General Emergency' afgekondigd (dit geldt ook voor A2 en A3).

#### **A2: Buitenlandse kernreactoren**

- > A2a: nabij de Nederlandse grens: hiervoor gelden preparatiezones voor maatregelen.
- > A2b: ver van de Nederlandse grens: bij een zeer ernstig ongeval kunnen maatregelen ter bescherming van voedsel, water en gewassen nodig zijn.

#### **A3: Nucleaire onderzoeksreactoren**

Hoge Flux Reactor (45 MWth) in Petten en de Hoger Onderwijs Reactor (2 MWth) in Delft: bij mogelijke schade in de reactorkern wordt een 'General Emergency' afgekondigd. Hoge Flux betekent een hoge neutronendichtheid; deze is ongeveer 10 keer hoger dan in een kernenergiecentrale.

#### **A4: Nucleair aangedreven schepen**

Mogelijk in de havens van Rotterdam en Den Helder: zeer robuust en de emissie van radioactief materiaal is niet waarschijnlijk. Wel zijn preparatiezones voor maatregelen afgesproken.

#### **A5: Transportongevallen met radiologisch defensiemateriaal**

Bij transportongevallen met nucleair defensiemateriaal bestaat een risico op het vrijkomen van radioactief materiaal. Vooral inademing daarvan vormt een ernstig gezondheidsrisico. Meten op  $\alpha$ -straling is noodzakelijk. Een nucleaire explosie is niet mogelijk. Zie voor verdere informatie paragraaf 8.4.2.

#### **A6: Het neerstorten van nucleaire satellieten**

Bij terugkeren van een satelliet in de atmosfeer kan bij neerstorten de radioactieve brandstof over een groot gebied verspreid worden. Er zijn geen verdere maatregelen vastgesteld.

#### **A7: Moedwillige handelingen met radioactieve bronnen of stoffen**

Deze categorie bestaat uit:

- > A7a: opzettelijke blootstelling van personen aan hoog radioactief materiaal
- > A7b: opzettelijke besmetting op een locatie
- > A7c: vuile bom (Radiological Dispersion Device)
- > A7d: opzettelijke besmetting van voedsel of water
- > A7fe: moedwillig handelen bij een nucleaire inrichting.

Maatregelen zijn afhankelijk van de aard en gevolgen van de handelingen. De aandacht gaat vooral uit naar het opsporen van de bron en het vaststellen van mogelijke besmetting. Voor scenario A7c, de vuile bom, is een werkgebied of hot zone van 400 meter vastgesteld.

## 8.2 B-scenario's

De bestrijding van ongevallen met B-objecten, B-scenario's, is per definitie beperkt van omvang en kan in principe op lokaal of regionaal niveau worden afgehandeld in samenwerking met de deskundigen van het B-object. Ongevallen met B-objecten worden ook wel radiologische ongevallen of incidenten genoemd. De stralingsbelasting voor hulpverleners en leden van de bevolking is bij deze ongevallen meestal beperkt. De noodzaak voor directe maatregelen zoals evacuatie, schuilen of jodiumprofylaxe is niet waarschijnlijk.

B-objecten zijn:

- > installaties voor uraniumverrijking
- > installaties voor de verwerking en opslag van radioactief afval
- > overige locaties met radioactief materiaal of stralingsgevaar
- > transporten met nucleair of radioactief materiaal
- > het aantreffen van radioactieve (zoekgeraakte) bronnen of besmettingen

### **B1: Installatie voor uraniumverrijking**

Urenco Nederland in Almelo verrijkt splijtstof voor nucleaire reactoren. Een ongeval zou kunnen leiden tot besmetting van de locatie zelf, waarbij het stralingsgevaar beperkt blijft tot de medewerkers. Een risico vormt hier het uraniumhexafluoride (UF<sub>6</sub>).

### **B2: Verzamelen, verwerken en opslag van radioactief afval**

COVRA (Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval) in Nieuwdorp (gemeente Borsele) conditioneert en slaat radioactief afval op. Het is zeer onwaarschijnlijk dat een incident 'off-site' effecten heeft.

### **B3: Overige inrichtingen met radiologisch materiaal of stralingsapparatuur**

Dit betreft bijvoorbeeld een radionuclidelaboratorium van een ziekenhuis. Een realistisch scenario is brand waarbij radioactief materiaal zich in de omgeving verspreidt via de rook of het bluswater. Standaard beschermingsmaatregelen zijn hierbij voldoende. In uitzonderlijke gevallen kan het nodig zijn om landbouwmaatregelen te treffen.

### **B4: Transportongevallen met nucleair of radioactief materiaal**

Hierbij gaat het bijvoorbeeld om het vervoer van bronnen of radiofarmaca. De wet- en regelgeving (hiervoor gelden zowel vergunning/meldingsplicht als eisen aan verpakkingen) zorgt ervoor dat bij transport het risico op besmetting bij ongevallen beperkt is.

### **B5: Het aantreffen van radioactieve (zoekgeraakte) bronnen of besmetting**

Omgaan met hoog-radioactieve bronnen zonder bescherming levert gezondheidsrisico's op. Waarschuw in dit geval altijd direct de ANVS via het crisisnummer stralingsincidenten. Bij vermoeden van een kwaadwillende oorzaak (bijvoorbeeld een vuile bom) wordt het incident een A-scenario en als zodanig behandeld.



## Maatgevend scenario

Het maatscenario voor ongevallen met B-objecten is een ongeval gevolgd door brand tijdens het vervoer van enkele honderden pakketten met radiofarmaca (zie Figuur 8.1).

Er is slechts één maatscenario voor ongevallen met B-objecten vastgesteld, omdat de gevolgen van de overige B-scenario's vergelijkbaar zijn. Dit geldt niet voor het gebied waar het dosistempo van 25  $\mu\text{Sv/u}$  overschreden kan worden; dat is het grootst voor het maatgevende scenario. Ook de scenario's voor B-inrichtingen lijken qua gevolgen op het maatscenario. Tabel 8. geeft een indicatie voor de te hanteren veiligheidsafstanden voor het optreden bij B-scenario's.



Figuur 8.1 Vervoer van radiofarmaca

Tabel 8.2 Indicatie voor veiligheidsafstanden voor B-scenario's

Situatie	Veiligheidsafstand	Optreden veiligheidsregio <sup>1)</sup>
Gevareng gebied: gebied direct rond plaats stralingsincident. Hier bevindt zich de bron en vindt bronbestrijding plaats.	25 meter cirkelvormig of uitbreiden tot gebied waar dosistempo van > 2 mSv/u wordt gemeten	Brongebied hot zone extra aandacht voor veiligheid / bescherming hulpverleners
Werkgebied: hier gelden procedurele maatregelen. In dit gebied kunnen noodzakelijke hulpverleningsacties uitgevoerd worden.	100 meter cirkelvormig of uitbreiden tot gebied waar dosistempo van > 25 $\mu\text{Sv/u}$ wordt gemeten	Brongebied hot zone extra aandacht voor veiligheid / bescherming hulpverleners
Aandachtsgebied: benedenwindse deel van de omgeving (vanaf de bron) dat mogelijk besmet is of dreigt te worden.	ongeveer 500 meter benedenwinds te bepalen met de startmal	Effectgebied kan hot, warm of cold zone zijn

1) In de kolom *optreden veiligheidsregio* zijn de benamingen van gebieden vertaald naar de procedure IBGS: het gevareng gebied en het werkgebied vormen samen het brongebied ofwel de hot zone waarbij de grens ligt bij de alarmwaarde van de Automess AD1 van 25  $\mu\text{Sv/u}$ . Het aandachtsgebied is het effectgebied waarbinnen zowel een hot zone, een warm zone als een cold zone kunnen voorkomen; de laatste bijvoorbeeld bij psychosociale gevolgen. Als richtwaarde voor de warm zone kan een grens van 2x het niveau van de achtergrondstraling aangehouden worden. Voor de terminologie wordt verwezen naar de procedure IBGS, zie ook **Fout!**  
**Verwijzingsbron niet gevonden..**

## Overige transportongevallen

Van de onderzochte B-scenario's leiden transportongevallen tot relatief de grootste gevolgen; deze zijn daarom maatgevend. Een ongeval tijdens het vervoer van bestraalde splijtstof komt niet in aanmerking als maatscenario. De kans dat bij dit ongeval radioactieve stoffen vrijkomen of de afscherming wordt beschadigd is namelijk zeer gering.

Een ongeval tijdens het vervoer van uraanhexafluoride,  $UF_6$ , (zie Figuur 8.2) waarbij deze stof vrijkomt, zal een relatief lage dosis tot gevolg hebben en dus een klein effectgebied. De chemische toxiciteit van het waterstoffluoride, HF, dat vrijkomt bij reactie van  $UF_6$  met vocht uit de lucht zal het grootste probleem vormen. Het overgebleven uranylfluoride ( $UO_2F_2$ ) vormt een fijnverdeelde vaste stof en verwaait. Omdat de wet strenge eisen stelt aan de container die bij het vervoer van  $UF_6$  wordt gebruikt is de kans op een emissie klein, ook bij brand. De containers staan tijdens vervoer onder onderdruk en zullen eerst omgevingslucht aanzuigen. Pas als voldoende druk is opgebouwd door de reactie in de container zal HF ontsnappen; dit is te zien aan een witte nevel.



Figuur 8.2 Transport containers met  $UF_6$ , UN 2978

### 8.3 Daadwerkelijk voorgekomen stralingsongevallen en incidenten

#### A-ongevallen

- > 1986: Tsjernobyl: Vrijkomen van een groot deel van de reactorinhoud na een explosie en brand in de reactor. Door de open verbinding van de reactor naar de omgeving zijn dagenlang grote hoeveelheden radioactief materiaal geloosd. Er was sprake van een letale dosis door externe bestraling tijdens werkzaamheden bij de brandende reactor.
- > 1999: Twee arbeiders komen om bij een ongeluk in de uraniumopwerkingsfabriek in het Japanse Tokaimura. Het is de ergste nucleaire ramp na Tsjernobyl (maar voor Fukushima). Medewerkers doen te veel uranium in een tank in een poging tijd te besparen. Meer dan zeshonderd mensen staan bloot aan radioactiviteit en meer dan 320.000 mensen moeten meer dan een dag binnen blijven. Twee arbeiders betrokken bij het incident sterven later in het ziekenhuis aan hun verwondingen (acute stralingsziekte).
- > 2011: Fukushima: Smelten van de kern door een volledige uitval van de koeling na een aardbeving en tsunami. Hulpverleners liepen brandwonden op door externe bestraling.

#### B-incidenten

- > 1987: Goiânia (Brazilië): Ondeskundig ontmantelen van een Cs-137-bron bij de sloop van een ziekenhuis, waardoor de inhoud vrijkwam en (on)bewust verspreid werd, met vier doden en 183 in-/uitwendig besmette personen tot gevolg.
- > 1997: Werkzaamheden bij een nucleaire faciliteit in Tokaimura in het noordoosten van de Japanse hoofdstad Tokio werden gedeeltelijk gestopt na een brand en een explosie waarbij 37 mensen bloot kwamen te staan aan radioactiviteit.

- > 2001: Drie houthakkers vonden in een bos in Georgië twee ingekapselde, maar niet afgeschermd Sr-90/Y-90-bronnen. Het waren zogenaamde RTG's, Radionuclide Thermoelectric Generators. Dit soort apparaten werden in de vroegere Sovjet-Unie vaak gebruikt om in afgelegen oorden elektriciteit op te wekken. Daarbij werd gebruikgemaakt van de warmte die ontstaat bij radioactief verval. Dit type RTG's heeft op het moment van productie een activiteit van 1 tot 15 PBq (Peta is  $10^{15}$ !). Bij het vinden van de bronnen hadden ze allebei nog een Sr-90-activiteit van 1,5 PBq. De bronnen werden zijn meegenomen om als 'straalkachelletje' te gebruiken. Twee mannen lopen hierdoor in korte tijd zeer zware huidwonden op.
- > 2006: Bij een Belgische bestralingsfaciliteit werd een medewerker onbedoeld blootgesteld aan een hoge dosis van 4,5 Gy.
- > Antiek bureau waarop in het verleden een potje radiumhoudende vloeistof was omgevallen, die onzichtbaar geïmpregneerd was in het hout. De geschatte activiteit was 30 MBq aan Ra-226. In de studeerkamer waar het bureau stond, was sprake van een concentratie van 8000 - 9000 Bq/m<sup>3</sup>. Dat is gelijk aan 300 maal de binnenluchtconcentratie en 3000 maal de buitenluchtconcentratie.

Dit zijn uitzonderlijke situaties! Bij de meeste stralingsincidenten blijft de op te lopen stralingsdosis ver beneden de drempeldosis voor acute effecten. Dit geldt ook voor directe omstanders. Bij de vliegcrash in de Bijlmer (1992) heerste onrust over de mogelijke aanwezigheid van verarmd uranium. Gebleken is dat het extra risico op longkanker kleiner was dan 1 op 100 miljoen; dit is dus geen radiologisch incident.

