

Stralingsincidenten veiligheidsregio's

Basisinformatie voor operationeel leidinggevenden



Stralingsincidenten veiligheidsregio's

Basisinformatie voor operationeel
leidinggevendenden, versie 2017

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

Colofon

Titel: Stralingsincidenten veiligheidsregio's
Datum: 8 maart 2017
Status: Definitief
Versie: 2017
Auteur: Manon Oude Wolbers, Brandweeracademie,
vakgroepdecaan Risicomanagement & Gevaarlijke stoffen
Projectgroep: Hans Groot Kormelink, Stephan Schouten, Jette Bijlholt,
Peter van Beek, Chris Twenhöfel, Herman Schreurs, Frans Greven,
Jetty Middelkoop
Inhoudelijke bijdrage: Dick Arentsen, Jasper Derks, Marjolein Groot, Thorsten Hackl,
Jan Jacobs, Luc Kamphuis
Illustraties: Rob Kruitwagen, Margriet Elbersen
Eindverantwoordelijk: IFV, Expertisecentrum

Voorwoord

De publicatie *Stralingsincidenten veiligheidsregio's* is een kennisdocument met achtergrondinformatie over mogelijke incidenten met radioactieve stoffen, het mogelijk vrijkomen van ioniserende straling en het optreden door hulpdiensten bij dit type incidenten, ook wel stralingsincidenten genoemd. Dit document is samengesteld voor het personeel van operationele hulpdiensten en veiligheidsregio's.

Vervanging Radiologisch Handboek Hulpverleningsdiensten

De publicatie *Stralingsincidenten veiligheidsregio's* vervangt het *Radiologisch Handboek Hulpverleningsdiensten* (RHH) [2007, 2011]. De theoridelen van het RHH zijn in 2011 door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) geactualiseerd in een werkversie. De daarop volgende integrale herziening van het RHH heeft geleid tot deze publicatie. Het RHH vormt een belangrijke, nog te herkennen basis.

Totstandkoming van de publicatie *Stralingsincidenten veiligheidsregio's*

De Inspectie Leefomgeving & Transport (ILT) van het ministerie van Infrastructuur & Milieu (IenM), destijds beheerder van het Nationaal Crisisplan Stralingsincidenten (NCS), heeft het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) gevraagd om het RHH te actualiseren.

Vanaf 2014 zijn door het IFV concrete stappen gezet om een theoriedeel én een proceduredeel op te leveren dat geactualiseerd is en, qua toepasbaarheid, aansluit bij de wensen in het land. Uitgangspunten zijn hierbij geweest: samenhang, doelgroepgericht en functionaliteit.

De publicatie *Stralingsincidenten veiligheidsregio's* is ontwikkeld met behulp van een (kern)team van vakspecialisten, bestaande uit Peter van Beek (Veiligheidsregio Zeeland en Centrum voor Kernongevallenbestrijding, CKV), Jette Bijlholt (ILT, IenM) Frans Greven (GGD Groningen), Jetty Middelkoop (Brandweer Amsterdam-Amstelland), Herman Schreurs (Veiligheidsregio Noord-Oost Gelderland), Chris Twenhöfel (RIVM) en Manon Oude Wolbers, Stephan Schouten en Hans Groot Kormelink (allen Instituut Fysieke Veiligheid, IFV).

Validatie

Tijdens het schrijven van deze publicatie zijn meerdere inhoudelijke experts geconsulteerd en is input geleverd door vertegenwoordigers van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS), het ministerie van Veiligheid en Justitie (Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid, NCTV), het ministerie van Defensie (Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid, CEAG), Veiligheidsregio Brabant-Noord, Brandweer Midden-West Brabant, Brandweer Twente, Veiligheidsregio Utrecht en de Vakvereniging Brandweer Vrijwilligers.

De handreiking is inhoudelijk gevalideerd door het kernteam van vakspecialisten, RIVM, het CKV, afgevaardigden van de vakgroep Incidentbestrijding Gevaarlijke Stoffen (IBGS) van Brandweer Nederland en het platform van Gezondheidskundig Adviseurs Gevaarlijke stoffen (GAGS-platform) van GHOR Nederland.

Deze publicatie is vastgesteld door de ANVS en het IFV dat de formele beheerder is van deze publicatie. De ANVS is vanaf 2015 medeverantwoordelijk voor de voorbereiding op

stralingsincidenten en de implementatie van het NCS. Deze publicatie is één van de onderliggende documenten van het NCS.

Woord van dank

Wij willen de opstellers van het oorspronkelijke RHH bedanken voor hun bijdrage. Dit zijn: Ruud van Gurp (Erasmus MC Rotterdam), Ronald Smetsers (Centrum Veiligheid, RIVM) en Peter Görts (Centrum Veiligheid, RIVM, huidige werkgever ANVS).

Wij willen bovengenoemde leden van het kernteam, inhoudelijke experts en andere indieners van commentaar en suggesties hartelijk bedanken voor hun inbreng.

Een speciaal woord van dank geldt voor Manon Oude Wolbers, vakgroepdecaan Risicomanagement & Gevaarlijke stoffen van de Brandweeracademie (IFV), de auteur van deze publicatie.

Arnhem, 4 januari 2016

Instituut Fysieke Veiligheid

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'L.C. Zaal', followed by a horizontal line.

L.C. Zaal MPM
Algemeen directeur

Inhoud

Inleiding 8

Doelgroep en opbouw 9

Leeswijzer 9

1 Ioniserende straling 10

1.1 Notatie en eenheden 12

1.1.1 Notatie isotopen 12

1.1.2 Eenheden 12

1.2 Soorten straling 12

1.2.1 Alfastraling 13

1.2.2 Bètastraling 13

1.2.3 Gammastraling 14

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

2 Stralingsdosimetrie 18

2.1 Basisgrootheden 18

2.1.1 Activiteit, A 18

2.1.2 Dosis, D 18

2.1.3 Dosistempo, $\dot{D}$ 18

2.2 Limiterende grootheden 19

2.2.1 Effectieve dosis en weegfactoren 19

2.3 Operationele grootheden 20

2.3.1 Kwadratenwet 20

3 Bronnen ioniserende straling 22

3.1 Natuurlijke stralingsbelasting 22

3.2 Menselijk handelen 23

3.2.1 Bouwmaterialen 23

3.2.2 Medische behandeling en andere toepassingen 23

3.2.3 Categorie overig 23

3.3 De gemiddelde stralingsbelasting 24

3.4 Mogelijke toepassingen van radioactieve stoffen 25

3.5 Identificatie van radioactieve stoffen 26

3.5.1 Etiketten 26

3.5.2 Bebording voertuigen 27

3.5.3 Vervoersdocumenten 27

3.5.4 Waarschuwingssymbool 27

4 Gezondheidseffecten 28

4.1 Deterministische effecten 29

4.2	Stochastische effecten	30
4.3	Inwendige besmetting	31
4.4	Medische behandeling	31
5	Blootstellingspaden voor radioactieve stoffen	32
5.1	Incidenten met een gesloten bron: externe straling	32
5.2	Incidenten met een open bron: besmetting en straling	33
5.3	Samenvatting blootstellingspaden	34
5.4	Gevaarlijke stoffen versus radioactieve stoffen	35
6	Stralingsbescherming	37
6.1	Handelingen	37
6.2	Interventies	38
7	Metten hulpverleners	41
7.1	Metten externe stralingsniveaus	41
7.1.1	Automess 6150AD1	42
7.1.2	ADOS	42
7.2	Externe sondes	43
7.2.1	Sonde 6150AD-15: γ -sonde, hoog bereik	43
7.2.2	Sonde 6150AD-18: γ -sonde, laag bereik	43
7.3	Oppervlaktebesmettingsmetingen	43
7.3.1	Sonde 6150AD-17: $\alpha\beta\gamma$ -sonde, besmettingsmonitor, klein meetoppervlak	44
7.3.2	Sonde 6150AD-k: $\alpha\beta\gamma$ -sonde, besmettingsmonitor, groot meetoppervlak	44
7.4	Landelijk meetnet	46
7.4.1	Nationaal meetnet radioactiviteit (NMR)	46
7.4.2	Landelijk meetnet radioactiviteit in voedsel	46
7.4.3	Drinkwater	46
7.5	Meetstrategie bij kernongevallen	46
8	Stralingsincidenten	47
8.1	A-scenario's	47
8.2	B-scenario's	50
8.3	Daadwerkelijk voorgekomen stralingsincidenten	52
8.4	Achtergrondinformatie specifieke A-incidenten	53
8.4.1	Kernreactor	53
8.4.2	Radiologisch defensiemateriaal	53
8.4.3	Vuile bom	55
9	Interventie	57
9.1	Maatregelen optreden brandweer	57
9.1.1	Algemene maatregelen bij stralingsincidenten: gesloten bron	57
9.1.2	Specifieke maatregelen bij het vrijkomen van radioactieve stoffen: open bron	59
9.1.3	Specifieke maatregelen bij brand met radioactieve stoffen: bron in brand	60
9.1.4	Adembescherming	60
9.2	Maatregelen A-incidenten	61
9.2.1	Directe maatregelen	62
9.2.2	Indirecte maatregelen	62
9.2.3	Maatregelzones en rol hulpdiensten	63
9.3	Besmettingscontrole en verwijderen van besmetting	63
9.3.1	Besmettingscontrole	64
9.3.2	Interventieniveaus voor besmetting	64

- 9.3.3 Verwijderen besmetting 64
- 9.3.4 Behandelprotocollen GHOR 65
- 9.3.5 Besmette omgeving 67

10 Begrippenlijst 68

11 Afkortingenlijst 77

12 Bronnen 82

Inleiding

Operationele hulpdiensten kunnen te maken krijgen met incidenten waarbij ioniserende straling en/of radioactieve stoffen vrij kunnen komen. Voorbeelden van stralingsincidenten zijn: 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 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.