## 8.4 Achtergrondinformatie specifieke A-incidenten

### 8.4.1 Kernreactor

In een kernreactor worden atoomkernen van uranium-235 gespleten; dit wordt de splijtstof genoemd. Bij de kernsplijting komt veel warmte vrij, die meestal wordt opgenomen in water. In een stoomgenerator wordt deze warmte omgevoerd tot stoom. De stoom onder hoge druk (ongeveer 60 bar) wordt gebruikt om via een stoomturbine een elektrische turbo-generator te laten draaien. Zo wordt de warmte van de kernreactor gebruikt om elektrische energie op te wekken. Kernreactoren leveren warmte voor de opwekking van elektriciteit en de voortstuwing van schepen en onderzeeërs. Ze kunnen ook toegepast worden als bron van neutronen voor bijvoorbeeld onderzoeksdoelinden of voor het bereiden van diverse radioactieve isotopen voor nucleaire geneeskunde of industrieel gebruik.

Het splijten van uranium-235 vindt plaats in een complexe installatie waaraan hoge veiligheidseisen worden gesteld. Het proces is een nucleaire kettingreactie van kernsplijtingen dat zichzelf in stand houdt en goed geregeld moet worden, omdat deze anders uit de hand loopt. Het kernsplijtingsproces vindt plaats onder gecontroleerde en stabiele omstandigheden.

Bij een ernstig A-incident gaat het in bijna alle gevallen om technisch of menselijk falen (of een combinatie van beide) dat leidt tot onvoldoende koeling. Door oververhitting van de splijtstofstaven kan het splijtstofmateriaal vrijkomen. Binnen de installatie zijn nog vele barrières die moeten voorkomen dat radionucliden bij een incident vrijkomen in het milieu. Het is daarom moeilijk te voorspellen wat er precies vrijkomt en op welk tijdstip de emissie plaatsvindt.

## 8.4.2 Nucleair en radiologisch defensiemateriaal

Militaire transporten met nucleair of radiologisch defensiemateriaal kunnen op of boven Nederlands grondgebied plaatsvinden. Ondanks alle veiligheidsmaatregelen kunnen transportmiddelen betrokken raken bij een ongeval. Het meest complexe scenario daarbij is een crash van een militair transporttoestel dat nucleair of radiologisch defensiemateriaal vervoert.

Het mogelijke gevolg van een ongeval is de verspreiding van gevaarlijke stoffen in het milieu. In defensiemateriaal kunnen alfastralers aanwezig zijn; deze kunnen bijvoorbeeld via brand in de lucht verspreiden. Inademing daarvan vormt een ernstig gezondheidsrisico. Een nucleaire explosie van defensiemateriaal is echter niet mogelijk.

Bij ongevallen met militaire (transport)vliegtuigen zijn er bijkomende gevaren die de incidentbestrijding complexer maken, namelijk brandgevaar (kerosine), koolstofcomposiet, aanzuigen straalmotoren, gas-aangedreven brandblussystemen, zelfbeschermingsmiddelen (lichtkogels en radar-storingsmunitie), explosief aangedreven systemen (schietstoel(en)) en handvuurwapens en munitie. Daarnaast bevat de overlevingsuitrusting van vliegtuigbemanningen veel licht explosief materiaal.

Maatregelen bij een transportongeval met nucleair of radiologisch defensiemateriaal zijn (zie Tabel 8.):

- > schuilen in een straal van 2 kilometer benedenwinds van de crashlocatie
- > ontruimen van een zone van 800 meter rondom de incidentlocatie als dit veilig kan en op advies van de AGS; deze zone wordt de veiligheidszone genoemd.

Bovenstaande maatregelen zijn eerste maatregelen die getroffen worden. Ontruiming van de veiligheidszone vindt plaats op advies van de AGS. Ontruim bij brand niet door de rook/pluim, maar laat zo nodig schuilen totdat de brand geblust is. De AGS geeft advies over de afbakening van de veiligheidszone, het tijdstip van ontruimen en het gebruik van eventuele beschermende middelen. De maatregel schuilen wordt zo snel mogelijk door de AGS ingesteld in geval van brand of een vermoeden dat radiologisch materiaal kan zijn vrijgekomen.

Het optreden bij transportongevallen met radiologisch defensiemateriaal is vergelijkbaar met het optreden bij incidenten met gevaarlijke stoffen. In eerste instantie hebben de lokale autoriteiten de verantwoordelijkheid voor de rampenbestrijding. De prioriteiten van de lokale hulpverleningsdiensten zijn het bepalen van veilig en onveilig gebied, het redden van levens en het (zo nodig) bestrijden van de brand. Hierbij moet gemeten worden op bodembesmetting met  $\alpha$ 's (Automess met sonde AD-17 of AD-k) en (indien mogelijk) laag-energetische  $\gamma$ -straling. Tijdens het optreden wordt gebruik gemaakt van bluskleiding en adembescherming, eventueel aangevuld met een vuilwerkpak. Let hierbij op mogelijke besmetting met en verspreiding van gevaarlijke stoffen en tref zo nodig schoonmaakmaatregelen (zie paragraaf 9.3.3).

Als een transportongeval met radiologisch defensiemateriaal plaatsvindt, zal de lokale brandweer specifieke instructies ontvangen over de te hanteren bestrijdingstactiek en te nemen veiligheidsmaatregelen. Als uitgangspunt kan gehanteerd worden: bij brand zo snel mogelijk blussen en de lading zo snel en lang mogelijk koelen. Bijstelling van de schuilzone vindt plaats op basis van analyses van het Crisis Expert Team straling en nucleair

(CETsn). Deze analyses worden gebaseerd op meteorologische omstandigheden (bijstelling sectoren) of radiologische metingen (schuilafstanden).

**Tabel 8.3** Initiële maatregelen bij een ongeval met radiologisch defensiemateriaal of een vuile bom

Scenario	Veiligheidszone ontruimen rondom	Schuilzone rondom	Jodium-profylaxe
Crash militair transporttoestel mogelijk met nucleair of radiologisch defensiemateriaal	800 meter <sup>1)</sup>	2 km <sup>2)</sup>	n.v.t.
Vuile bom	400 meter	2 km	n.v.t.

1) Als dit veilig kan, niet door de rook/pluim: advies AGS.

2) In sectoren benedenwinds en alleen bij brand of bij vermoeden van vrijkomen van radioactieve stoffen.

### 8.4.3 Vuile bom

Moedwillige incidenten met radioactieve stoffen kunnen plaatsvinden door bijvoorbeeld sabotage, een aanslag in inrichtingen waar radioactieve stoffen zijn opgeslagen (laboratoria, ziekenhuizen, industrie) of tijdens een transport van radioactieve stoffen. Kleine hoeveelheden radioactief materiaal kunnen ook vanuit een vliegtuig worden verspreid, gebruikt worden om voedsel of water te besmetten of in een vuile bom worden verwerkt.

Radioactieve materialen die geschikt zijn gemaakt voor en gebruikt worden om schade toe te brengen aan mensen en omgeving worden radiologische strijdmiddelen genoemd.

De bekendste vorm is misschien wel de vuile bom. Dit is een conventioneel explosief dat vervuild is met radioactief materiaal. Door de explosie van de bom worden de radioactieve isotopen verneveld of verdampt, zodat ze in de lucht terechtkomen en snel over een groot oppervlak verspreid worden. Na de ontploffing zal de omgeving dus radioactief besmet raken; de radiologische gevolgen zullen waarschijnlijk veel minder ernstig zijn dan die van een A-incident, maar ernstiger dan die van B-incident. Gevolgen van de verspreiding van radioactief materiaal over een relatief groot gebied zijn: chaos en paniek, schade in de omgeving, langdurig onbruikbaar zijn van terreinen en/of infrastructures, relatief dure reinigungsoperaties en stochastische effecten zoals verhoogde kankercijfers (zie voor uitleg over gezondheidseffecten Hoofdstuk 4). Het dominante blootstellingspad is inademing van het fijn verdeelde stof.

De eerste actie bij het vermoeden van een vuile bom is het afzetten van een ruim gebied van minimaal 400 meter. Voor de maatregel schuilen wordt een afstand tot 2 kilometer benedenwinds aangehouden (zie Tabel 8.). Vervolgens wordt onderscheid gemaakt in twee situaties, namelijk de fase vóór en de fase ná de ontploffing. Een niet-ontplofte vuile bom is waarschijnlijk niet voldoende afgeschermd, zodat het gevaar van (over)bestraling rond de bom zeer waarschijnlijk is. De aanwezigheid van  $\gamma$ -straling is gemakkelijk aan te tonen met de Automess 6150AD1. Bovendien is de bom gevaarlijk als explosief. Deze situatie zal de brandweer benaderen volgens de procedure incidentbestrijding gevaarlijke stoffen en het protocol verdachte objecten; dit biedt bescherming tegen het radiologische en het explosiegevaar. De aanwezigheid van  $\gamma$ -straling vormt een extra complicerende factor bij de ontmanteling van het explosief.

De gevolgen na de ontploffing hangen af van de precieze constructie van de bom. Het radioactief materiaal zal zich verspreiden in de vorm van fijnstof (aerosolen). Daarna zijn de verspreiding en de depositie afhankelijk van de meteorologische condities en omgevingsfactoren (zie paragraaf 5.3). In de buurt van de explosie kunnen 'hot-spots' ontstaan die lokaal een hoog stralingsdosistempo veroorzaken. Daarop moet gecontroleerd worden. Eventuele slachtoffers vallen waarschijnlijk door de gevolgen van de ontploffing. Wel moet rekening gehouden worden met uitwendige besmetting (ook daar waar ze gewond geraakt zijn). De verwachte besmetting is laag en vormt geen belemmering voor het verlenen van spoedeisende hulp. Wel moeten de reguliere besmettingscontrole uitgevoerd en schoonmaakmaatregelen genomen worden (zie paragraaf 9.3). Ook de omgeving moet schoongemaakt worden (zie paragraaf 9.3.5).

**Gevaren:**

- > Het grootste risico is het explosief!
- > De kans op acute stralingschade is minimaal.
- > De grootste effecten zijn psychische, sociale en economische schade.
- > De feitelijke omvang van het risicogebied is zeer sterk afhankelijk van de aard van de bebouwing. Veel hoge dichte bebouwing geeft weinig verspreiding. Daarom moeten zo spoedig mogelijk controlemetingen uitgevoerd worden om het feitelijke risicogebied te bepalen.
- > Hoe weet men of het een vuile bom is? Advies: bij een explosie op een onverwachte plaats en die mogelijk niet gas-gerelateerd is, standaard de Automess mee.

# 9 Interventie

De kernenergiewet (KeW) en het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming geven richtlijnen voor interventies bij incidenten waarbij ioniserende straling vrijkomt. Het besluit stelt dat een interventie alleen wordt uitgevoerd als het resultaat voldoende is om de nadelige gevolgen te rechtvaardigen. Het resultaat is de te verwachten beperking van de (gezondheids)schade. De nadelige gevolgen zijn de sociale en maatschappelijke gevolgen veroorzaakt door de ioniserende straling en de kosten van de interventie.

Voor de brandweer geldt de Wet veiligheidsregio's onverminderd, dus zal de brandweer de taken redden, brandbestrijding, technische hulpverlening, incidentbestrijding gevaarlijke stoffen uitvoeren met inachtneming van de maatregelen beschreven in de volgende paragraaf.

## 9.1 Maatregelen voor het optreden van de brandweer

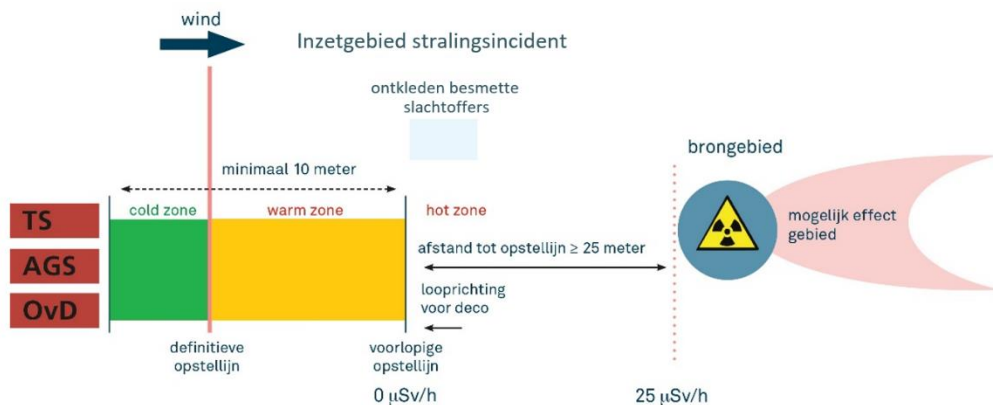
Het hanteren van de procedure incidentbestrijding gevaarlijke stoffen is voldoende om besmetting tegen te gaan. Hierbij moet specifiek rekening gehouden worden met de mogelijke risico's van externe straling; daarom zal bij de uitruk vanaf de kazerne direct de Automess aangezet worden.