Stralingsincidenten veiligheidsregio's beschrijft theoretische, radiologische basiskennis die bruikbaar is om sneller en eenvoudiger te kunnen beslissen over de wijze van optreden bij stralingsincidenten. Deze publicatie helpt bij het kunnen afwegen van het resultaat van de inzet tegen de risico's voor het in te zetten personeel. Het beschrijft alleen onderwerpen die specifiek zijn voor stralingsincidenten. Reguliere werkwijzen en procedures - zoals de procedure incidentbestrijding gevaarlijke stoffen, kleinschalige en grootschalige 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 publicatie *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. Echter voor het optreden bij stralingsincidenten is dat 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

Dit document 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. Dit document bevat zowel basisinformatie als meer specialistische informatie. De hoofdttekst 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 hoofdttekst uit *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Achtergrondinformatie*.
3. *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Operationele handreiking*
Dit document is samengesteld voor beide doelgroepen en bestaat uit een aantal aandachtsskaarten en formulieren. Ook hier is onderscheid gemaakt in een algemeen deel en een deel met aandachtsskaarten 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*.

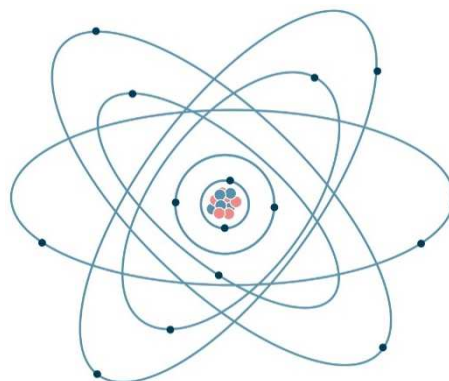
Leeswijzer

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 er op 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. Mochten zich tot slot stralingsincidenten voordoen, dan zijn er verschillende maatregelen die getroffen kunnen worden om de effecten van blootstelling te beperken; een overzicht hiervan staat beschreven in Hoofdstuk 9.

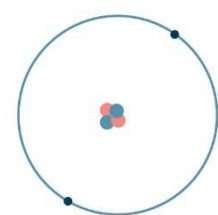
1 Ioniserende straling

Elke stof is opgebouwd uit uiterst kleine deeltjes, de atomen. Een atoom is het kleinste deeltje dat de eigenschappen van de stof heeft. 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.

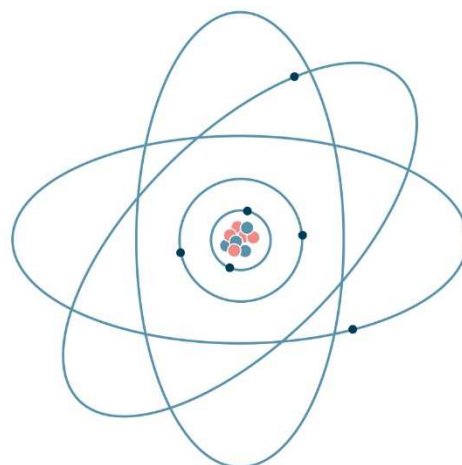


Figuur 1.1 Opbouw atoom



Helium ${}^4_2\text{He}$

- proton
- neutron
- elektron



Koolstof ${}^{12}_6\text{C}$

Figuur 1.2 Opbouw van een atoom helium en een atoom koolstof

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

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. Dus sommige combinaties van protonen en neutronen in atoomkernen zijn 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 stof gaat over naar een stof met een stabielere atoomkern via een zogenoemde desintegratie of splijting. Stoffen kunnen dus radioactief zijn en daardoor ioniserende straling uitzenden; de straling zelf is niet radioactief maar ioniserend.

De snelheid waarmee of het tempo waarin de kernen van een radioactieve bron vervallen, heet activiteit. Activiteit is het aantal atomen dat per seconde verval. 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 warmte. Dit wordt bijvoorbeeld gebruikt in kernenergiecentrales bij het opwarmen van water waarmee turbines worden aangedreven.

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 opgewekt worden met bepaalde toestellen, zoals röntgenapparaten en CT-scanners of deeltjesversnellers. In de medische wereld wordt dankbaar gebruik gemaakt 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 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 notaties worden gebruikt:

- > Fosfor-32
- > P-32
- > ^{32}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	$1 / 1.000.000.000 \times$	k	kilo	$1.000 \times$
μ	micro	$1 / 1.000.000 \times$	M	mega	$1.000.000 \times$
m	milli	$1 / 1.000 \times$	G	giga	$1.000.000.000 \times$
c	centi	$1 / 100 \times$	T	tera	$1.000.000.000.000 \times$
d	deci	$1 / 10 \times$	P	peta	$1.000.000.000.000.000 \times$

Dus $1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv}$ en $1 \text{ mSv} = 1000 \mu\text{Sv}$.

Ook geldt $1 \text{ TBq} = 1000 \text{ GBq}$ 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.

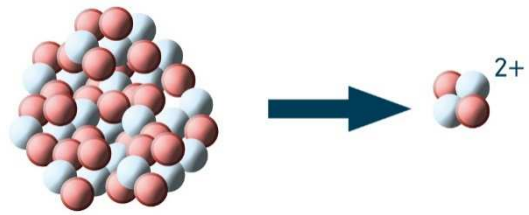
Indirecte ionisatie kan veroorzaakt worden door elektromagnetische straling met een hoge frequentie (golflengte < 100 nanometer) dus veel energie per deeltje. Elektromagnetische straling van lagere frequentie, van radiostraling tot en met ultraviolette straling, heeft een te lage energie en wordt daarom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

Straling wordt vaak onderverdeeld naar de energie per deeltje of foton. 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 sectie 1.3).

1.2.1 Alfastraling

Alfastraling (α -straling) bestaat uit geladen deeltjes die relatief groot en zwaar zijn. α -deeltjes hebben de hoogste lading van de verschillende stralingstypen. Ze bestaan uit twee protonen en twee neutronen en zijn $2+$ geladen. α -deeltjes worden ook wel heliumkernen genoemd, He^{2+} maar hebben dan wel een hoge kinetische energie.



Figuur 1.3 α -deeltje splitst af uit kern

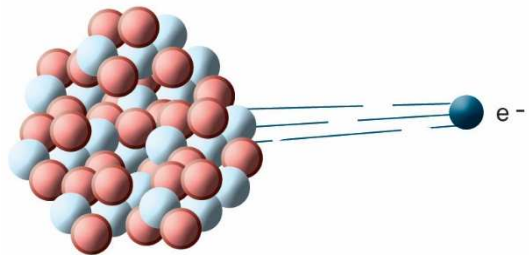
Een α -deeltje is erg zwaar ten opzichte van elektronen (zie β -straling). Vooral zware radioactieve kernen zenden α -straling uit (zie Figuur 1.3). Door de grootte van de α -deeltjes is de weerstand groot en geven ze snel hun energie af. De dracht van α -deeltjes is daarom heel klein, slechts enkele centimeters in lucht. De grootte van de deeltjes zorgt er ook voor dat het beschadigend vermogen van α -straling groot is; bij contact wordt de energie direct volledig geabsorbeerd. Het spoor van een α -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 α -straling is dus heel klein. α -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 (oppervlakte) al voldoende. Een bekende toepassing van een α -straler is het gebruik in rookmelders.

Kenmerken van α -deeltjes zijn: groot, tweevoudige lading ($2+$), hoge snelheid, geven snel energie af, laag doordringend vermogen, richten veel schade aan, directe ioniserende straling.

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

1.2.2 Bètastraling

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



Figuur 1.4 β -deeltje splitst af uit kern

β -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 α -deeltjes. Zo'n botsing is te vergelijken met een poolbiljartspel. β -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 β -straling onvoldoende afscherming. Een volledige brandweerruitrusting (uitrukpak, helm en gelaatsbescherming) beschermt het lichaam wel goed af tegen β -straling van buitenaf.

β -deeltjes kunnen bij uitwendige besmetting enkele millimeters door de huid dringen en verbranding veroorzaken. Een toepassing van β -straling is de diktemeting van papier in de

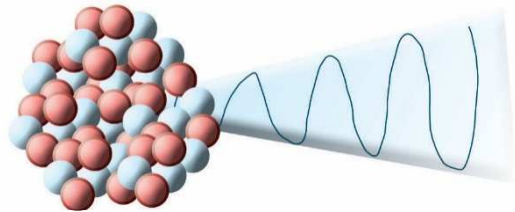
papier-producerende industrie. In zogenaamde radionuclidenlaboratoria (C-laboratoria) in ziekenhuizen en academische instellingen wordt vaak radioactief fosfor gebruikt om biologische moleculen radioactief te maken; de radioactieve moleculen zijn dan in een proefdier of proefopstelling goed te volgen.

Kenmerken van β -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 β -stralers zijn: fosfor-32, lood-214 en -210, bismuth-214 en -210.

1.2.3 Gammastraling

Gammastraling (γ -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 γ -straling.



Figuur 1.5 γ -straling komt vrij uit kern

γ -straling heeft een hoger doordringend vermogen dan α - en β -straling en is vaak moeilijk af te schermen. γ -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 α - en β -deeltjes. De kans op een botsing is het grootst bij materiaal met een grote soortelijke massa zoals lood. Daarom worden γ -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 γ -straling zijn bronnen voor de controle van lasnaden in o.a. pijpleidingen en ijk- en referentiebronnen. Sommige bestralingsbronnen in ziekenhuizen bevatten ook grote hoeveelheden γ -stralers.

Kenmerken van γ -straling: energiepakketjes, geen deeltjes dus moeilijker af te schermen, geen lading, hoog doordringend vermogen, indirecte ioniserende straling.