### 9.1.1 Algemene maatregelen bij stralingsincidenten: gesloten bron

Een overzicht van mogelijke maatregelen voor alle stralingsincidenten:

- > **Procedure incidentbestrijding gevaarlijke stoffen en Automess:** optreden conform de procedure IBGS en het stralingsniveau monitoren met de Automess (let op: deze meet alleen  $\gamma$ -straling).
- > **Afstand houden en opstellijn:** de plaats van de opstellijn hangt af van het dosistempo op de locatie en of bekend is of een open of (intacte) gesloten bron betreft. Om het niet onnodig complex te maken, is de indeling van het werkveld voor open en gesloten bronnen gelijk. Als bekend is dat het een *intacte* gesloten bron betreft, dan is decontaminatie en bovenwinds opstellen niet nodig. Het is handig het gebied te markeren waar de alarmwaarde van  $25 \mu\text{Sv/u}$  wordt gemeten (zie Figuur 9.1). De definitieve opstellijn ligt daar waar minder dan  $1 \mu\text{Sv/u}$  (ideaaliter  $0 \mu\text{Sv/u}$ ) wordt gemeten. De stralingsdosis neemt kwadratisch af met het vergroten van de afstand (kwadratenwet, zie paragraaf 2.3.1): op 25 m afstand is het dosistempo al 10 keer lager dan op 8 meter afstand. Bij incidenten met  $\gamma$ -bronnen met een hoog dosistempo kan het nodig zijn om op 100 meter, of op nog grotere afstand, op te stellen. Voor B-objecten zal de alarmwaarde voor het dosistempo van  $25 \mu\text{Sv/u}$  zelden op een grotere afstand dan 100 meter rondom het object gemeten worden.
- > **Afscherming zoeken:** fysieke barrières houden een deel van de ioniserende straling tegen, denk hierbij aan het opstellen achter een muur of tankautospuit.
- > **Beoordeel de situatie:** als de verpakking intact is, is er geen besmettingsgevaar. Is de inzet noodzakelijk door brandgevaar, beknelling of een kans op beschadiging van de bron? Denk hierbij aan: dosisbeperkingen en ALARA (= As Low As Reasonably Achievable), en dat het resultaat zwaarder moet wegen dan het opgelopen risico.

- > **Persoonlijke bescherming:** het dragen van volledige uitrusting met adembescherming en gesloten nekflap; de ogen worden beschermd door het gelaatsstuk. (Let op: eigenlijk is dit pas relevant bij een open bron, maar het hoort bij het optreden conform procedure IBGS.)
- > **Blootstellingstijd en aflossing:** voorkom een hoge dosis voor personen; het is soms beter om meerdere hulpverleners een verwaarloosbare lage dosis op te laten lopen, dan één team van twee hulpverleners een hogere niet verwaarloosbare dosis.
- > **Metten:** continu meten van stralingsdosis(tempo) met Automess (alleen  $\gamma$ -straling) en blijven controleren van de individuele stralingsbelasting (persoonsdosismeting).
- > **Informatie en advies:** maak gebruik van de stralingsdeskundige van de instelling, de eigenaar van de stoffen, de AGS van de brandweer en de gezondheidskundig adviseur gevaarlijke stoffen (GAGS) van de GHOR.
- > **Nazorg en registratie:** de opgelopen dosis wordt in het persoonsdossier van de hulpverlener geregistreerd; hiervoor zijn registratieformulieren beschikbaar (zie *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Operationele handreiking, Registratie persoon*). Uitleg over de inzet en de risico's is noodzakelijk. Bij grote onrust is medische controle aan te bevelen. Een nabespreking en/of evaluatie met andere hulpverleners en de eigenaar van het object kan zinvol zijn.
- > **Algemene hygiënemaatregelen:** handen wassen, niet roken, niet eten en drinken, et cetera.



**Figuur 9.1 Indeling van het werkveld bij een stralingsincident**

Als ezelsbruggetje wordt wel eens gesproken van de drie A's: afstand, afscherming, aflossing (blootstellingstijd). De vierde A van adembescherming is niet van toepassing als is vastgesteld dat het om een gesloten bron gaat; deze maatregel beschermt alleen bij het daadwerkelijk vrijkomen van de stof. In de praktijk zal bij optreden conform de procedure IBGS wel adembescherming toegepast worden. De vijfde A van Automess kan hieraan toegevoegd worden, maar dit kan misleidend zijn, omdat de Automess niet beschermt tegen straling, maar deze alleen monitort.

Aanvullende maatregelen voor de stralingsbescherming van niet-hulpverleners zijn:

- > **Ontruimen en afzetten:** houd het publiek op ruime afstand en zet het gebied af.
- > **Afscherming maken:** tref noodmaatregelen en maak zo mogelijk gebruik van toevallig aanwezig afschermingsmateriaal, zoals zand, stenen, water of gebouwen. Opstellen



van een tankautospuit voor een bron leidt meestal al tot een flinke afname van het dosistempo.

- > **Voorlichting en communicatie:** de algemene opinie is dat straling eng is. Daarom is het belangrijk om tijdens en na het incident te zorgen voor goede voorlichting en communicatie.

Bij een gesloten bron is het is belangrijk om de externe *bestraling* van hulpverleners zo laag mogelijk en binnen de door de brandweer gestelde grenzen te houden. Hiervoor kan de brandweer bovenstaande maatregelen hanteren. Dit kan worden samengevat als werken volgens de inzetprocedure gevaarlijke stoffen met als extra maatregel het zorgen voor afscherming.

### 9.1.2 Specifieke maatregelen bij het vrijkomen van radioactieve stoffen: open bron

Bij een open bron is er naast de kans op externe bestraling ook een kans op besmetting. Er is sprake van besmetting als radioactieve deeltjes zich ongecontroleerd in de omgeving verspreiden en neerslaan, waardoor een vooraf bepaalde grenswaarde wordt overschreden; dit is onder andere afhankelijk van de weersomstandigheden. Bij een open of beschadigde bron is het belangrijk om uitwendige- en inwendige *besmetting* en verdere *verspreiding* van de radioactieve stoffen te voorkomen.

De indeling van het werkveld voor optreden bij een open bron is weergegeven in Figuur 9.1 . Aanvullende maatregelen (let op: aanvullend op bovenstaande algemene maatregelen voor het optreden bij een intacte gesloten bron) zijn:

- > **Beoordeel de situatie:** besmetting is mogelijk bij een kapotte verpakking of bronhouder, in een ziekenhuis, in een laboratorium of bij brand.
- > **Voorkomen van besmetting:** vermijd onnodig contact met de besmette omgeving en/of de bron. Let op bij het wisselen van ademlucht(flessen).
- > **Markeer het besmette gebied:** breng het besmette gebied zo goed mogelijk in kaart, markeer het en zet het af.
- > **Extra bescherming:** gebruik (naast adembescherming en een volledig uitruktenue) een vuilwerkpak dat makkelijk te verwijderen of af te spoelen is, ter bescherming van de uitrusting. Of maak gebruik van chemicaliënhandschoenen en/of laarzen.
- > **Voorkom verspreiding:** probeer zo mogelijk verspreiding van radioactieve stoffen te voorkomen door het afdekken van de bron (bijvoorbeeld met zand, zeil of eventueel schuim). Vraag hiervoor advies aan de AGS.
- > **Bescherm de omgeving:** plaats bij verspreiding benedenwinds een waterscherm benedenwinds van de bron.
- > **Voer een besmettingscontrole uit:** controleer na de inzet op mogelijke besmetting van personen, materieel en middelen. Zorg voor een effectieve en veilige afhandeling.
- > **Verwijderen van besmetting:** mocht er onbedoeld toch besmetting plaatsvinden, dan kan alleen uitwendige besmetting verwijderd worden. Adembescherming en hygiëne zorgen ervoor dat inwendige besmetting uitgesloten wordt. Uitwendig besmette personen moeten schoongemaakt worden (inwendige besmetting kan niet verwijderd worden!). Zorg voor opvang, controle en afvoer van het waswater. Zie verder paragraaf 9.3.3.

Aanvullende maatregelen voor de stralingsbescherming van niet-hulpverleners zijn:

- > **Voorkomen van besmetting:** radioactieve deeltjes kunnen in de omgeving en op voorwerpen terecht komen, die dan radioactief besmet raken. Het is zelfs mogelijk dat de hele omgeving besmet raakt. Mensen in die omgeving kunnen eveneens besmet raken.

- > **Voorkomen van verspreiding:** voorkom contact tussen besmette mensen onderling en voorkom het opwarrelen van besmetting in de omgeving. Voorkom onnodig bewegen door het gebied, zoals lopen of rijden met voertuigen.
- > **Besmettingscontrole:** controleer mensen uit het besmette gebied op mogelijke besmetting. Denk aan het organiseren van een eerste, snelle screening, omdat in de praktijk veel meer mensen gecontroleerd willen worden dan het aantal daadwerkelijk besmette personen. Verwijder eventuele besmetting en zorg voor nazorg.
- > **Verwijderen van besmetting:** grote groepen mensen kunnen schoongemaakt worden in zwembaden of sporthallen. Ook kan de grootschalige ontsmettingseenheid (GOE) hiervoor worden ingezet. Zie verder paragraaf 9.3.3.

### 9.1.3 Specifieke maatregelen bij brand met radioactieve stoffen: bron in brand

Bij een brand in bijvoorbeeld een radionuclidenlaboratorium kunnen radioactieve stoffen meegevoerd worden met de rookgassen. De lucht raakt dus radioactief besmet. De radioactieve deeltjes in de rook kunnen in de omgeving terecht komen. De omvang van de brand en de weersomstandigheden beïnvloeden de verdere verspreiding van de radioactieve deeltjes. De blootstellingspaden zijn vergelijkbaar met die bij een open of beschadigde bron. Dat geldt ook voor de maatregelen.

De hoeveelheid radioactieve stoffen die bij zo'n brand mogelijk vrijkomt is *meestal* niet groot, omdat de maximale hoeveelheid radioactieve stoffen in een radionuclidelaboratorium zeer beperkt is. De bronhouders zijn meestal van goede kwaliteit en (redelijk) schok- en brandbestendig. Er is een stralingsdeskundige ter plekke die hierover informatie kan geven. Vooral de inademing van radioactieve rookgassen dichtbij de bron is een risicovolle blootstellingsroute; hier geldt dus dat adembescherming noodzakelijk is, zoals bij iedere brand.

Aanvullende maatregelen bij brand zijn:

- > houd de ontvangen externe stralingsdosis extra goed in de gaten,
- > wees alert op mogelijke verspreiding van radioactieve stoffen met als mogelijke gevolgen gevaar voor inhalatie, ontstaan van een besmet gebied na depositie en resuspensie,
- > wees alert op mogelijk radioactief besmet bluswater: gebruik zo min mogelijk bluswater en vang het zo mogelijk op om de verspreiding van radioactief bluswater te voorkomen.

Aanvullende zinvolle maatregelen voor de stralingsbescherming van niet-hulpverleners zijn:

- > **Ramen en deuren sluiten:** bij vermoeden van verspreiding van radioactieve stoffen kan het advies om binnen te blijven en ramen en deuren te sluiten zinvol zijn.

### 9.1.4 Adembescherming

De brandweer maakt standaard gebruik van onafhankelijke adembescherming in de vorm van het ademluchtmasker. Bij langdurige inzetten kan het nodig zijn om gebruik te maken van afhankelijke adembescherming in de vorm van een stofmasker of een gezichtsmasker met filterbus.

Om een indruk te geven van de bescherming die deze middelen bieden, is Tabel 9.1 opgenomen [1]. Deze tabel geeft een overzicht van de effectieve reductiefactoren van deze adembeschermingsmiddelen. Hierbij is rekening gehouden met een verhoogd ademventilatievoud door het gebruik van het adembeschermingsmiddel. De 'omgekeerde' waarde (de 'verlengingsfactor') geeft aan hoeveel langer het duurt voordat de dosis die via inademing ontvangen is, gelijk is aan de dosis die iemand zou ontvangen zonder adembescherming.

**Tabel 9.1 Reductiefactoren van adembeschermingsmiddelen**

Adembeschermingsmiddel	Reductiefactor <sup>1)</sup>	Verlengingsfactor
stofmasker	0,15	7
gelaatsmasker met filterbus	0,03	35
ademluchtmasker	0,0015	700

1) Hierbij is rekening gehouden met een verhoogd ademventilatievoud door het gebruik van een adembeschermingsmiddel.

## 9.2 Maatregelen A-incidenten

Bij een stralingsincident met een B-object stelt de brandweer zelf op basis van een risico-inschatting maatregelzones in en zorgt voor de bescherming van slachtoffers, bevolking en hulpverleners tegen de gevaren van ioniserende straling. De bestrijding van een grootschalig stralingsincident vereist een andere aanpak en deskundigheid en wordt landelijk aangestuurd. In het Landelijk Crisisplan Straling (LCP-S) is de gecoördineerde inzet van de vele betrokken diensten en organisaties beschreven.