Voorbeelden van γ -stralers zijn: technetium-99m en indium-113m.

1.2.4 Röntgenstraling

Röntgenstraling (rö-straling) wordt ook wel X-ray of X-straling genoemd en is vergelijkbaar met γ -straling maar heeft meestal een lagere energie. Rö-straling wordt opgewekt in een röntgentoestel voor diagnostiek. Het grote verschil met γ -straling is dat rö-straling uit te schakelen is maar een γ -bron niet. Zwaardere stoffen houden rö-straling beter tegen dan lichtere stoffen.

Een bot in het menselijk lichaam houdt meer ioniserende straling tegen dan een stukje vet of een spier. De rö-straling 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.



Figuur 1.6 Röntgenfoto van een hand

De in een röntgentoestel opgewekte straling 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 sectie 3.5.4) maar wekt alleen straling op als deze 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: vergelijkbaar met γ -straling, lagere energie, in- en uit te schakelen.

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. 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 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: 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

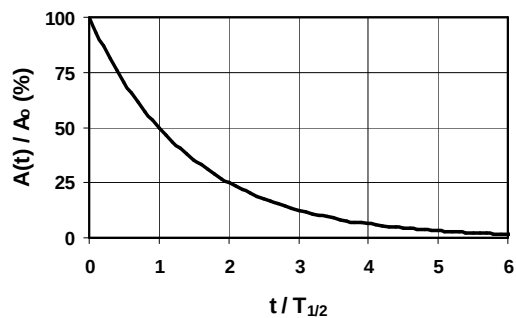
radionuclide	notatie	α	β	γ
americium	Am-241	X	–	–
uranium-reeks	U-238	X	X	X
radon-reeks	Ra-226	X	X	X
jood	I-231	–	X	X
molybdeen – technetium	Mo-99/Tc-99m	–	X	X
krypton	Kr-85	–	X	X
cobalt	Co-60	–	X	X

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).

Typerend voor exponentieel verval is dat altijd na steeds een zelfde 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 (let op: natuurlijke schaal Y-as)

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

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).

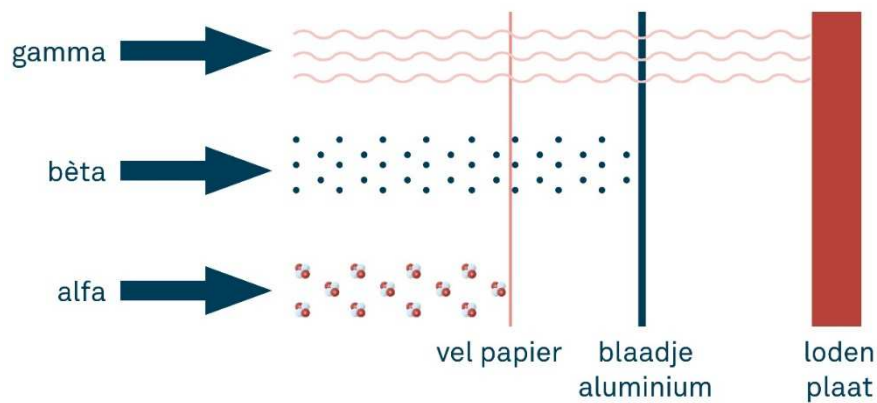
Deze eigenschappen worden bijvoorbeeld gebruikt bij het bepalen van de leeftijd van koolstofhoudende voorwerpen.

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 α -straling in lucht is maximaal 7 centimeter, in weefsels 60 μm , en in vaste stoffen slechts een duizendste centimeter. Het verschil wordt veroorzaakt door de soortelijke massa van de materie waardoor de α -straling beweegt. α -straling wordt dus door kleding en zelfs door de (dode) opperhuid tegengehouden. Daarom is α -straling ook niet gemakkelijk te meten.

Omdat β -deeltjes (elektronen) lichter en kleiner zijn dan α -deeltjes kunnen ze een grotere afstand afleggen en verder doordringen in materie. In lucht is de dracht van een β -deeltje maximaal 10 meter terwijl deze in vaste stoffen en weefsel hooguit 13 millimeter bedraagt. Er zijn een paar weinig voorkomende β -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 β -bron voldoende veilig is.

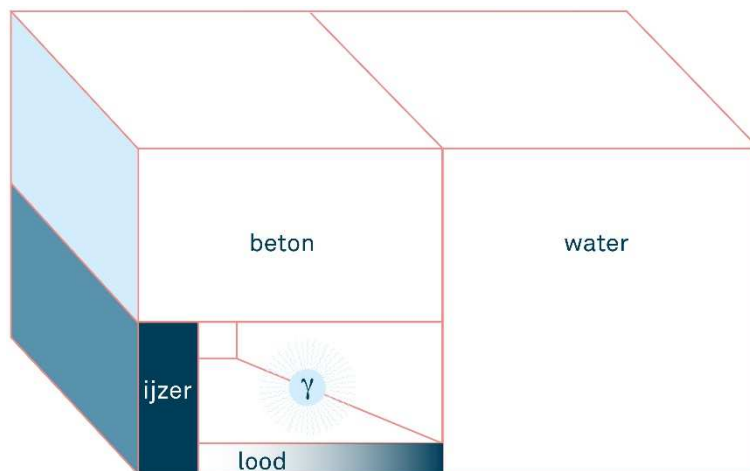
De energiepakketjes (fotonen) in γ -straling hebben geen massa en geen lading en gaan daarom minder makkelijk interacties aan. Er is daarom eigenlijk geen echte dracht aan toe te kennen. γ -straling wordt door honderden meters lucht nauwelijks tegengehouden maar wordt wel verzwakt als het door materie gaat. Alleen zware materialen zoals lood of metersdik beton, zijn voldoende om γ -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: α -straling wordt tegengehouden door een vel papier, β -straling door een blaadje aluminium en γ -straling door een loden plaat.

1.3.3 Halveringsdikte

Voor het afschermen van ioniserende straling kunnen verschillende materialen worden toegepast, zoals lucht, beton, perspex, 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 in Figuur 1.9 verschillende halveringsdikten van afschermingsmaterialen voor een γ -bron. Hoe dichter het materiaal is, hoe meer moeite de straling heeft om er doorheen te komen.



Figuur 1.9 Illustratie van halveringsdiktes van verschillende afschermingsmaterialen voor een γ -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 $[s^{-1}]$, maar 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 Dosis, D

Ioniserende straling geeft zijn 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. Het gevaar wordt uitgedrukt in de hoeveelheid stralingsenergie die geabsorbeerd wordt door het lichaam; dit noemen we de dosis (symbool: D). De 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 dosis per tijdseenheid, ook wel dosistempo genoemd. Het dosistempo wordt uitgedrukt in Gray per uur $[\text{Gy/u}]$ en aangeduid met een 'rondje' boven de D. Omdat dosistempo's meestal laag zijn wordt dit vaak in milliGray (eenduizendste Gy) of microGray (eenmiljoenste Gy) weergegeven; de eenheid wordt dan mGy/u of $\mu\text{Gy/u}$. Vaak wordt voor uur ook het Engelse hour 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 α -straling 20x schadelijker is dan β - en γ -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 (hebben geen eenheid).

Stap 1 is het bepalen van de orgaandosis D_T . De orgaandosis wordt gebruikt om de schadelijkheid van straling in te kunnen schatten 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 op het bestraalde orgaan of weefsel.

Stap 4 is het berekenen van de effectieve dosis E. Dit is de totale dosis opgelopen over

Tabel 2.1 Stralings- en weefselweegfactoren (ICRP 103, 2007)

straling	stralingsweegfactor w_R
α -deeltjes	20
β -deeltjes	1
γ -straling	1
weefsel of orgaan T	weefselweegfactor w_T voor elk orgaan:
1. rood beenmerg	0,12
2. dikke darm (colon)	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 (thyroid)	0,04
1. huid	0,01
2. botoppervlak	0,01
3. hersenen	0,01
4. speekselklieren	0,01
TOTAAL (6x 0,12 + 1x 0,08 + 4x 0,04 + 4x 0,01)	1,00

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 daadwerkelijke 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]. Dus $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$.

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

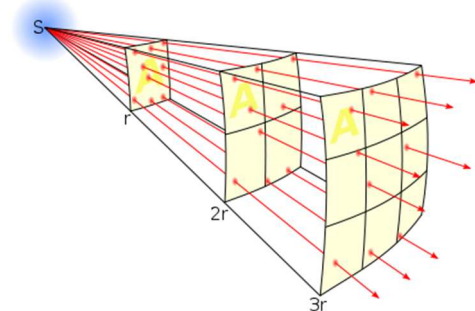
2.3 Operationele grootheden

De grootheid die gemeten wordt met de Automess 6150AD1 (zie sectie 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. Dat 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.



Figuur 2.1 Bolvormige verspreiding van straling: kwadratenwet

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

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 2×2 is 4 maal zo laag.

Let op: de kwadratenwet geldt voor puntbronnen, dus stralingsbronnen met een afmeting die erg klein is t.o.v. de afstand r . Bij een grote oppervlaktebesmetting, bijvoorbeeld na een kernramp, geldt deze regel dus 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 ongeveer 140 mSv per uur. Op 2 meter afstand is het dosistempo met een factor $2^2 = 4$ afgenomen tot ongeveer 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 $\mu\text{Sv/u}$. 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 uitgerekend 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 $t = 2 / 10 = 0,2 \text{ u} = 0,2 \times 60 \text{ min} = 12$ minuten.

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

afstand tot bron bij meten 25 $\mu\text{Sv/u}$	inzetijd 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

3 Bronnen ioniserende straling

Mensen worden continu blootgesteld aan ioniserende straling omdat deze rondom ons aanwezig is. Een groot deel van deze straling heeft een natuurlijke oorsprong maar ook (medische) toepassingen dragen voor een belangrijk deel bij aan de stralingsbelasting. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de stralingsbelasting in Nederland. De totale jaardosis¹ per lid van de bevolking is ruim 2,5 mSv per jaar.

3.1 Natuurlijke stralingsbelasting

Er is altijd ioniserende straling aanwezig waarvan een deel niet te vermijden is; dit noemen we de achtergrondstraling ofwel natuurlijke stralingsbelasting.

Twee natuurlijke bronnen zijn bepalend voor de achtergrondstraling. Kosmische straling is afkomstig van de zon en van bronnen buiten het zonnestelsel. Door de kosmische straling wordt de aarde van alle kanten voortdurend 'bestookt'. Dit veroorzaakt kernreacties waardoor ander materiaal radioactief wordt. De bijdrage van de kosmische straling is gemiddeld 0,24 mSv/j.

De aardbodem bevat natuurlijke, radioactieve stoffen, waardoor straling uit de bodem vrijkomt. Dit noemen we terrestische straling (terra = aarde).

Tabel 3.1 Jaarlijkse dosis door blootstelling aan ioniserende straling in 2012 [Bron: RIVM]

bron	bijdrage dosis per jaar [mSv/jaar]	%
kosmische straling	0,24	9
straling uit de aarde (terrestische straling)	0,04	1
radon/thoron in woning	0,65	26
inwendige bestraling (inslikken, voeding etc.)	0,30	12
straling uit bouwmaterialen	0,35	14
straling bij medische behandeling	0,93	37
overig	0,03	1
totaal	2,54	100

Ook kunnen radioactieve gassen (radon en thoron) uit de bodem ontsnappen. Inademing van deze gassen en hun vervalproducten (die zich heel goed kunnen hechten aan fijne stofdeeltjes) draagt bij aan de stralingsdosis van de mens. In een bebouwde omgeving wordt de straling uit de bodem deels afgeschermd, maar bouwmaterialen zelf geven ook weer straling af (zie volgende sectie). In stedelijk gebied is de terrestische achtergrondstraling normaal gesproken vergelijkbaar en draagt zo'n 1% bij aan de achtergrondstraling.

¹ De stralingsweegfactor (w_R) is 1 voor de achtergrondstraling dus de dosis D en equivalente dosis H zijn gelijk aan elkaar.

De radioactieve stoffen uit de bodem komen ook in ons voedsel terecht. Door inademing en inslikken van voedsel en drank vindt inwendige besmetting plaats; dit draagt voor 12% bij aan de stralingsbelasting. De gemiddelde activiteit van kalium-40 in ons lichaam is ongeveer 4.000 Bq.

De jaardosis die een Nederlander zou oplopen als hij zich altijd buiten (in een natuurlijke omgeving) zou bevinden is ongeveer 1,2 mSv. Dit is de som van 0,24 mSv voor kosmische straling, 0,04 mSv voor externe straling uit de bodem, 0,65 mSv voor straling door inademing van vervalproducten van gasen uit de bodem en 0,30 mSv voor straling uit voedsel.

3.2 Menselijk handelen

3.2.1 Bouwmaterialen

Bouwmaterialen die gemaakt zijn van grondstoffen uit de bodem kunnen een bron van straling zijn als deze natuurlijke radionucliden bevatten. Uit natuurlijke bouwmaterialen zoals beton komt het radioactieve radon (en thoron) vrij. De vervalproducten van radon, ook wel de radondochters genoemd, kunnen zich hechten aan stofdeeltjes. Als deze stofdeeltjes worden ingeademd blijven de radondochters achter in de luchtwegen en geven daar hun straling af. Dit kan longkanker veroorzaken. De straling in gebouwen loopt dus op en kan een factor 10 hoger zijn dan buiten; dit is afhankelijk van de mate van ventilatie van het gebouw. Bouwmaterialen (waarin zich radon bevindt) dragen relatief veel bij aan de jaarlijks opgelopen dosis door ioniserende straling (0,35 mSv/jaar, 14%). Met enkele honderden doden per jaar in Nederland vormt radon na roken de belangrijkste oorzaak van longkanker.

3.2.2 Medische behandeling en andere toepassingen

Sommige stralingsbronnen hebben alleen een kunstmatige oorsprong, bijvoorbeeld de straling bij het maken van röntgenfoto's. Medische toepassingen zoals het maken van een röntgenfoto of een CT-scan leveren gemiddeld de hoogste bijdrage (37%) aan de stralingsbelasting (0,93 mSv/jaar).

Industriële toepassingen van stralingsbronnen dragen maar voor een klein deel bij aan de stralingsbelasting. Zie voor een overzicht van mogelijke toepassingen sectie 3.4.

3.2.3 Categorie overig

De categorie 'Overig' is een optelsom van een aantal bronnen:

- > Op grote hoogte wordt minder kosmische straling 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 80 μ Sv effectieve dosis op. Een gemiddelde astronaut ontvangt dagelijks een dosis van 0,1 mSv.
- > De jaardosis per inwoner van Nederland door radioactiviteit in gebruiksartikelen is sterk afgenomen en wordt geschat op 0,3 μ Sv. Radioactieve stoffen werden vooral in het verleden toegepast in rookmelders, wijzerplaten, camera's en gloeilampen. Veel van deze producten zijn uit de handel genomen.
- > Een aantal bedrijven en instellingen in Nederland loost radioactieve stoffen in de lucht of in het water. Door de toepassing van straling in sommige instellingen kunnen ook mensen buiten de instelling aan straling worden blootgesteld. Voorbeelden zijn ziekenhuizen, nucleaire installaties en de procesindustrie. De gemiddelde jaardosis per inwoner van Nederland door deze bronnen is kleiner dan 0,01 mSv.

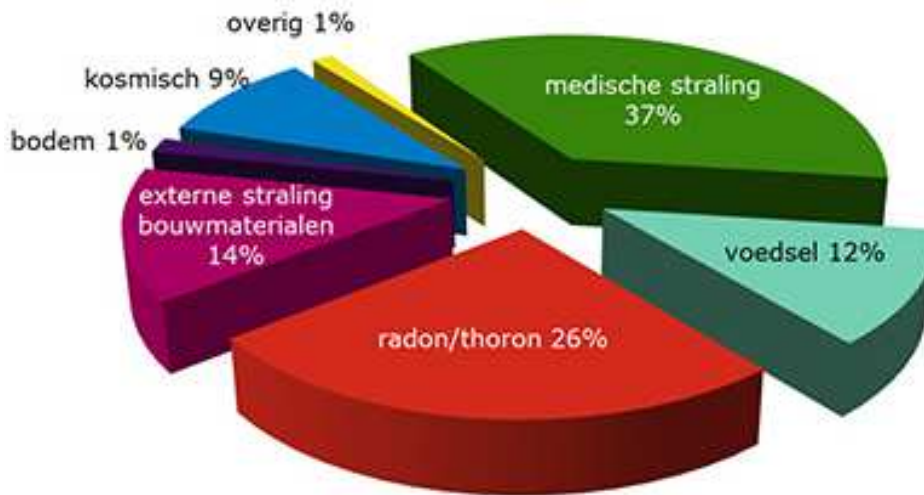
- > Bovengrondse kernwapenproeven en incidenten met nucleaire installaties hebben radioactiviteit in de atmosfeer gebracht. De jaardosis per inwoner van Nederland als resultaat van deze bronnen wordt geschat op maximaal 0,02 mSv.

3.3 De gemiddelde stralingsbelasting

De gemiddelde stralingsbelasting wordt bepaald door alle stralingsdoses die Nederlanders oplopen bij elkaar op te tellen (de collectieve dosis) en te delen door het aantal inwoners van Nederland. Daarbij is de dosis die patiënten oplopen bij therapeutische behandeling in ziekenhuizen niet meegenomen. Vanzelfsprekend worden sommige mensen meer blootgesteld aan straling dan anderen. Wie veel vliegt, regelmatig een CT-scan ondergaat of beroepsmatig met straling werkt, loopt jaarlijks een hogere dosis op dan de meeste andere Nederlanders. Er zijn niet veel mensen die minder dan 1 mSv per jaar oplopen. Merk op dat de achtergrondstraling een optelsom is van externe straling en inwendige besmetting (zie ook Hoofdstuk 5).

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 oplopen. Hieruit blijkt dat de grootste bijdrage wordt geleverd door straling die wordt opgelopen door medische diagnostiek.

In vergelijking met de ons omringende landen is de stralingsdosis voor leden van de bevolking in ons land laag. Vooral de relatief lage radonconcentratie in woningen en de relatief lage gemiddelde stralingsbelasting door medisch diagnostisch onderzoek zijn hiervan de oorzaak.



Figuur 3.1 De gemiddelde stralingsbelasting (peiljaar 2012) [RIVM]

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 γ -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 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
 - contrastmiddelen om bijvoorbeeld bloedbanen zichtbaar te maken
 - behandelen van tumoren
- > landbouw:
 - gebruik van radioactieve atomen (tracers) in bijvoorbeeld voedsel, kunstmest, bestrijdingsmiddelen
 - bestraling van planten voor het veranderen van eigenschappen, bijvoorbeeld kleur, grootte
 - bestrijden van dierplagen
- > (wegen)bouwkundige controles:
 - vocht- en diktemetingen van asfalt (bijvoorbeeld Troxler)
 - controle van lasnaden in pijpleidingen
 - aanbod radioactief schroot
 - transport
- > radiologisch defensiemateriaal
- > radionuclidenlaboratorium: onderzoek naar gedrag van stoffen in bijvoorbeeld proefdieren, celculturen, chemische reacties
- > kernenergiecentrales: energieopwekking uit radioactieve stoffen, bijvoorbeeld uranium. De enige operationele kernenergiecentrale in Nederland ligt in Borssele (EPZ, zie Figuur 3.2).