### (Bron)bestrijding A-object

Het begrip 'bronbestrijding' bij een stralingsincident bij een A-object is duidelijk anders dan bronbestrijding bij brand of een chemisch incident. Bij een kernreactor is alles gericht op het in stand houden van de koeling van de reactorkern met als doel de uitstoot van radioactief materiaal te voorkomen. Hierbij moet gedacht worden aan het fysiek inbrengen van koelwater, het leveren /plaatsen van noodstroomdieselgeneratoren (inclusief brandstof) tot en met het eventueel begaanbaar maken en houden van de toegangswegen naar de kernenergiecentrale voor het transport van deze middelen. De exploitant is verantwoordelijk voor de voorbereiding en uitvoering van bestrijdingsacties (inclusief de behandeling van eigen personeel). De bronbestrijding wordt ondersteund door de veiligheidsregio.

Bij A-incidenten gaat vooral veel aandacht uit naar de stralingsbescherming van de bevolking, omdat de verspreiding van radioactieve stoffen over een heel groot gebied kan plaatsvinden. De belangrijkste beschermingsmaatregelen leiden tot:

- > Vermijden van dosis: voorkomen/beperken van bestraling vanuit de wolk of neergeslagen besmetting op huid, kleding of omgeving, door schuilen, afscherming, beperken van de blootstellingstijd (wegnemen van de besmetting, evacueren uit besmet gebied of een gebied evacueren voordat de wolk overtrekt).
- > Voorkomen van inademing door adembescherming en/of schuilen: schuilen is alleen effectief als de lozingsduur beperkt is, omdat na verloop van tijd de concentratie / besmetting binnenshuis steeds groter wordt.
- > Beperken van verdere verspreiding van en blootstelling aan radioactieve besmetting door besmettingsbeperkende maatregelen, zoals toegangsbeperkingen en vervoers-

beperkingen in besmet gebied, verwijderen van besmetting bij mensen, huisdieren, voertuigen en in de leefomgeving.

- > Voorkomen/beperken van het innemen (opeten of drinken) van radioactieve stof via besmette waren. Dit gebeurt bijvoorbeeld door een gebruiksverbod, het advies etenswaren en groenten extra te wassen of alleen verpakte etenswaren te gebruiken.

Bij deze maatregelen wordt onderscheid gemaakt in directe en indirecte maatregelen.

### 9.2.1 Directe maatregelen

Directe maatregelen grijpen direct in op blootstellingspaden waarbij de mens door de emissie op *directe wijze* (= rechtstreeks) wordt blootgesteld aan radioactieve stoffen of ioniserende straling.

De gebruikte maatregelen zijn:

#### > **Evacuatie:**

- Onmiddellijke evacuatie: als in een effectgebied mogelijk een grote dosis (> 1000 mSv) wordt opgelopen. Evacuatie vindt bij voorkeur plaats voordat de radioactieve wolk is overgetrokken, maar desnoods wordt tijdens de wolk geëvacueerd als dit tot een dosisreductie leidt.
- Evacuatie: bij voorkeur voordat de radioactieve wolk is overgetrokken.
- Tijdelijke relocatie: late evacuatie (ruim) na het overtrekken van de wolk als blijkt dat de op te lopen dosis na het incident te hoog is. Dit gaat gepaard met de maatregel besmettingscontrole en verwijderen van besmetting bij mensen, dieren en goederen.
- Vaak nemen mensen zelf het besluit om te vertrekken: dit wordt spontane evacuatie genoemd. De maatregelen bij een spontane evacuatie zijn afhankelijk van de mogelijke besmetting van de spontaan geëvacueerde mensen.

Evacuatie tijdens het overtrekken van de wolk moet voorkomen worden; vaak zijn andere maatregelen (schuilen en jodiumprofylaxe (zie hieronder) dan beter.

- > **Schuilen:** schuilen betekent naar binnen gaan, ramen en deuren sluiten en ventilatie of luchttoevoer stoppen. Het binnenklimaat is in de eerste uren (ongeveer 6 uur) na het vrijkomen van een gevaarlijke stof (dus ook radioactieve stoffen) beter dan het buitenklimaat.
- > **Jodiumprofylaxe:** het innemen van jodiumtabletten (zie ook paragraaf 4.4). Bij een ernstig incident met een in werking zijnde kernreactor komen radioactieve jodiumisotopen vrij. Jodium wordt vooral bij kinderen effectief door de schildklier opgenomen; dit kan leiden tot het ontstaan van schildklierkanker. Dit bleek ook in de jaren na Tsjernobyl. Vandaar dat de overheid bij het vrijkomen van radioactief jodium, jodiumtabletten verstrekt aan de bevolking. Dit wordt jodiumprofylaxe genoemd. Het innemen van de tabletten heeft alleen zin op jongere leeftijd (tot 40 jaar): de overheid geeft hiervoor instructies. De maatregel is het meest effectief als de jodiumtabletten worden ingenomen voordat de radioactieve wolk arriveert. Maar ook na 6 uur wordt de stralingsdosis nog met 50% beperkt.

Maatregelen om besmettingen in de leefomgeving te verwijderen zijn ook directe maatregelen. De landelijke overheid kondigt deze niet af, omdat het besmet raken en het verspreiden van besmetting sterk afhankelijk is van het gedrag van mensen. Er is geen specifieke voorbereiding op dit gebied voor stralingsincidenten; de standaardprotocollen zijn

van toepassing. Bovendien is het bij een grootschalig A-incident niet mogelijk om alle particuliere voertuigen in de omgeving schoon te maken. Dan kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van bestaande wasstraten of overgegaan worden op het in beslag nemen van voertuigen, zie ook paragraaf 9.3.3.

### 9.2.2 Indirecte maatregelen

Indirecte maatregelen grijpen in op de verspreiding van radioactieve stoffen via de voedselketen. Het doel is om het innemen van radioactieve stoffen via het voedsel en drinkwater te voorkomen. Het gaat hier bijvoorbeeld om: een graasverbod (melk), het sluiten van kassen, een verbod op het gebruik van beregeningswater, maatregelen ter bescherming van drinkwater, verontreinigd slib onttrekken, isoleren van besmette dieren of planten en producten.

### 9.2.3 Maatregelzones en rol hulpdiensten

In de bestrijdingsfase van een A-incident worden, van klein naar groot, de volgende zones gehanteerd:

- > Evacuatiezone: zone waar voor of na het overtrekken van de wolk geëvacueerd wordt.
- > Jodiumprofylaxezone: zone waar de combinatie schuilen en jodiumprofylaxe van kracht is.
- > Schuilzone: zone waar geschild wordt (zonder jodiumprofylaxe).
- > Landbouwmaatregelzone: zone waar landbouwmaatregelen genomen worden.

Deze zones worden ingesteld op basis van prognoses en worden later op basis van meetgegevens en andere informatie bijgesteld. De maatregelen bij A-incidenten worden voorgeschreven door de landelijke overheid. Als een ongeval plaatsvindt in een kernenergiecentrale in het buitenland vlakbij de Nederlandse grens, neemt de Nederlandse overheid de maatregelen van het buurland over. Preparatiezones voor maatregelen zijn vastgelegd in het LCP-S en worden voorbereid in het rampbestrijdingsplan van een A-object.

Een mogelijke rol van de hulpdiensten ligt in de ondersteuning bij de uitvoering van de maatregelen op lokaal niveau. Ook deze taken worden vastgelegd in het rampbestrijdingsplan en de bijbehorende protocollen en procedures. Mogelijke taken zijn:

- > Evacuëren
- > Uitdelen van jodiumtabletten
- > Meten:
  - monitoren van externe straling: het meten van het externe stralingsniveau is nodig voor het vaststellen van de daadwerkelijke, actuele situatie en het instellen van de maatregelzones en de tijdsduur van die maatregelen
  - besmettingscontrole van personen of omgevingBovendien is zichtbaar meten door de brandweer ook geruiststellend voor de bevolking.
- > Verwijderen van besmetting: afhankelijk van de situatie zullen personen, voertuigen en andere goederen schoongemaakt moeten worden.

De beschermende maatregelen die in de voorgaande paragrafen beschreven zijn, gelden hier onverminderd. Het radiologisch meetprogramma van de brandweer is onderdeel van het landelijk meetprogramma, beschreven in de Landelijk Meetstrategie Kernongevallen. Een beknopte beschrijving daarvan is te vinden in paragraaf 7.5.

## 9.3 Besmettingscontrole en verwijderen van besmetting

Besmettingscontrole en het verwijderen van besmetting worden bij voorkeur gecombineerd in één werkproces. Dit vindt bij voorkeur plaats zo dicht mogelijk op de grens tussen besmet en schoon gebied. Is een persoon of object besmet dan kan het verwijderen van besmetting direct daarop volgen. Dit wordt weer gevolgd door een volgende besmettingscontrole. Afhankelijk van het aantal schoon te maken personen kunnen één of meerdere locaties ingericht worden. Voor grote aantallen besmette personen kunnen deze posten worden ingericht in vaste locaties (zwembaden of sporthallen met douchegelegenheden) of geïmproviseerd met mobiele uitrusting (beschikbaar bij de CBRN-steunpuntregio's). Zo'n besmettingscontrole-post staat onder leiding van een AGS (bij voorkeur van de CBRN-steunpuntregio en opgeleid stralingsbeschermingsdeskundige op (minimaal) het niveau van Coördinerend Deskundige, CD). De GAGS adviseert over de mogelijke gezondheidsrisico's.

### 9.3.1 Besmettingscontrole

Vooraf aan de besmettingscontrole moet bepaald worden welk oppervlak gecontroleerd moet worden. Personen die enige tijd in een radioactieve wolk zijn geweest, kunnen besmet raken via depositie van radioactief materiaal. Besmetting van hoofdhaar en de onbedekte huid levert een huiddosis. Maar ook besmetting van (beschermende) kleding kan via resuspensie van radioactief materiaal of aanraking daarvan tot een inwendige besmetting en een dosis leiden. Hulpverleners die in mogelijk besmet gebied zijn geweest zullen zeker de onderkant van hun laarzen controleren maar ook de bovenkant van hun pak. De mate van besmetting bepaalt welke meetsonde gebruikt kan worden (AD-17 of AD-k).

### 9.3.2 Normen voor de besmetting van personen

Er zijn zeer beperkt normen voor besmetting vastgesteld. Voor reguliere situaties zijn er normen voor een besmetting op de handen, kleding en voorwerpen. Voor radiologische noodsituaties gelden veel hogere besmettingsnormen die zijn gebaseerd op een huiddosis, waarvoor een laag en hoog niveau is vastgesteld. Als de besmetting onder het niveau blijft, zijn de gevolgen verwaarloosbaar. Boven het niveau moeten schoonmaakmaatregelen genomen worden. De stralingsdeskundige bepaalt op basis van de geldende niveaus welke maatregelen getroffen moeten worden.

### 9.3.3 Verwijderen van besmetting

Voor het verwijderen van besmetting wordt verwezen naar de *Handreiking decontaminatie* (IFV, 2019). Deze kan toegepast worden met de volgende aandachtspunten:

- > Omdat radioactieve stoffen meestal niet acuut giftig zijn, is er geen extreme haast nodig bij het verwijderen van besmetting; uiteraard moet dan wel uitgesloten zijn dat de stof toxisch is.
- > Omdat inademing de meest risicovolle blootstellingsroute is, wordt gebruikgemaakt van een mondkapje voor besmette personen.
- > Ook ogen zijn erg gevoelig en worden daarom beschermd met een zwembril, veiligheidsbril of spatmasker.
- > Het is beter om direct te douchen (eerst veel water, dan water en neutrale zeep, dan goed afspoelen) in plaats van eerst droog besmetting te verwijderen. Laat het spoelwater weggelopen weg van de ogen, neus en mond.
- > Bij zeer ernstige besmetting van het hoofd kan het haar kort knippen of kaal scheren een goede maatregel zijn, omdat stof aan de haren hecht. Gebruik geen mesjes voor het scheren vanwege het risico op het veroorzaken van wondjes en daarmee een risico op inwendige besmetting.

- > Ontsmetting heeft alleen zin in een schoon gebied en als de wolk overgetrokken is

Het doel van de behandeling van een radioactieve besmetting is:

- > zoveel mogelijk (liefst alle) radioactiviteit te verwijderen
- > optreden van acute effecten voorkomen, of deze beperken als voorkomen niet meer mogelijk is
- > de kans op het optreden van late effecten zoveel mogelijk beperken
- > het verspreiden van radioactief materiaal voorkomen.

Het is daarom belangrijk om zo snel mogelijk de besmetting te verwijderen. Belangrijke voorwaarden hierbij zijn:

- > dit mag bij voorkeur niet leiden tot verdere verspreiding van de besmetting over de tot dusver nog onbesmette lichaamsdelen
- > dit mag niet leiden tot verwondingen of beschadigingen van de huid. Dit kan namelijk leiden tot inwendige besmetting.

De belangrijkste stappen bij het verwijderen van besmetting bij personen zijn:

- > persoonlijk beschermingsmiddelen hulpverleners en inperking risico secundaire besmettingen
- > neus laten snuiten (monster bewaren en registreren per persoon)
- > mondkapje en zwembril op
- > kleding uit (niet over het hoofd) en kleding innemen (behandelen als besmet)
- > ernstige besmetting eerst lokaal verwijderen
- > goed afspoelen met lauw water (eerst zonder zeep)
- > haren wassen (direct met zeep)
- > goed naspoelen
- > besmettingscontrole
- > registratie van besmette personen en van de gemeten besmetting
- > voor het eventueel vrijgeven van persoonlijke bezittingen geeft de AGS (stralingsdeskundige) advies; dit advies is bindend! De GAGS kan hierbij op afstand advies geven over de mogelijke gezondheidsrisico's.

Voor het schoonmaken van grote aantallen besmette personen wordt verwezen naar de beschikbare protocollen voor grootschalige ontsmetting. Aandachtspunten zijn:

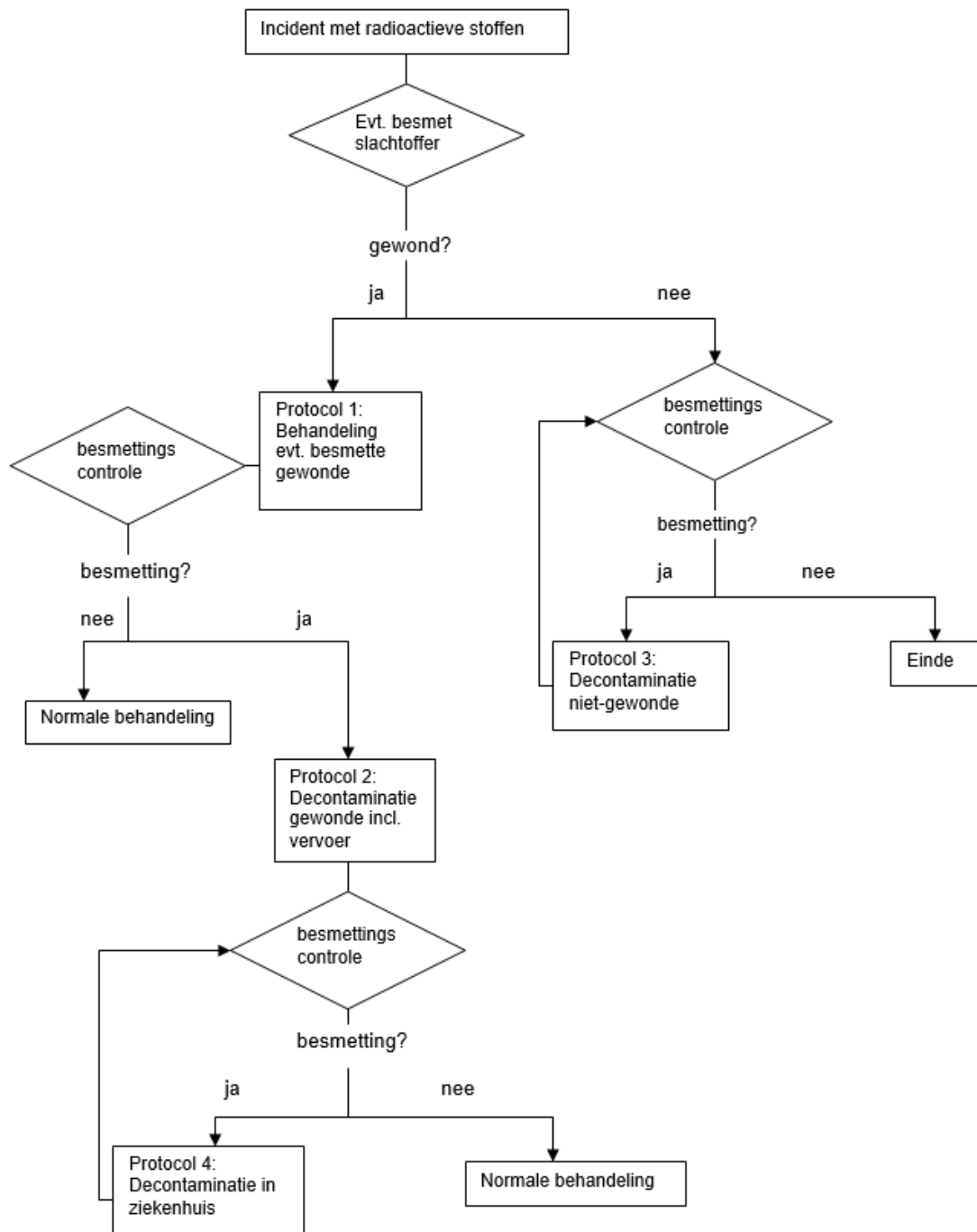
- > Meenemen van gezelschapsdieren uit de hot zone: eigenaren maken de dieren zelf schoon, voordat zij zichzelf schoonmaken; daarbij is extra aandacht nodig voor 'harige' dieren en moet een aanvullende besmettingscontrole uitgevoerd worden.
- > Besmette personen krijgen een instructie en douchen zelf: dat kan ter plaatse onder begeleiding van de brandweer zijn of zelfs thuis als de besmetting laag is.
- > Besmette personen krijgen de eigen kleding mee, voorzien van een wasinstructie en wassen deze thuis.

#### 9.3.4 Behandelprotocollen GHOR

Bij een mogelijk besmet slachtoffer wordt het stroomschema in Figuur 9. met bijbehorende onderstaande behandelprotocollen toegepast. Het behandelprotocol wordt bepaald door de (G)AGS na besmettingscontrole (zie paragraaf 9.3.1).

**Let op:** uitwendig besmette slachtoffers die ter plaatse schoongemaakt zijn, kunnen vervoerd worden naar het ziekenhuis. Laat de AGS (de stralingsdeskundige die ter plaatse is) dit uitleggen aan het GHOR-/ambulancepersoneel of laat het GHOR-/

ambulancepersoneel contact opnemen met de GAGS. Eventueel kunnen slachtoffers goed toedekkt worden met bijvoorbeeld lakens.



Figuur 9.2 Stroomschema voor het verwijderen van besmetting



### **Protocol 1: Behandeling van (eventueel) besmette gewonde**

1. Verleen een gewonde die besmet is met radioactief materiaal direct noodzakelijke eerste hulp, zoals het stoppen van een slagaderlijke bloeding, het aanleggen van een noodverband, het behandelen van een ademstilstand, et cetera.
2. Dek open wonden altijd af.
  - Pas op voor secundaire besmetting.
  - Gebruik persoonlijke beschermingsmiddelen (handschoenen en masker tegen fijn stof).
  - Ga er zo lang de eventuele besmetting nog onbekend is, van uit dat de gewonde wel besmet is.
  - Voer tegelijkertijd een besmettingscontrole uit.

Nadat door besmettingscontrole gebleken is dat er geen sprake van besmetting is, wordt de patiënt vervoerd naar het ziekenhuis met de vermelding dat het gaat om een radiologisch incident. In het ziekenhuis kan dan een tweede controle worden uitgevoerd.

### **Protocol 2: Decontaminatie van gewonde, inclusief vervoer**

#### *Decontaminatie*

1. Is een besmetting geconstateerd, registreer dan de aard en de plek van de besmetting en verzamel informatie over de verblijftijd en waar de gewonde vandaan komt.
2. Laat vervolgens zo mogelijk de neus snuiten in een tissue (na mogelijke inademing van radioactieve stofdeeltjes wordt hiermee al een deel weggehaald) en bewaar dit voor latere analyse.
3. Verwijder de kleding op een zodanige manier dat er geen secundaire besmetting kan optreden en bewaar ze in een plastic zak voorzien van een label 'Radioactief besmet'. Door de maatregel vindt al een besmettingsreductie plaats van ongeveer 90%.

#### *Vervoer*

4. Bedek de brancard, inclusief kussen, met een opengeslagen laken of deken, leg de patiënt hierop en sla daarna het laken of de deken goed om de patiënt heen.
5. Vervoer de patiënt naar een ziekenhuis waar men de beschikking heeft over een besmettingsmonitor (meestal een ziekenhuis met een afdeling Nucleaire Geneeskunde) en meld dit aan het betreffende ziekenhuis.
6. Controleer na het overdragen van de patiënt handen en kleding van de hulpverleners en de ambulance-inventaris op besmetting en geef de besmette materialen af.
7. Als besmetting is opgetreden: wassen met ruim water en zachte zeep. Geen harde borstel gebruiken. Eventueel douchen en haren wassen. Nadien opnieuw controleren op besmetting. Bij restbesmetting de procedure herhalen.
  - Pas op voor secundaire besmetting.
  - Gebruik persoonlijke beschermingsmiddelen (handschoenen en maskers).

### **Protocol 3: Decontaminatie van niet-gewonde**

1. Is een besmetting geconstateerd, registreer dan de aard en de plek van de besmetting en verzamel informatie over de verblijftijd en waar iemand vandaan komt.
2. Laat vervolgens zo mogelijk de neus snuiten in een tissue (na mogelijke inademing van radioactieve stofdeeltjes wordt hiermee al een deel weggehaald) en bewaar dit voor latere analyse.
3. Verwijder de kleding op een zodanige manier dat er geen secundaire besmetting kan optreden en bewaar deze in een plastic zak voorzien van een label 'Radioactief besmet'. Door de maatregel vindt al een besmettingsreductie plaats van ongeveer 90%.

4. Controleer na de decontaminatie handen en kleding van de hulpverleners op besmetting.
5. Als besmetting is opgetreden: wassen met ruim water en zachte zeep. Geen harde borstel gebruiken. Eventueel douchen en haren wassen. Nadien opnieuw controleren op besmetting. Bij restbesmetting procedure maximaal drie keer herhalen.
  - Pas op voor secundaire besmetting.
  - Gebruik persoonlijke beschermingsmiddelen (handschoenen en maskers).

#### **Protocol 4: Decontaminatie in ziekenhuis**

1. Verleen een gewonde die besmet is met radioactief materiaal direct noodzakelijke eerste hulp.
2. Verzamel gegevens omtrent de oorzaak en de aard van de besmetting.
3. Lokaliseer en meet de besmettingen, registreer de gegevens (bij voorkeur op een speciaal formulier).
4. Trek voorzichtig besmette kledingstukken uit.
5. Verwijder eventuele besmetting uit de neus-, mond- en keelholte door snuiten et cetera (monsters bewaren voor meting).
6. Voorkom verspreiding van de besmettingen, bijvoorbeeld door het afdekken van bepaalde lichaamsdelen.
7. Decontaminatie (rekening houdend met de toestand van de huid), meting en registratie.
8. Eventueel stap 7 herhalen.
  - Pas op voor secundaire besmetting.
  - Gebruik persoonlijke beschermingsmiddelen (handschoenen en maskers).
  - Steeds moet men voor ogen houden dat inwendige besmetting voorkomen, dan wel beperkt moet worden.

#### **9.3.5 Besmette omgeving**

In vrijwel alle gevallen is inademen van radioactieve deeltjes die opdarrelen (resuspensie), het dominante blootstellingspad. Besmettingscontrole van de omgeving is dus noodzakelijk, maar er zijn geen interventieniveaus vastgesteld.

Aandachtspunten zijn:

- > Denk bij de controle van voertuigen ook aan wielkasten en banden, maar vooral aan het vervangen van luchtfilters!
- > Voor het verwijderen van radioactieve besmetting uit de omgeving zijn landelijke teams beschikbaar voor technische en medische interventie.
- > Defensie is gespecialiseerd in het schoonmaken van de infrastructuur.

De te nemen maatregelen zijn afhankelijk van de ernst en omvang van het incident.

# Bijlage 1 Begrippenlijst

Deze begrippenlijst bevat de begrippen die voorkomen in *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Achtergrondinformatie* en in *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Basisinformatie voor operationeel leidinggevendend*.

-scenario	stralingsincident met een A-object met mogelijk regio-overstijgende effecten, waarbij bestuurlijke coördinatie door de landelijke overheid vereist is.
Aangeslagen toestand	een toestand van hogere energie.
Achtergrondstraling	altijd aanwezige ioniserende straling, ook wel natuurlijke stralingsbelasting.
Activiteit, A	aantal desintegraties per seconde.
Alfadeeltje, $\alpha$	bestaat uit twee protonen en twee neutronen en heeft lading 2+.
Alfastraling	$\alpha$ -straling is ioniserende straling door alfadeeltjes; komt meestal voor bij grote kernen zoals uranium.
Atoom	kleinste bouwsteen van een chemisch element.
B-scenario	radiologische incidenten van beperkte omvang met een B-object die regionaal worden afgehandeld.
Becquerel, Bq	eenheid van radioactiviteit, afgekort tot Bq. 1 Bq = 1 vervallende kern per seconde.
Belastingspad	een blootstellingsroute die leidt tot een stralingsbelasting.
Besmetting	neerslaan van radioactieve deeltjes waardoor een vooraf bepaalde grenswaarde wordt overschreden.
Bètadeeltje, $\beta$	bestaat uit een elektron met lading 1- of een positron met lading 1+.
Bètastraling	$\beta$ -straling is ioniserende straling bestaande uit elektronen of positronen.
Blootgestelde werknemers	personen die beroepshalve werken met radioactieve stoffen of met toestellen die ioniserende straling uitzenden.
Brongebied	het gebied waar zich alles bevindt wat gerelateerd is aan de directe incidentbestrijding.
Bronterm	theoretische benadering van de te verwachten uitstoot van een kernreactor.
Curie, Ci	verouderde eenheid van radioactiviteit: 1 Ci = 37 miljard Bq; nog in gebruik in de Verenigde Staten.
DELTA-meting	meting van de opgelopen dosis door een persoon (D=dosis).
Depositie	neergeslagen radioactieve deeltjes in de omgeving.
Desintegratie	zie radioactief verval.
Deterministische effecten	ook wel acute of vroege effecten: gezondheidseffecten die boven een bepaalde drempeldosis altijd optreden na meestal een korte tijd van enkele uren tot maanden.
Directe ionisatie	een atoom wordt direct geïoniseerd door geladen deeltjes, dus $\alpha$ - of $\beta$ -straling.