Figuur 3.2 Kernenergiecentrale Borssele



Figuur 3.3 Opslag radioactief afval bij Covra

- > 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 Vlissingen.

Voor medische toepassingen kan iemand aan een relatief hoge dosis worden blootgesteld. De foto in Figuur 3.4 laat zien hoe een brandweer-collega een meting doet ter hoogte van zijn blaas nadat hij een injectie heeft gehad met een radioactieve vloeistof (technetium-99m) vooraf 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 nog opgelopen tot bijna 800. De blootstelling is wel kortdurend omdat de halfwaardetijd van dit 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 *Radionuclidentabel* bij het document *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Achtergrondinformatie*; 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 gevarenszone, bijvoorbeeld als een verpakking door brand bedreigd wordt.

Er bestaan geen chemiekaarten voor radioactieve stoffen en er zijn 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 (*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 splijtstoffen, met opschrift *Fissile* op etiket: alleen voor splijtstoffen.



Figuur 3.5 Etiketten voor het vervoer van radioactieve stoffen

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).

3.5.2 Bebording voertuigen

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

- > de algemene oranje waarschuwborden 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 4 stuks 7D ook 4 stuks 7A, 7B of 7C borden zijn geplaatst. Alternatief is alléén 4 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. In 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.

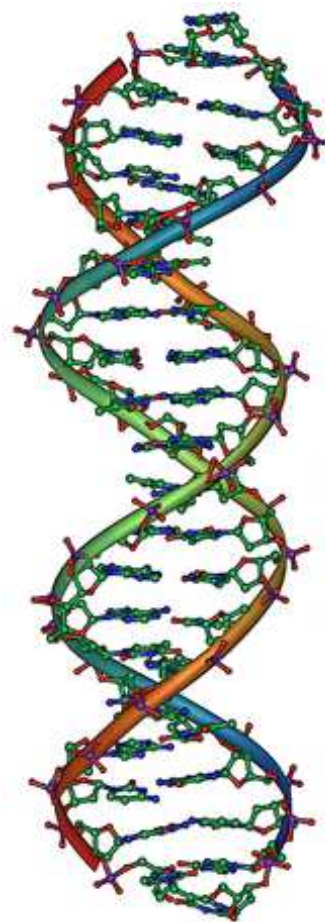


Figuur 3.6 Waarschuwing

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 4.1). DNA is de biologische computercode voor alle processen die in het levende organisme plaatsvinden. Om als organisme te groeien of om in 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 4.1 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 op te leveren om goed te kunnen blijven functioneren. Bloedcellen sterven bijvoorbeeld continu af en worden ook weer aangemaakt. Maar als er teveel 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 nog wel gewoon delen, maar er zit een weeffoutje 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 bloed, beenmerg, mannelijke geslachtsorganen) het meest gevoelig zijn. Ook de ooglenzen zijn 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 effecten die worden veroorzaakt door functieverlies van weefsels of organen. Deze effecten kunnen kort na de bestraling optreden, variërend van enkele uren tot 1 à 2 maanden, maar ze kunnen zich ook 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. Onder deze drempeldosis treden de effecten niet op. Boven de drempeldosis neemt de ernst van het effect sterk toe met toenemende stralingsdosis. Deterministische effecten zijn dus 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 zenuwstelsel (CZS)-syndroom.

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 hij later alsnog overlijden door het later optredende beenmergsyndroom. Vanaf een dosis van 50 Gy en hoger treedt het hersensyndroom op. Sterfte treedt op tussen 1 uur en 2 dagen na bestraling.

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 onbestraalde 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.

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, sterftেকans 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

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 effecten optreden. Het belangrijkste stochastische effect is een verhoogde kans op kanker. Eventuele stochastische effecten openbaren zich pas vele jaren na blootstelling. Voor de typische latentietijd (tijd tussen het oplopen van de dosis en het optreden van een ziekte) van leukemie wordt 10 jaar aangehouden en voor die van solide tumoren 25 jaar; de verdeling is echter heel breed.

Blootstelling aan een lage intensiteit van ioniserende straling verhoogt **de kans** op het ontstaan van kanker. Blootstelling aan straling betekent 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 vergelijkbaar met het kopen van loten in een loterij: veel loten vergroten 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. Overigens geldt voor lage doses (vergelijkbaar met de jaarlijkse stralingsbelasting) dat de kans op het ontstaan van kanker niet aantoonbaar hoger ligt dan 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.

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 dodelijke kanker is 5% per Sv (voor volwassen werkers).
- > 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 vervalst, wordt er straling uitgezonden en (deels) geabsorbeerd. α -deeltjes kunnen lokaal zwaardere schade aan het DNA toebrengen dan β -deeltjes en fotonen door de grootte van de deeltjes en de lading. Bij inwendige besmetting worden organen over een 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, etc.).
- > 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:

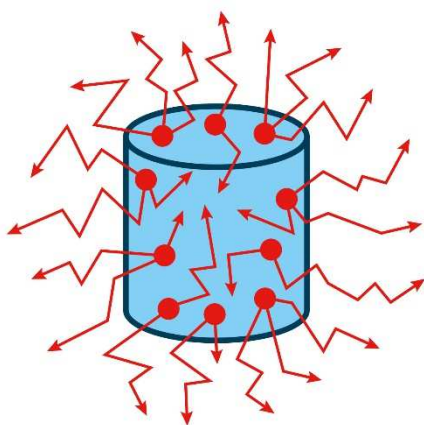
- > Bij besmetting met radioactief jodium-131 kunnen kaliumjodaat- of kaliumjodidetabellen voorgeschreven worden (jodiumprofylaxe). Het innemen van jodiumtabletten zorgt ervoor dat de schildklier verzadigd wordt door stabiel jodium zodat radioactief jodium niet opgenomen wordt. Dit is alleen zinvol als dit kort vóór of binnen enkele uren na de besmetting gebeurt en alleen voor jongere mensen (< 40 jaar).
- > Bij besmetting met radioactief cesium-137 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

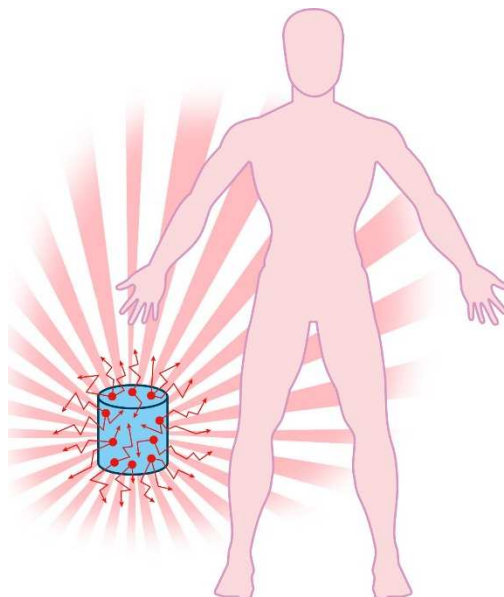
Bij incidenten met radioactieve stoffen maken we onderscheid tussen incidenten waarbij de radioactieve bron wel of niet open is. Als de verpakking niet beschadigd is en de omhulling aanwezig is spreken we van een gesloten bron; de radioactieve stof blijft in de bron. Als de verpakking of omhulling beschadigd 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

Bij een gesloten radioactieve bron die **niet** beschadigd is, komt de radioactieve stof niet vrij, maar functioneert de afscherming van de bron niet goed (zie Figuur 5.1). Vooral γ -straling levert dan een gevaar voor externe straling op, dit wordt in de volksmond ook wel 'bestraling' genoemd. Ook röntgen- en neutronenbronnen veroorzaken een extern stralingsveld. α -straling zal niet vrij kunnen komen als de bron niet beschadigd is. β -straling zal door de beperkte dracht (bij voldoende afstand houden) geen gevaar opleveren. Bij incidenten met een gesloten bron komen dus geen radioactieve stoffen vrij in de omgeving. Dit is te vergelijken met het maken van een röntgenfoto. 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.



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



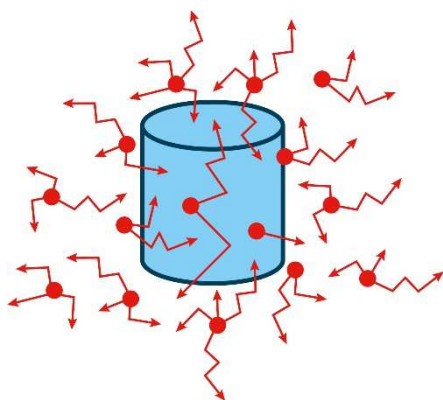
Figuur 5.2 Persoon bevindt zich in extern stralingsveld: GEEN direct contact met radioactieve stof en GEEN besmetting

Personen die bestraald zijn, worden NIET radioactief en zijn niet in contact geweest met een gevaarlijke stof en kunnen NIET besmet raken. Personen 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.

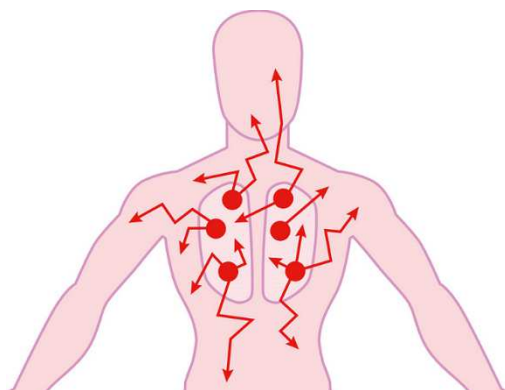
5.2 Incidenten met een open bron: besmetting en straling

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.