Directe maatregelen	maatregelen die ingrijpen op blootstellingspaden waarbij de mens op directe wijze wordt blootgesteld aan radioactieve stoffen of ioniserende straling.
DNA	desoxyribonucleïnezuur, een biochemisch macromolecuul dat de belangrijkste drager is van erfelijke informatie in alle bekende organismen en virussen.
Dosis, D	hoeveelheid ioniserende straling geabsorbeerd per massa-eenheid bestraald materiaal.
Dosistempo, $\dot{D}$	dosis per tijdseenheid.
Dracht, R	de afstand die ioniserende straling kan overbruggen.
Drempeldosis	dosis ioniserende straling die leidt tot gezondheidsschade.
Effectgebied	het gebied waarbinnen gevaarlijke stoffen zich verspreiden en mogelijke (gezondheids)schade aanrichten.
Effectieve dosis, E	equivalente dosis vermenigvuldigd met de weefselweefactor, aangegeven met E; de effectieve dosis is de optelsom van alle blootstellingspaden voor het hele lichaam van alle typen straling bij een incident voor 1 nuclide, alleen voor stochastische effecten (niet voor deterministische).
Elektromagnetische straling	straling samengesteld uit een elektrische en een magnetische component; beide componenten maken golfbewegingen die loodrecht op elkaar staan.
Elektron, $e^-$ , $e^-$	negatief geladen deeltje, dat gebonden kan zijn (bijvoorbeeld in een atoom) of zich vrij in de ruimte kan bevinden.
Equivalentente dosis, $H_T$	hoeveelheid ioniserende straling geabsorbeerd per massa-eenheid bestraald materiaal vermenigvuldigd met de stralingsweefactor, aangegeven met $H_T$ .
Exploitant	de inrichting of persoon die bij vergunning is toegestaan radioactieve stoffen te bereiden, toe te passen, te vervoeren of voorhanden te hebben of splijtstoffen of ertsen te vervoeren of voorhanden te hebben
·	
Fall-out	neergeslagen radioactieve deeltjes in de omgeving, ook wel depositie.
Foton	massaloze verschijningsvorm van elektromagnetische straling, 'pakketje energie'; weergegeven als $\gamma$ ; fotonen hebben een hoge energie, dringen diep in weefsels en andere stoffen door en gaan er meestal dwars doorheen.
Gammastraling, $\gamma$	$\gamma$ -straling is onzichtbare elektromagnetische straling met een hogere energie dan ultraviolet licht en röntgenstraling en die wordt uitgezonden door atoomkernen.
Geabsorbeerde dosis	hoeveelheid energie per massa-eenheid bestraald materiaal.
Genetische effecten	effecten die tot uitdrukking komen in het nageslacht.
Gray, Gy	eenheid van geabsorbeerde dosis: 1 Gy = 1 J/kg materiaal.
FOXTROT-meting	meting van besmetting op oppervlakken door neergeslagen radioactieve stoffen (bijvoorbeeld 'hot spots'; F=fall-out).

Halfwaarde-/Halveringstijd, $T_{1/2}$	de tijd waarin de helft van de kernen van een hoeveelheid radionucliden is vervallen.
Hardheid	geeft de energie van de straling aan; hoe hoger de energie, hoe harder de straling.
Harmonisatie	bij een ongeval met een grensoverschrijdende lozing (of dreiging daarvan) worden aan weerszijden van de grens dezelfde beschermende maatregelen genomen.
Hot spot	verhoogde concentratie neergeslagen radioactieve deeltjes in de omgeving.
ICRU-bol	weefsel-equivalente bol geïntroduceerd door het ICRU om het menselijk lichaam te benaderen.
Indirecte ionisatie	ionisatie in stappen: elektromagnetische straling gaat een interactie aan met een atoom(kern) waarbij geladen deeltjes ontstaan die op hun beurt een ionisatie veroorzaken.
Indirecte maatregelen	maatregelen die ingrijpen op blootstellingspaden waarbij de mens indirect wordt blootgesteld aan radioactieve stoffen of ioniserende straling en maatregelen die ingrijpen op de psychosociale gevolgen van een stralingsincident.
Ingekapselde bron	bron waarin de radioactieve stoffen zijn ingebed of vastgehecht aan vast, niet-radioactief dragermateriaal of zijn omgeven door een omhulling van niet-radioactief materiaal, zodat verspreiding van radioactieve stoffen uit de bron wordt voorkomen onder normale gebruiksomstandigheden.
Ingestie	inslikken.
Inhalatie	inademing.
Interventie	ingrijpen, maatregelen treffen.
Interventieniveau	blootstellingsniveau waarboven specifieke maatregelen genomen moeten worden als de situatie dat toelaat.
Ion	een elektrisch geladen atoom, molecuul of andere groep gebonden atomen. Een ion kan positief of negatief geladen zijn door respectievelijk een gebrek of een overschot aan één of meer elektronen.
Ionisatie	het scheiden van een atoom in één of meer elektronen uit de buitenste schil van een atoom en een positief geladen rest van het atoom: het atoom wordt geïoniseerd, en wordt een ion.
Ioniserende straling	energierijke straling die ionisaties kan veroorzaken.
Isobaren	atoomkernen met hetzelfde massagetal.
Isomeren	radionucliden met dezelfde samenstelling, maar verkerend in verschillende energietoestanden.
Isotopen	atoomkernen met hetzelfde aantal protonen, maar met verschillende aantallen neutronen en dus verschillende kernmassa's.
ISO-geometrie	isotroop stralingsveld; de straling komt in gelijke mate van alle kanten komt (dus ook van boven en beneden).

Jodiumprofylaxe	maatregel om besmetting van de schildklier door het inademen van radioactief jood te voorkomen door de schildklier te verzadigen met jodium (in tabletvorm).
Kernsplijting	proces waarbij een atoomkern splijt/uiteenvalt in twee kleinere kernen waarbij neutronen- en $\gamma$ -straling wordt uitgezonden.
Kosmische straling	ioniserende straling afkomstig uit het heelal.
Kwadratenwet	eigenlijk <i>omgekeerde</i> kwadratenwet is een wet (in de natuurkunde) die aangeeft dat een grootheid omgekeerd evenredig verloopt met het kwadraat van de afstand tot de bron van die grootheid.
Late stralingseffecten	stralingseffecten die zich later dan 1 of 2 maanden na een bestraling openbaren.
Maatregel	actie die wordt genomen om de fysieke en psychologische gezondheid van mensen en het milieu te beschermen tegen de gevaarlijke effecten van blootstelling.
Melding	onmiddellijk bericht naar een officieel contactpunt over een situatie die tot een crisis kan leiden.
Moeder-dochter	het vervalproduct van een radionuclide is zelf radioactief; er is sprake van een vervalreeks. De eerste radionuclide wordt de moeder (index m) genoemd en de tweede de dochter (index d).
Molecuul	chemische verbinding van één of meer atomen.
Mutatie	overerfbare verandering van het DNA.
Natuurlijke stralingsbelasting	zie achtergrondstraling.
Neutron, n	is een subatomair deeltje zonder elektrische lading dat voorkomt in atoomkernen (behalve in waterstof); weergegeven als n.
Nuclide	kernsoort: atoomkern met bepaald aantal protonen Z en neutronen N.
Off-site	buiten de begrenzing van het gebied van de exploitant.
Planaire opnamen	bij planaire opnamen wordt de straling die een ingespoten licht radioactieve stof uitzendt, gemeten met één of twee stilstaande detectoren.
Positron, e <sup>+</sup>	het antideeltje van het elektron; het heeft dezelfde massa, maar een tegengestelde lading.
Preparatiezone	zone waarbinnen bepaalde maatregelen moeten zijn voorbereid.
Proton, p, p <sup>+</sup>	is een subatomair deeltje met een positieve eenheidslading .
Rad	verouderde eenheid van geabsorbeerde dosis.
Radioactief verval	ook wel desintegratie of splijting. Fysisch-chemisch verschijnsel waarbij een isotoop spontaan wordt omgezet in een ander isotoop. Hierbij wordt een deeltje (zoals een

	elektron, een proton of een alfadeeltje) uitgezonden of opgenomen. De atoomkern verandert van samenstelling; bevat meer of minder protonen en/of neutronen. Zo ontstaan andere nucliden. Het desintegratieproduct kan zelf ook weer instabiel zijn en wordt dan dochternuclide genoemd. Het proces gaat door totdat er een stabiele atoomkern is ontstaan; dit is een vervalproces of vervalketen.
Radioactieve stoffen	stoffen met een instabiele kern die op den duur vervalt, waarbij ioniserende straling wordt uitgezonden.
Radioactiviteit	spontane verandering van atoomkernen waarbij ioniserende straling wordt uitgezonden.
Radionuclide	radioactieve kern die radioactief verval vertoont.
Radiologisch	met betrekking tot radioactiviteit.
Radiologische strijdmiddelen	radioactieve materialen die geschikt zijn gemaakt voor en gebruikt worden met het doel om schade toe te brengen aan mensen en omgeving.
Radiologisch incident	incident met radioactieve stoffen niet zijnde splijtstof en/of splijtstofmateriaal.
Radiotoxiciteitsklasse	mate waarin een radioactieve stof gezondheidsschadelijke effecten kan veroorzaken gebaseerd op inhalatie; indeling van zeer hoog (klasse 1) naar laag (klasse 4).
Remstraling	elektromagnetische straling die ontstaat door $\beta$ -deeltjes die met een hoge energie langs zware atoomkernen scheren; hierbij worden ze door de elektrische lading van de atoomkern afgebogen en afgeremd.
ROMEIO-meting	meting van dosistempo door externe straling in de omgeving ('R'=rate).
ROT-geometrie	rotatie-invariant stralingsveld; een stralingsveld dat in een horizontaal vlak ligt en gelijkmatig uit alle richtingen komt.
Röntgenstraling	elektromagnetische straling met een iets grotere energie dan zichtbaar licht en ultraviolet, maar lager dan $\gamma$ -straling. Röntgenstraling wordt bewust opgewekt in een röntgentoestel. Wordt ook weergegeven als röntgen- of X-straling.
Röntgentoestel	toestel waarin röntgenstraling wordt opgewekt.
Sievert, Sv	eenheid van dosisequivalent: $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ materiaal.
SIERRA-meting	meting van besmetting op personen (S=surface).
SPECT-opname	single-photon emission computerized tomography; de straling van een ingespoten licht radioactieve stof wordt gemeten met detectoren die rond de patiënt draaien.
Splijtingsproducten	radioactieve stoffen die ontstaan bij kernsplijting.
Splijtstof	materiaal dat in een kernreactor gespleten wordt (brandstofstaven) en tenminste een bepaald percentage uranium, plutonium, thorium of andere elementen bevat.
Stochastische effecten	ook wel late effecten of lange termijneffecten: gezondheidseffecten waarvan de kans dat ze optreden toeneemt met de stralingsdosis en die soms pas na jaren blootstelling optreden.
Stralingsincident	een situatie waarin ongewenst ioniserende straling vrijkomt of dreigt vrij te komen met een verhoogd risico voor mens en

milieu OF een situatie die een gecoördineerde inzet van diensten en organisaties van verschillende disciplines vergt om een verhoogd stralingsrisico voor mens en/of milieu te voorkomen.

Versneller	apparaat waarmee elektronen, kernen of kerndeeltjes versneld worden.
Volgdosis, $H(\tau)$ of $E(\tau)$	de totale equivalente dosis die gedurende een periode $\tau$ wordt opgelopen door inwendige besmetting.

## Terminologie ADR

Aan de ADR regelgeving liggen vele definities ten grondslag. Dit zijn de belangrijkste:

Speciale toestand	Radioactieve stoffen kunnen al dan niet <i>in speciale toestand</i> vervoerd worden. Onder radioactieve stof <i>in speciale toestand</i> wordt verstaan een niet verspreidbare radioactieve stof of een gesloten capsule, die een radioactieve stof bevat en die zodanig moet zijn vervaardigd dat deze alleen kan worden geopend door de capsule te vernietigen.
$A_1$ en $A_2$	Vervolgens zijn er zogenaamde $A_1$ en $A_2$ waarden gedefinieerd. Onder $A_1$ wordt verstaan de maximale waarde van de activiteit van radioactieve stoffen in speciale toestand, zoals vastgelegd in het ADR (zie ADR tabel 2.2.7.7.2.1), die wordt gebruikt om de grenswaarden van de activiteit voor de toepassing van de voorschriften van het ADR vast te stellen. Onder $A_2$ wordt verstaan de maximale waarde van de activiteit van radioactieve stoffen, NIET in speciale toestand. Die waarden staan ook in de genoemde ADR tabel.
Exclusief gebruik	Onder <i>exclusief gebruik</i> verstaat men het gebruik van een voertuig (of een grote container) door één enkele afzender, waarbij alle handelingen vóór, tijdens en na het vervoer worden uitgevoerd in overeenstemming met de aanwijzingen van de afzender of de geadresseerde.
Speciale regeling	Onder <i>speciale regeling</i> verstaat men de bepalingen, goedgekeurd door het bevoegd gezag, op grond waarvan een zending die niet aan alle van toepassing zijnde voorschriften van het ADR voldoet, mag worden vervoerd.
Transportindex	De <i>transportindex</i> (TI) voor een collo, oververpakking of container, of voor niet verpakte LSA-I-stoffen of SCO-I, is gelijk aan 0,1 keer het (hoogste) dosistempo ( $\mu\text{Sv/u}$ ), bepaald op een afstand van 1 m van het oppervlak. De TI is op de eerste decimaal naar boven afgerond (bijvoorbeeld 1,13 wordt 1,2). Alleen als de gevonden waarde kleiner dan of gelijk aan 0,05 is wordt de TI afgerond op nul. De transportindex voor oververpakkingen, containers of voertuigen wordt bepaald door de TI's van alle daarin



UN-nummer	<p>aanwezige colli bij elkaar op te tellen. Bij stijve oververpakkingen mag de samengestelde TI ook door rechtstreekse meting bepaald worden.</p> <p>Gevaarlijke stoffen worden internationaal gecodeerd met een 4-cijferig UN-nummer. Voor het vervoer van radioactieve stoffen bestaan er enkele tientallen UN-nummers om de lading te karakteriseren. Deze zijn verderop weergegeven in <b>Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.</b></p>
LSA	<p>Radioactieve stoffen die van nature een beperkte specifieke activiteit bezitten, of radioactieve stoffen waarvoor grenswaarden voor de geschatte gemiddelde specifieke activiteit van toepassing zijn, heten <i>stoffen met geringe specifieke activiteit</i> (Low Specific Activity, LSA). LSA-stoffen worden in drie groepen verdeeld: LSA-I, LSA-II en LSA-III, zie het ADR voor meer details over de verschillen tussen deze groepen.</p>
SCO	<p>Onder een <i>voorwerp met besmetting aan het oppervlak</i> (Surface Contaminated Object, SCO) wordt verstaan een vast voorwerp dat zelf niet radioactief is, maar waarbij op het oppervlak ervan een radioactieve stof verspreid is. Er bestaan twee categorieën: SCO-I en SCO-II, waarbij SCO-I minder radioactief besmet is dan SCO-II.</p>
Colli	<p>Een verpakking met radioactieve inhoud, gereed voor verzending, heet een <i>collo</i>. Een collo is dus de radioactieve inhoud inclusief <i>verpakking</i>. De verpakking kan een kist, vat, container of tank zijn en allerlei materialen bevatten zoals afstandhouders, dempers en warmte-isolatiemateriaal. Het ADR onderscheidt verschillende typen colli, te weten:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Vrijgesteld collo</li> <li>b) Industrieel collo: type 1, 2 en 3 (respectievelijk type IP-1, IP-2 en IP-3)</li> <li>c) Collo van type A</li> <li>d) Collo van type B(U)</li> <li>e) Collo van type B(M)</li> <li>f) Collo van type C</li> </ol>
Vrijgesteld collo	<p>Voor deze colli gelden verschillende voorwaarden, zie hieronder. Voor colli die splijtbare stoffen of uraniumhexafluoride bevatten, gelden bijzondere voorwaarden.</p> <p>Dit is een verpakking t.b.v. instrumenten, voorwerpen of stoffen met een gelimiteerde hoeveelheid activiteit (zoals vermeld in ADR 2.2.7.7.1.2.1.). De verpakking is ontworpen om te voldoen aan de aan alle verpakkingen en colli gestelde voorschriften (zoals vermeld in ADR 6.4.2.)</p>
Industrieel collo	<p>Dit is een verpakking, een tank of container die stoffen met een geringe specifieke activiteit (LSA) of voorwerpen met besmetting aan het oppervlak (SCO) bevat. Er wordt een onderverdeling gemaakt in drie types, te weten: type 1, 2 en 3 (IP-1, IP-2, IP-3) met oplopende ontwerp- en prestatie-eisen.</p>

Collo van type A	Dit is een verpakking, een tank of container die een activiteit van ten hoogste A <sub>1</sub> bevat als de stof zich in speciale toestand bevindt of een activiteit van ten hoogste A <sub>2</sub> , als de radioactieve stof zich niet in speciale toestand bevindt en die is ontworpen om te voldoen aan de aan alle verpakkingen en colli gestelde algemene voorschriften.
Collo van type B	Dit is een verpakking, een tank of container die een activiteit bevat die groter kan zijn dan A <sub>1</sub> resp. A <sub>2</sub> en die voldoet aan alle algemene voorschriften en - voor zover van toepassing - aan de bijzondere voorschriften (zie ADR). De aard van en hoeveelheid activiteit worden gelimiteerd door een certificaat.
Collo van type C	Dit is een verpakking die speciaal is ontworpen voor vervoer van hoge activiteit (> 3000 A <sub>1</sub> c.q. > 100.000 A <sub>2</sub> ) door de lucht.

## UN-nummers met benaming en beschrijving

De BENAMING en BESCHRIJVING in hoofdletters is verplicht, toevoegingen weergegeven in kleine letters zijn optioneel:

2908	RADIOACTIEVE STOFFEN, VRIJGESTELD COLLO - LEGE VERPAKKING
2909	RADIOACTIEVE STOFFEN, VRIJGESTELD COLLO - INDUSTRIËLE VOORWERPEN VAN NATUURLIJK URANIUM of VAN VERARMDE URANIUM of VAN NATUURLIJK THORIUM
2910	RADIOACTIEVE STOFFEN, VRIJGESTELD COLLO - BEPERKTE HOEVEELHEID STOF
2911	RADIOACTIEVE STOFFEN, VRIJGESTELD COLLO - INSTRUMENTEN of INDUSTRIËLE VOORWERPEN
2912	RADIOACTIEVE STOFFEN MET GERINGE SPECIFIEKE ACTIVITEIT (LSA- I), niet splijtbaar of splijtbaar, vrijgesteld
2913	RADIOACTIEVE STOFFEN, VOORWERPEN MET BESMETTING AAN HET OPPERVLAEK (SCO- I of SCO- II), niet splijtbaar of splijtbaar, vrijgesteld
2915	RADIOACTIEVE STOFFEN, IN COLLO VAN TYPE A, niet in speciale toestand, niet splijtbaar of splijtbaar, vrijgesteld
2916	RADIOACTIEVE STOFFEN, IN COLLO VAN TYPE B(U), niet splijtbaar of splijtbaar, vrijgesteld
2917	RADIOACTIEVE STOFFEN, IN COLLO VAN TYPE B(M), niet splijtbaar of splijtbaar, vrijgesteld
2919	RADIOACTIEVE STOFFEN, VERVOERD OP GROND VAN EEN SPECIALE REGELING, niet splijtbaar of splijtbaar, vrijgesteld
2977	RADIOACTIEVE STOFFEN, URANIUMHEXAFLUORIDE, SPLIJTBAAR
2978	RADIOACTIEVE STOFFEN, URANIUMHEXAFLUORIDE, niet splijtbaar of splijtbaar, vrijgesteld
3321	RADIOACTIEVE STOFFEN MET GERINGE SPECIFIEKE ACTIVITEIT (LSA- II), niet splijtbaar of splijtbaar, vrijgesteld
3322	RADIOACTIEVE STOFFEN MET GERINGE SPECIFIEKE ACTIVITEIT (LSA- III), niet splijtbaar of splijtbaar, vrijgesteld

- 3323 RADIOACTIEVE STOFFEN IN COLLO VAN TYPE C, niet splijtbaar of splijtbaar, vrijgesteld
- 3324 RADIOACTIEVE STOFFEN MET GERINGE SPECIFIEKE ACTIVITEIT (LSA- II), SPLIJTBAAR
- 3325 RADIOACTIEVE STOFFEN MET GERINGE SPECIFIEKE ACTIVITEIT (LSA- III), SPLIJTBAAR
- 3326 RADIOACTIEVE STOFFEN MET BESMETTING AAN HET OPPERVLAK (SCO- 1 of SCO- II), SPLIJTBAAR
- 3327 RADIOACTIEVE STOFFEN IN COLLO VAN TYPE A, SPLIJTBAAR, niet in speciale toestand
- 3328 RADIOACTIEVE STOFFEN IN COLLO VAN TYPE B (U), SPLIJTBAAR
- 3329 RADIOACTIEVE STOFFEN IN COLLO VAN TYPE B (M), SPLIJTBAAR
- 3330 RADIOACTIEVE STOFFEN IN COLLO VAN TYPE C, SPLIJTBAAR
- 3331 RADIOACTIEVE STOFFEN, VERVOERD OP GROND VAN EEN SPECIALE REGELING, SPLIJTBAAR
- 3332 RADIOACTIEVE STOFFEN IN COLLO VAN TYPE A, IN SPECIALE TOESTAND, niet splijtbaar of splijtbaar, vrijgesteld
- 3333 RADIOACTIEVE STOFFEN IN COLLO VAN TYPE A, IN SPECIALE TOESTAND, SPLIJTBAAR
- 3507 URANIUMHEXAFLUORIDE, RADIOACTIEVE STOFFEN, VRIJGESTELD COLLO, minder dan 0,1 kg per collo, niet splijtbaar of splijtbaar, vrijgesteld

# Bijlage 2 Afkortingenlijst

Deze afkortingenlijst bevat de afkortingen die voorkomen in *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Achtergrondinformatie* en in *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Basisinformatie voor operationeel leidinggevend*.

Zie voor de gebruikte voorvoegsels bij eenheden Tabel 1.1.

## Algemeen

AD	alarmdosimeter
ADOS	alarmdosimeter
ADR	Accord Européen relatif au transport international de marchandises Dangereuses par Route
AGS	Adviseur Gevaarlijke Stoffen
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ANVS	Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming
AP	anterior-posterior (geometrie)
BZK	Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
CBRN	Chemisch, Biologisch, Radiologisch, Nucleair
CEAG	Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid
CETmd	Crisis Expert Team milieu drinkwater
CETsn	Crisis Expert Team straling en nucleair, met daarin opgenomen RGEN
CKV	Centrum voor Kernongevallenbestrijding
CoPI	Commandoteam Plaats Incident
COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval
CVE	coördinator verkenningseenheid
DDA	dienstdoend ambtenaar
DNA	desoxyribonucleïnezuur
DTPA	di-ethyleentriaminepenta-azijnzuur
EPZ	Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland
ERIC	emergency response intervention card
Ext	externe straling
GAGS	Gezondheidskundig Adviseur Gevaarlijke Stoffen
GEVI	gevaarsidentificatienummer
GGD	Gemeentelijke Gezondheidsdienst
GHOR	Geneeskundige Hulpverleningsorganisatie in de Regio
GMK	gemeenschappelijke meldkamer
GOE	grootschalige ontsmettingseenheid
GRIP	gecoördineerde regionale incidentbestrijdingsprocedure
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBC	intermediate bulk container
IBGS	incidentbestrijding gevaarlijke stoffen
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ICRU	International Committee on Radiation Units (ICRU)
lenW	Infrastructuur en Waterstaat
IFV	Instituut Fysieke Veiligheid
ILT	Inspectie Leefomgeving en Transport

Ing	ingestie of inslikken
Inh	inhalatie of inademen
IRBT	Interregionaal Beleidsteam (overlegvorm)
IRI	Interfacultair Reactor Instituut (TU Delft)
IROT	Interregionaal Operationeel Team (overlegvorm)
KEW	Kernenergiewet
LCP-S	Landelijk Crisisplan Straling
LD	letale dosis
LD <sub>50</sub>	letale dosis waarbij 50% van de blootgestelde personen overlijdt
LMRV	Landelijk meetnet radioactiviteit in voedsel
LNT	linear-no-threshold
LSA	lage specifieke activiteit (Low specific activity)
NCS	Nationaal Crisisplan Stralingsincidenten
NCTV	Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid
NDO	niet-destructief onderzoek
NMR	Nationaal Meetnet Radioactiviteit
NRG	Nuclear Research and consultancy Group
NVWA	Nederlandse Voedsel en Warenautoriteit
PA	posterior-anterior (geometrie)
PET	positron emission tomography
PWR	pressurized water reactor
RA	radioactiviteit/radioactief
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RGEN	Radiologisch en Gezondheidskundig Expertise Netwerk
ROT	regionaal operationeel team (overlegvorm)
RTG	radionuclide thermoelectric generator
RVS	roestvast staal
RWS	Rijkswaterstaat
SCRAM	security rods axe man
SCO	surface contaminated object
SD	stralingsdeskundige
SED	Site Emergency Director
STC-CON1	geconstrueerde standaard bronterm
SITRAP	situatierapportage
SZW	Sociale Zaken en Werkgelegenheid
TI	transportindex
TS	tankautospuit
UN	United Nations (in UN-nummer)
Urenco	Uranium Enrichment Company
UV	ultraviolet
VE	verkenningseenheid
VR	veiligheidsregio
WVI	waakvlaminstituut
WFSR	Wageningen Food Safety Research