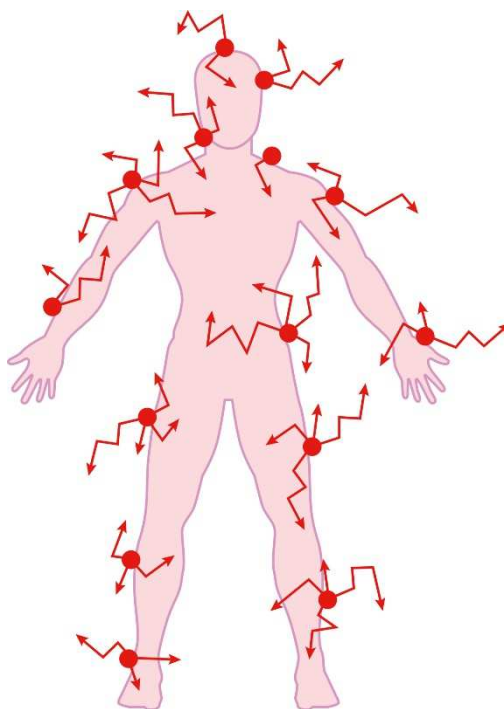
Na verloop van tijd zullen de radioactieve deeltjes neerslaan, waardoor de omgeving met alle aanwezige personen, dieren, en objecten, besmet kan worden. Neergeslagen radioactieve deeltjes in de omgeving wordt ook wel 'fall-out' genoemd.



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 α - en/of β -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.

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 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 opdwarrelen. 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 de 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 opdwarrelen kunnen personen radioactieve deeltjes inademen.

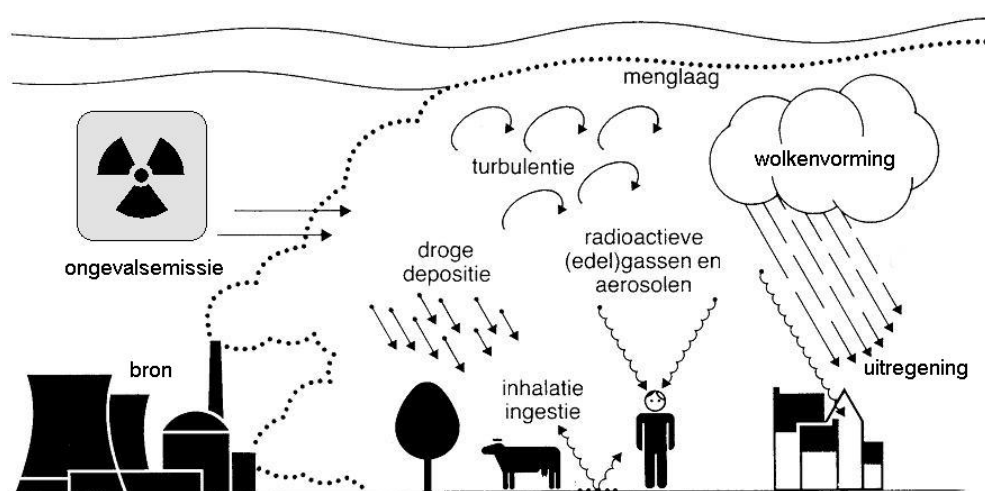
Afhankelijk van de omstandigheden kunnen de verschillende blootstellingspaden gelijktijdig optreden.

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 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, slijmvlies, 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 (α -, β - en/of γ -straling); dit is vaak een combinatie van verschillende soorten straling en niet maar 1 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 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 en 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. Dit is uiteraard ook afhankelijk van de snelheid waarmee de radioactieve stof het lichaam op natuurlijke wijze verlaat via uitscheiding (eliminatie). Let wel op mogelijk andere gezondheidsschadelijke effecten van de stof; een stof kan bijvoorbeeld naast radioactief ook bijtend zijn.
- > Daarnaast hebben grote stralingsincidenten zoals in een kernenergiecentrale een aanlooptijd van enkele uren of dagen: je ziet het aankomen maar het is niet te stoppen. Dit geeft tijd om maatregelen te treffen voordat het daadwerkelijke incident plaatsvindt.

6 Stralingsbescherming

Stralingsbescherming is er op gericht om de risico's van blootstelling aan ioniserende straling te beperken voor iedereen. De Kernenergiewet en het Besluit stralingsbescherming bevatten alle wettelijke bepalingen over ioniserende straling in Nederland. Omdat de effecten van straling, bijvoorbeeld de ontwikkeling van een tumor vele jaren kan duren is het altijd belangrijk om de dosis zoveel mogelijk te beperken. Uitgangspunt van de stralingsbescherming is dat acute effecten nooit op mogen treden, dus overschrijding van de hoge drempeldosis moet voorkomen worden én de kans op kanker moet zo goed mogelijk beperkt worden! Dat geldt ook voor hulpverleners! De dosis die iemand oploopt bij het uitoefenen van zijn beroep wordt gemeten en geregistreerd. Er gelden strenge regels voor het gebruik van ioniserende straling in de buurt van personen. Wereldwijd geeft de ICRP aanbevelingen op het gebied van stralingsbescherming. Voor Nederland is dit vertaald naar het Besluit Stralingsbescherming. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen zogenaamde *handelingen* en *interventies* en tussen verschillende groepen van personen.

De stralingsbescherming is gebaseerd op drie grondbeginselen. Deze grondbeginselen zijn:

- > **Rechtvaardiging:** elke activiteit (zowel handelingen als interventies) die blootstelling aan ioniserende straling meebrengt, mag alleen plaatsvinden als zij nut heeft; de voordelen moeten de nadelen overtreffen, de kosten moeten opwegen tegen de baten.
- > **ALARA en optimalisatie:** elke blootstelling moet zo beperkt gehouden worden als redelijkerwijs mogelijk is.
Voor handelingen geldt ALARA: dit betekent As Low As Reasonable Achievable.
Voor interventies geldt optimalisatie: de balans tussen de nadelen van de interventie en de te behalen voordelen moet zo gunstig mogelijk uitvallen.
- > **Limieten en dosisbeperkingen:** de door personen ontvangen doses mogen bepaalde aangegeven limieten niet overschrijden; beneden deze limieten worden acute effecten vermeden en wordt de kans op het ontstaan van kanker beperkt. Tijdens een interventie is geen sprake van stralingslimieten maar van interventieniveaus voor publiek en dosisbeperkingen voor hulpverleners (zie voor verdere uitleg sectie 6.2).

6.1 Handelingen

Bij handelingen gaat het om werkzaamheden waarbij het mogelijk of onvermijdbaar is dat een persoon blootgesteld wordt aan ioniserende straling. Het gaat hierbij om werknemers die beroepshalve werken met ioniserende straling, de zogenaamde radiologisch werkers of blootgestelde werknemers. Dit is een aparte beroepsgroep vergeleken met 'gewone' werknemers, die niet beroepsmatig met straling werken, maar daar natuurlijk wel aan kunnen worden blootgesteld. Voorbeelden van handelingen zijn het controleren van lasnaden met een γ -bron of de werkzaamheden van een radiologisch medewerker in een ziekenhuis. Handelingen zijn volledig te plannen en daarom kan de bescherming van het personeel zó goed zijn, dat de eventueel op te lopen stralingsdosis zo laag mogelijk is.

6.2 Interventies

Bij interventies gaat het om het terugdringen van de hoeveelheid ioniserende straling (stralingsbelasting) die onbedoeld vrijkomt. Voor de blootstelling van hulpverleners zijn de zogenaamde dosisbeperkingen vastgesteld. Dit zijn geen wettelijke limieten. De waarden zijn zo gekozen dat de effecten van hoge doses niet zullen optreden als de opgelopen dosis onder de dosisbeperking blijft. De dosisbeperkingen zijn vastgelegd in het Besluit Stralingsbescherming voor 3 typen werkzaamheden (zie Tabel 6.1). De maximale aanvaardbare stralingsbelasting en daarmee de dosisbeperking, is afhankelijk van het te behalen resultaat en is dus het hoogst voor levensreddend werk. De dosisbeperking van 2 mSv voor een operationele inzet wordt gehanteerd door de brandweer als inzetprocedure.²

Tabel 6.1 Dosisbeperkingen hulpverleners

taak	dosis- beperking [mSv]	nieuwe situatie ¹⁾ [mSv]
levensreddend werk <i>in aanwezigheid van AGS (stralingsdeskundige niveau 3 of hoger)</i>	750	500 ²⁾
redden van belangrijke materiële belangen <i>in aanwezigheid van AGS (stralingsdeskundige niveau 3 of hoger)</i>	250	500 ²⁾
ondersteuning of uitvoering van metingen, evacuatie, jodiumprofylaxe, openbare orde en veiligheid <i>in aanwezigheid van AGS (stralingsdeskundige niveau 5B of hoger)</i>	100	100
operationele inzet ³⁾ : alle niet-levensreddende taken o.l.v. bevelvoerder advies AGS (stralingsdeskundige) levensreddend werk mag zonder advies AGS tot 2 mSv!	2 = dosisalarm Automess	2

- 1) Het nieuwe Besluit Stralingsbescherming is nog niet vastgesteld en het is nog niet bekend wanneer de nieuwe dosisbeperkingen (nieuwe benaming wordt: referentieniveaus) ingaan; uiterlijk in 2018 moet dit in de Nederlandse wetgeving opgenomen zijn.
- 2) In de nieuwe situatie vervallen de dosisbeperkingen voor levensreddend werk en het redden van belangrijke materiële belangen. Dan gelden de dosislimieten voor radiologisch werkers bij beroepsmatige blootstelling als uitgangspunt bij interventie. Als dat niet kan geldt een referentieniveau van minder dan 100 mSv effectieve dosis door uitwendige bestraling en alleen in uitzonderlijke gevallen ten hoogste 500 mSv voor het redden van levens, voorkomen van ernstige gezondheidseffecten of de ontwikkeling van catastrofale omstandigheden.
- 3) De brandweer hanteert een dosisbeperking van 2 mSv voor een operationele inzet o.l.v. een bevelvoerder.

De dosisbeperkingen mogen overschreden worden, maar alleen:

1. voor het redden van mensenlevens en belangrijke materiële belangen
2. in aanwezigheid van een stralingsdeskundige met tenminste een niveau 3 opleiding (dit is een aanvullende eis ten opzichte van het Besluit stralingsbescherming)
3. als de hulpverlener voldoende geïnformeerd is over de risico's van de interventie
4. als de hulpverlener op basis van deze informatie de interventie vrijwillig uitvoert
5. als vooraf een schatting van de opgelopen dosis is gemaakt, zo mogelijk aan de hand van metingen met stralingsmeetapparatuur (zie hoofdstuk 7).

Daarnaast is dosisregistratie per persoon verplicht. Het doel is om zelfs in extreme gevallen de op te lopen dosis niet hoger te laten zijn dan 1 Sv.

² 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.

In 2014 is de Europese wetgeving gewijzigd. Na invoering van de nieuwe regels gelden de dosislimieten voor radiologisch werkers bij beroepsmatige blootstelling als uitgangspunt bij interventie. Voor situaties waar niet aan deze voorwaarde kan worden voldaan geldt een nader vast te stellen referentieniveau. Dit referentieniveau wordt bij een inzet bepaald op basis van de balans tussen de nadelen van de interventie en de te behalen voordelen (= optimalisatie). Het referentieniveau moet lager zijn dan 100 mSv effectieve dosis door uitwendige bestraling. De dosisbeperkingen voor levensreddend werk en het redden van belangrijke materiële belangen zullen gaan vervallen. Na invoering van de nieuwe regels mag een hulpverlener alleen in uitzonderlijke gevallen een effectieve dosis van meer dan 100 mSv maar ten hoogste 500 mSv oplopen om levens te redden, ernstige gezondheidseffecten door straling te voorkomen of de ontwikkeling van catastrofale omstandigheden te voorkomen.

Ook in de nieuwe situatie geldt dat hulpverleners, die activiteiten zouden kunnen ondernemen waarbij zij aan een effectieve dosis van meer dan 100 mSv worden blootgesteld, vrijwilligers zijn die van tevoren duidelijk en uitvoerig zijn ingelicht over de bijbehorende gezondheidsrisico's en beschikbare beschermingsmaatregelen. Ook moet medisch toezicht geregeld zijn. Uiterlijk in 2018 moet dit doorgevoerd zijn in het Nederlandse Besluit Stralingsbescherming.

De brandweer hanteert daarnaast aanvullende eisen voor een operationele inzet.³ Er geldt een operationele alarmwaarde voor het dosistempo van 25 $\mu\text{Sv/u}$ en voor de dosis is dat 2 mSv. De meetapparatuur is hierop afgesteld. De afspraken die hiervoor gelden zijn:

1. Stralingsniveaus > 25 $\mu\text{Sv/u}$ betekenen dat de situatie ongewoon is.
2. Bij stralingsniveaus > 25 $\mu\text{Sv/u}$ mag een bevelvoerder besluiten tot een inzet waarbij mensenlevens gered kunnen worden.
3. Voor alle andere werkzaamheden bij stralingsniveaus > 25 $\mu\text{Sv/u}$ vraagt de bevelvoerder eerst advies bij de AGS.
4. De stralingsbelasting die bij een inzet onder leiding van een bevelvoerder mag worden opgelopen door hulpverleners is maximaal 2 mSv;⁴ dit is ongeveer gelijk aan de gemiddelde stralingsbelasting per jaar in Nederland (zie Hoofdstuk 3).
5. Bij meerdere inzetten per jaar geldt een maximale totale dosis van 15 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 (formeel opgeleid tot niveau 3) 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 stralingsdes-

.....

³ Deze aanvullende eisen zijn gebaseerd op oude circulaire van BZK (EB62-386, EB65-1609, EB81-U1619).

⁴ Circulaire EB81-U1619 stelt dat de brandweerstalingsdeskundige 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 niveau 3) plaatsvinden. Dit is in de praktijk vertaald naar de aanwezigheid van een stralingsdeskundige niveau 3 en dat mag een AGS zijn. Formeel vinden deze werkzaamheden plaats onder leiding van de AGS als stralingsdeskundige.

kundige niveau 5B.⁵ 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 voor een hulpverlener (max. 750 mSv). Als voorbeeld: om een dosis van 2 mSv op te lopen met een dosistempo van 25 $\mu\text{Sv/u}$ moet iemand 80 uur op die locatie blijven. Overschrijding van de alarmwaarde van 25 $\mu\text{Sv/u}$ of een persoonlijke dosis van 2 mSv is dus geen argument om af te zien van levensreddende werkzaamheden of andere vormen van spoedeisend handelen waarbij grote belangen in het geding zijn.

Als operationele vuistregel is de alarmwaarde van 25 $\mu\text{Sv/u}$ goed bruikbaar ter bescherming van de hulpverleners. Alleen de verspreiding van α - en β -stralers in lucht vormt een uitzondering omdat dit met de Automess niet of nauwelijks te meten is. Een persoon die onbeschermd dichtbij de bron is, kan wel een behoorlijke dosis oplopen door inademing en wordt dan niet gewaarschuwd voor de overschrijding van 25 $\mu\text{Sv/u}$. Het gebruik van onafhankelijke adembescherming voorkomt dit.

.....

⁵ Het stralingsdeskundigheidsniveau is in de praktijk inmiddels aangepast van niveau 3 naar niveau 4 en vervolgens naar 5B. Dit is dus een lager niveau dan oorspronkelijk bedoeld in de circulaires van BZK. Niveau 5A is niet voldoende omdat dit alleen over toestellen gaat, terwijl 5B ook gesloten en open bronnen bevat.

7 Meten 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 RIVM, kernenergiecentrales, 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 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 en persoonlijke risico's in kaart te brengen.

Dit hoofdstuk is een beschrijving van de meetapparatuur en hun werkingsprincipe; 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 externe stralingsniveaus

De brandweer maakt gebruik van twee type stralingsmeters, de Automess en de ADOS. Beide meters meten eigenlijk hetzelfde, namelijk het stralingsniveau van γ -straling op de meetlocatie, de dosis. Het meetresultaat kan de dosis met 35% onderschatten; 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 γ -straling zijn de waarden gelijk (zie sectie 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 $\mu\text{Sv/u}^6$
- > dosis: 2 mSv.

⁶ Dit is voor de ADOS 30 $\mu\text{Sv/u}$ ivm het meetbereik van deze meter.

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 (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 γ -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 γ -straling te meten omdat het doordringend vermogen van α - en β -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.



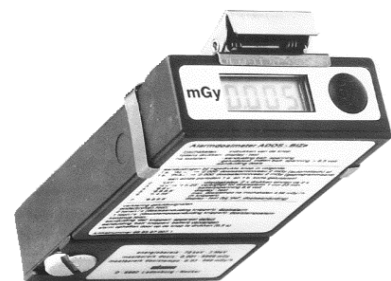
Figuur 7.1 Automess 6150AD1

De Automess kan ook gebruikt worden voor het meten van de opgelopen dosis, maar daarvoor gebruikt de brandweer in principe de ADOS (zie sectie 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 dosimeter, 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 radioactieve straling. De ADOS meet alleen γ -straling. Dat is voldoende, want de werkkleding van de brandweer is voldoende dik om α - en β -straling af te schermen. Inwendige besmetting komt bij het dragen van bluskleiding in combinatie met adembescherming niet voor. De ADOS geeft dus een goed beeld van de opgelopen dosis tijdens een inzet.



Figuur 7.2 ADOS

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 dosimeter daar beschermd is tegen vuil, water en verlies. Vaak wordt per team van twee personen een dosimeter uitgereikt.

De meetschaal van de ADOS is in mGy. Voor γ -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 μGy . 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

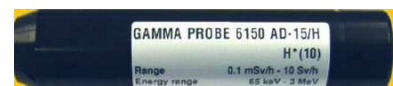
De Automess kan uitgebreid worden met verschillende sondes. De brandweer maakt gebruik van sondes om de gevoeligheid van de meter aan te passen voor het meten van hoge of lage dosistempo's en van sondes waarmee oppervlaktebesmetting gemeten kan worden. Ook om α - en β -straling te kunnen meten is een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



Figuur 7.3 Sonde via sondekabel aangekoppeld

7.2.1 Sonde 6150AD-15: γ -sonde, hoog bereik

De AD-15 (zie Figuur 7.4) wordt gebruikt voor het meten van hoge stralingsniveaus γ -straling. Het bereik is 0,01 mSv/u tot 9,99 Sv/u. Het dosistempoalarmniveau bedraagt 0,1 mSv/u. Ook kan de totaal opgelopen dosis bepaald worden.

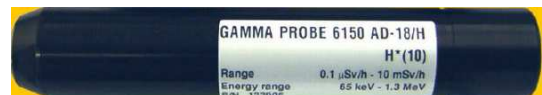


Figuur 7.4 Sonde AD-15

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

7.2.2 Sonde 6150AD-18: γ -sonde, laag bereik

De AD-18 (zie Figuur 7.5) wordt gebruikt als de AD1 geen of onvoldoende uitslag geeft. Deze sonde is namelijk veel gevoeliger en heeft een meetbereik van 0,01 μ Sv/u tot 9,99 mSv/u. Het dosistempoalarmniveau bedraagt 1 μ Sv/u. Ook kan de totaal opgelopen dosis bepaald worden.