## Grootheden en eenheden

A	activiteit (eenheid: Bq)
A	massagetal (geen eenheid)
Bq	Becquerel
C	Coulomb
$C_{\text{gem}}$	gemiddelde concentratie
Ci	Curie (= $3,7 \times 10^{10}$ Bq) (oude eenheid)
cps	counts / tikken per seconde
d	dikte afschermingsmateriaal (eenheid: centimeters)
D	dosis (eenheid: Gy)
$\dot{D}$	dosistempo (eenheid: Gy/u)
DCC	dosiskonversiecoëfficiënt (eenheid: Sv/Bq)
E	energie (eenheid: eV)
E	effectieve dosis (eenheid: Sv)
$E(\tau)$	effectieve volgdosis (eenheid: Sv)
$e_{50}$	dosiskonversiecoëfficiënt (eenheid: Sv/Bq)
eV	elektronvolt (= $1,60219 \times 10^{-19}$ J)
Gy	Gray
H	dosisequivalent (oud)
$H_P(d)$	persoonsdosisequivalent op d mm
$H_T$	equivalente dosis
$\dot{H}_T$	equivalent orgaandosistempo
$H_{\text{huid}}$	gemeten besmettingsniveau op de huid
$H_T(\tau)$	equivalente volgdosis (eenheid: Sv)
$H^*(10)$	omgevingsdosisequivalent op 10 mm indringdiepte
$\dot{H}^*(10)$	omgevingsdosisequivalenttempo op 10 mm indringdiepte
h of hr	hour
j	jaar
J	joule
kg	kilogram
km	kilometer
min	minuten
MWe	Megawatt elektriciteit: eenheid voor elektrische uitgangsvermogen van energiecentrales
MWth	Megawatt thermisch: eenheid voor totale warmtevermogen van kernreactoren (ongeveer een factor 3 hoger dan MWe)
n	aantal radionucliden
N	aantal neutronen
$N_A$	getal van Avogadro
r	afstand van de bron (eenheid: meters)
R	dracht (eenheid: (centi)meters)
R	Röntgen (= $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg)
rad	eenheid geabsorbeerde dosis (= 1 Gy)
rem	eenheid van 'equivalente dosis' (= 1 Sv)
rö	röntgen

s	seconde
s <sup>-1</sup>	per seconde en ks <sup>-1</sup> = 1000 cps
Sv	Sievert
t	tijdstip t
T <sub>½</sub>	halfwaardetijd
u	uur
V	ademventilatievoud (eenheid: m <sup>3</sup> /u)
w <sub>R</sub>	stralingsweegfactor
w <sub>T</sub>	weefselweegfactor
X	exposie (eenheid: R)
y	yield / opbrengst
z	indringdiepte (eenheid: centimeters)
Z	aantal protonen (geen eenheid)
α	alfa
β	bèta
Δt	tijdsinterval / periode
Φ	aantal passerende fotonen
γ	gamma
Γ <sub>H*(10)</sub>	bronconstante (eenheid: μSv.m <sup>2</sup> /MBq.u)
λ	vervalconstante (eenheid: s <sup>-1</sup> )
μ	lineïeke verzwakkingscoëfficiënt
$\bar{\nu}$	antineutrino
ρ	soortelijke dichtheid van materie (eenheid: g/cm <sup>3</sup> )

## Chemisch

Am	americium	P	fosfor
Ba	barium	Pb	lood
Be	beryllium	Po	polonium
Bi	bismuth	Pr	praseodymium
C	koolstof	Pu	plutonium
Ce	cerium	Ra	radium
Cm	curium	Rb	rubidium
Co	kobalt	Re	renium
Cl	chloor	Rh	rhodium
Cs	cesium	Rn	radon(-222) en thoron(-220)
Eu	europium	Ru	ruthetium
F	fluor	S	zwavel
Ga	gallium	Sb	antimoon
H	waterstof	Se	selenium
He	helium	Si	silicium
HF	waterstoffluoride	Sr	strontium
I	jodium	Tc	technetium
In	indium	Te	tellurium
Ir	iridium	Th	thorium
K	kalium	U	uranium
Kr	krypton	UF <sub>6</sub>	uraanhexafluoride
La	lantaan	UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	uranoylfluoride

Li lithium  
 Mo molybdeen  
 Ni nikkel  
 Np neptunium

Y yttrium  
 Yb ytterbium  
 Xe xenon  
 Zr zirkonium

H 1 (1,01)																	He 2 (4,00)																												
Li 3 (6,94)	Be 4 (9,01)											B 5 (10,81)	C 6 (12,01)	N 7 (14,01)	O 8 (15,99)	F 9 (18,99)	Ne 9 (18,99)																												
Na 11 (22,99)	Mg 12 (24,30)											Al 13 (26,98)	Si 14 (28,08)	P 15 (30,97)	S 16 (32,06)	Cl 17 (35,45)	Ar 18 (39,95)																												
K 19 (39,10)	Ca 20 (40,08)	Sc 21 (44,96)	Ti 22 (47,88)	V 23 (50,94)	Cr 24 (51,99)	Mn 25 (54,94)	Fe 26 (55,85)	Co 27 (58,93)	Ni 28 (58,69)	Cu 29 (63,55)	Zn 30 (65,38)	Ga 31 (69,72)	Ge 32 (72,59)	As 33 (74,92)	Se 34 (78,96)	Br 35 (79,90)	Kr 36 (83,80)																												
Rb 37 (85,47)	Sr 38 (87,62)	Y 39 (88,90)	Zr 40 (91,22)	Nb 41 (92,91)	Mo 42 (95,94)	Tc 43 (98,91)	Ru 44 (101,07)	Rh 45 (102,90)	Pd 46 (107,87)	Ag 47 (107,87)	Cd 48 (112,41)	In 49 (114,82)	Sn 50 (118,71)	Sb 51 (121,76)	Te 52 (127,60)	I 53 (126,90)	Xe 54 (131,29)																												
Cs 55 (132,90)	Ba 56 (137,33)	La 57 (138,90)	Hf 72 (178,49)	Ta 73 (180,95)	W 74 (183,85)	Re 75 (186,21)	Os 76 (190,23)	Ir 77 (192,22)	Pt 78 (195,08)	Au 79 (196,97)	Hg 80 (200,59)	Tl 81 (204,38)	Pb 82 (207,20)	Bi 83 (208,98)	Po 84 (209)	At 85 (209)	Rn 86 (222,02)																												
Fr 87 (223,02)	Ra 88 (226,02)	Ac 89 (227,03)	Rf 104 (261,10)	Db 105 (262,11)	Sg 106 (263,10)	Bh 107 (264,10)	Hs 108 (277,10)	Mt 109 (268,10)	Ds 110 (268,10)	Rg 111 (280)	Cn 112 (285)			Fl 114 (289)			Lv 116 (293)																												
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Ce 58 (140,12)</td> <td>Pr 59 (140,91)</td> <td>Nd 60 (144,24)</td> <td>Pm 61 (144,91)</td> <td>Sm 62 (150,36)</td> <td>Eu 63 (151,96)</td> <td>Gd 64 (157,25)</td> <td>Tb 65 (158,93)</td> <td>Dy 66 (162,50)</td> <td>Ho 67 (164,93)</td> <td>Er 68 (167,26)</td> <td>Tm 69 (168,93)</td> <td>Yb 70 (173,04)</td> <td>Lu 71 (174,97)</td> </tr> <tr> <td>Th 90 (232,04)</td> <td>Pa 91 (231,04)</td> <td>U 92 (238,03)</td> <td>Np 93 (237,05)</td> <td>Pu 94 (244,06)</td> <td>Am 95 (243,06)</td> <td>Cm 96 (247,07)</td> <td>Bk 97 (247,07)</td> <td>Cf 98 (251,08)</td> <td>Es 99 (252,08)</td> <td>Fm 100 (257,10)</td> <td>Md 101 (258,10)</td> <td>No 102 (259,10)</td> <td>Lr 103 (262,11)</td> </tr> </tbody> </table>																		Ce 58 (140,12)	Pr 59 (140,91)	Nd 60 (144,24)	Pm 61 (144,91)	Sm 62 (150,36)	Eu 63 (151,96)	Gd 64 (157,25)	Tb 65 (158,93)	Dy 66 (162,50)	Ho 67 (164,93)	Er 68 (167,26)	Tm 69 (168,93)	Yb 70 (173,04)	Lu 71 (174,97)	Th 90 (232,04)	Pa 91 (231,04)	U 92 (238,03)	Np 93 (237,05)	Pu 94 (244,06)	Am 95 (243,06)	Cm 96 (247,07)	Bk 97 (247,07)	Cf 98 (251,08)	Es 99 (252,08)	Fm 100 (257,10)	Md 101 (258,10)	No 102 (259,10)	Lr 103 (262,11)
Ce 58 (140,12)	Pr 59 (140,91)	Nd 60 (144,24)	Pm 61 (144,91)	Sm 62 (150,36)	Eu 63 (151,96)	Gd 64 (157,25)	Tb 65 (158,93)	Dy 66 (162,50)	Ho 67 (164,93)	Er 68 (167,26)	Tm 69 (168,93)	Yb 70 (173,04)	Lu 71 (174,97)																																
Th 90 (232,04)	Pa 91 (231,04)	U 92 (238,03)	Np 93 (237,05)	Pu 94 (244,06)	Am 95 (243,06)	Cm 96 (247,07)	Bk 97 (247,07)	Cf 98 (251,08)	Es 99 (252,08)	Fm 100 (257,10)	Md 101 (258,10)	No 102 (259,10)	Lr 103 (262,11)																																

Figuur B2.1 Periodiek systeem van de elementen



# Bijlage 3 Bronnen

Voor de samenstelling van de handreiking *Stralingsincidenten veiligheidsregio's* is gebruik gemaakt van de volgende bronnen.

1. Radiologisch Handboek Hulpverleningsdiensten, 2004 en conceptversie 2011-2014
2. Radiologische basiskennis Kernongevallenbestrijding, RIVM, 2005 en 2011
3. Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman, 2007
4. Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding, VROM-inspectie, 2005
5. Info-pakket Straling, Ministerie VROM, zonder jaartal
6. De achtergronden van radioactiviteit, aanvullende leerstof middenkader, Stichting brandweeropleidingen in Nederland, zonder jaartal
7. Handboek NBC, Tweede herziene druk, Nibra, 2005
8. Operationele Handreiking Ongevalsbestrijding gevaarlijke stoffen, NVBR, 2012 inclusief herziening 2014
9. Bevelvoerder Ongevalsbestrijding gevaarlijke stoffen, Tekstboek Brandweeracademie, 2011
10. Manschap a Ongevalsbestrijding gevaarlijke stoffen, Tekstboek Brandweeracademie, 2013
11. Verkenner gevaarlijke stoffen, Tekstboek Brandweeracademie, 2012
12. Handleiding voor first responders op een radiologische noodsituatie, IAEA, 2006
13. TMT Handbook, Triage, Monitoring and Treatment of people exposed to Ionising radiation following a malevolent act, 2009
14. Triage en eerste opvang van slachtoffers na radiologische incidenten, RIVM, 2010
15. Maatgevende scenario's voor ongevallen met categorie B-objecten, Verhoef en Van Hienen, NRG, 2004
16. Radioactieve stoffen: uraniumhexafluoride, Gezamenlijke brandweer, 2005
17. Informatiebulletin Medical Valley Petten
18. Nationaal Crisisplan Stralingsincidenten, concept 2014
19. Besluit stralingsbescherming (Stb. 2001, 397)
20. Circulaires EB62-386, EB65-1609, EB81-U1619, Ministerie BZK, 1962, 1965, 1981
21. Leidraad Kernongevallenbestrijding, Nibra, 2004
22. Handboek Vervoer Gevaarlijke Stoffen over de weg 2009-2010, GDS Europe, 2009
23. Vervoer van radioactieve stoffen over de weg in Nederland en België, NVS 2002 en de addenda van recentere datum
24. Richtlijn 2013/59/Euratom van de raad, publicatieblad van de Europese Unie, 2013
25. Regeling beveiliging nucleaire inrichtingen en splijtstoffen
26. [www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)
27. [www.wikipedia.nl](http://www.wikipedia.nl)
28. ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 2007, Ann. ICRP 37 (2-4)  
ICRP Publication 119, Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, 2012, Ann. ICRP 41(Suppl.)
29. <https://www.rivm.nl/nationaal-meetnet-radioactiviteit/NMR-alarm-afhandeling>, 2021
30. Landelijk Crisisplan Straling (LCP-S), Ministerie van I en W, 2021
31. Handreiking Decontaminatie Werkversie 1.1, IFV januari 2019