Figuur 7.5 Sonde AD-18

7.3 Oppervlaktebesmettingsmetingen

Het meten van α - en β -straling is vooral van belang als de radioactieve stof zich aan een oppervlak gehecht heeft. Door de beperkte dracht van de ioniserende straling zijn α - en β -stralers op grotere afstand niet gezondheidsschadelijk. Om α - en β -straling te meten wordt een oppervlaktebesmettingsmonitor gebruikt; hiermee kan uiteraard ook γ 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 α -straling is dit 2 mm en in andere gevallen 1 cm. Let er bij besmettingsmetingen altijd op dat het oppervlak NIET aangeraakt wordt omdat de sonde dan besmet kan raken; dan lijkt of het hele oppervlak besmet is. Een besmettingsmonitor wordt vooral gebruikt om personen, kleding en materiaal te controleren maar kan ook gebruikt worden om zogenaamde 'hot spots' op te sporen (ook van α - en β -stralers). Een besmettingsmonitor registreert de radioactieve besmetting in aantal tikken per seconde of counts per second (cps). Op het display wordt dit aangegeven met s^{-1} . Elke tik geeft de absorptie van stralingsenergie weer. Als bekend is om welk radionuclide het gaat en wat de efficiency van de meter voor dat radionuclide is, kan omgerekend worden hoe groot de oppervlaktesbesmetting is (in 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 α -, β - en (beperkt) γ -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 $0,01 s^{-1}$ tot $9,999 ks^{-1}$ (= 9999 cps) en het alarmniveau is 1 cps. De achtergrondstraling is afhankelijk van de locatie en bedraagt 0,1-1 cps gemeten met de AD-17.



Figuur 7.6 Automess met AD-17



Figuur 7.7 Display met sonde AD-17 meet $2,06 ks^{-1}$ = ong. 2000 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 $0,01 s^{-1}$ tot $20 ks^{-1}$ (= 20.000 cps) en het alarmniveau is 25 cps. Tot $40 ks^{-1}$ registreert de AD-k nog wel tikken maar de meting is 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 ¹⁾
AD1 / 5 (intern)	1 $\mu\text{Sv/u}$ – 999 mSv/u	normaal gebruik	dosistempo: 25 $\mu\text{Sv/u}$ dosis: 2 mSv	TS ²⁾ , VE, AGS
AD-15	0,01 mSv/u – 9,99 Sv/u	γ -straling: hoog stralingsniveau voor extreme stralingssituaties	dosistempo: 0,1 mSv/u = 100 $\mu\text{Sv/u}$	AGS
AD-18	0,01 $\mu\text{Sv/u}$ – 9,99 mSv/u	γ -straling: grotere gevoeligheid voor laag stralingsniveau; bv. opsporen van bronnen	dosistempo: 1 $\mu\text{Sv/u}$	VE, AGS
AD-17	0,01 s^{-1} – 9,999 ks^{-1} ³⁾ meetopp: 6,2 cm^2	$\alpha\beta\gamma$ -sonde, lage gevoeligheid/ meetoppervlak, besmettingsmeting	aantal tikken/counts: 1 cps	VE, AGS
AD-k	0,01 s^{-1} – 40 ks^{-1} ³⁾ meetopp: 170 cm^2	$\alpha\beta\gamma$ -sonde, grotere gevoeligheid/ meetoppervlak, besmettingsmeting, sneller zoeken	aantal tikken/counts: 25 cps	AGS
ADOS	0,001 mGy – 9999 mGy 0,03 mGy/u – 999 mGy/u	persoonstdosimeter	dosistempo: 30 $\mu\text{Sv/u}$ dosis: 2 mSv	VE, AGS

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

2) volgens het Branchevoorschrift standaardbepakking brandweervoertuigen is dit een alarmdosimeter: 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) 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 γ -monitoren (zie Figuur 7.9): ongeveer een meetpaal per 25 km². Deze meten continu het γ -stralingsniveau. De meetgegevens komen binnen bij werkstations bij de regionale meldkamers en worden doorgegeven aan de landelijke centrale (bij het RIVM).
- > 14 α/β -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

De Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) en het RIKILT controleren op de radioactiviteit in levensmiddelen. Op ongeveer 60 locaties in Nederland kunnen metingen worden uitgevoerd. Het LMRV meet aan 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 Drinkwater

Het RIZA en de drinkwaterbedrijven controleren op de besmetting van water, zwevend slib, waterbodems, aquatische organismen en zuiveringsslib van rioolzuiveringsbedrijven. Het RIZA 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.

7.5 Meetstrategie bij kernongevallen

Het meten bij kernongevallen is een omvangrijke en complexe taak. Het effectgebied kan groot zijn (mogelijk tot wel 100 kilometer 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 modellen 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 besloten worden welke maatregelen in welk gebied nodig zijn om de dosis te beperken. Ook kan bepaald worden of aanvullende maatregelen nodig zijn en of de interventieniveaus in andere gebieden overschreden worden.

Daarnaast is het belangrijk om de blootstelling van de bevolking vast te kunnen stellen voor verantwoording achteraf en het instellen van latere maatregelen.

Verkenningseenheden van de brandweer kunnen ingezet worden voor het bepalen van externe stralingsniveaus of voor het meten van uitwendige besmetting.

8 Stralingsincidenten

Stralingsincidenten worden onderverdeeld in twee categorieën, incidenten met categorie A- en 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 tot een landelijke aanpak. In dit hoofdstuk vindt u een samengevat overzicht van scenario's. Verdere informatie vindt u in het Responsplan NPK en het Nationaal Crisisplan Stralingsincidenten (NCS).

8.1 A-scenario's

Bij incidenten waar regio-overstijgende gevolgen verwacht worden ligt de regie op nationaal niveau (zie hiervoor het NCS) en de betrokken veiligheidsregio's zorgen voor een adequate operationele voorbereiding voor de eerste uren. Het gaat hierbij om incidenten met A-objecten of als de oorzaak van een incident 'moedwillig handelen' is, dus terrorisme (vaak het 'vuile bom'-scenario genoemd). We noemen dit ook wel A-scenario's.

Bij A-scenario's 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 bij stralingsincidenten radioactieve stoffen vrijkomen relatief klein omdat voor A-objecten en grotere hoeveelheden radioactief materiaal strenge veiligheidseisen gelden.

A-objecten zijn:

- > kerninstallaties: in werking zijnde (binnenlandse of buitenlandse) kernenergiecentrales
- > onderzoeksreactoren
- > schepen en ruimtevaartuigen aangedreven door een kernreactor
- > radiologisch defensiemateriaal
- > transporten van hoog radioactieve afvalstoffen van een kernenergiecentrale.

Onderstaand de A-objecten die landelijk zijn vastgesteld. Tabel 8.1 laat een overzicht zien van preparatiezones die voor de A-objecten zijn bepaald. Deze zones worden gebruikt voor de operationele voorbereiding op incidenten in de vorm van rampbestrijdingsplannen, etc.

A1: Binnenlandse kernenergiecentrales

Borssele is de enige in werking zijnde kernenergiecentrale in Nederland: een incident kan leiden tot de emissie van radioactieve splijttingsproducten in het milieu. Er is een rampbestrijdingsplan en er zijn preparatiezones voor een aantal urgente maatregelen afgesproken. Bij mogelijke schade in een reactorkern wordt 'off-site' 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 'off-site' emergency afgekondigd. Hoge Flux betekent een hoge neutronendichtheid; deze is ongeveer 10x hoger dan in een kernenergiecentrale.

Tabel 8.1 Overzicht A-scenario's met netto vermogen en preparatiezones
Let op: verschil in preparatiezones tussen Nederland en buitenland, zie ook Tabel 8.2

A-object	netto vermogen	eva- cuatie	jo- dium- profy- laxe	schui- len	aantal schoon te maken per- sonen	aantal personen besmet- tings- controle	maatregel voedsel- keten	afstand tot NL grens
A1 en 2: Kernenergiecentrales								
Borssele	512 MWe	5 km	10 km	20 km	10	1000-en	tot 250 km	- / -
Doel	433 / 433 / 1006 / 1047 MWe	4 km	20 km	40 km		1000-en	tot 400 km	2,8 km
Emsland	1400 MWe	5 km	25 km	50 km		100-en	tot 400 km	20 km
Mol	4 / 120 MWth	- / -	- / -	- / -				10,4 km
Tihange	962 / 1008 / 1015 MWe	- / -	- / -	- / -				38 km
A3: Onderzoeksreactoren								
Petten	45 MWth	- / -	2,1 km	3 km	5	100-en	100-en meters	- / -
Delft	2 MWth	- / -	- / -	500 meter	5	100-en	100-en meters	- / -
A4: Nucleair aangedreven schepen								
Haven Rotterdam of Den Helder	- / -	< 100 meter	400 meter	700 meter	10	100-en	enkele km's	- / -
A5: Radiologisch defensiemateriaal (let op: nucleaire explosie is niet mogelijk)								
Nederland	- / -	800 meter	- / -	2 km	10	100-en	tot 100 km	- / -
A7d: 'Vuile bom'								
Nederland	- / -	400 meter	- / -	2 km	10	100-en	enkele km's	- / -

A4: Nucleair aangedreven schepen

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

A5: Transportongevallen met radiologisch defensiemateriaal

Radiologisch defensiemateriaal bevat hoog explosief materiaal, laag radioactief materiaal (uranium en tritium) en hoog radiotoxisch materiaal (plutonium). Vooral inademing van plutonium vormt een ernstig gezondheidsrisico. Meten op α -straling is daarom noodzakelijk. Een nucleaire explosie is niet mogelijk. Zie voor verdere informatie sectie 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. Geen verdere maatregelen vastgesteld.

A7: Moedwillige handelingen met radioactieve bronnen of stoffen

A7a: dreiging met een stralingsongeval

A7b: opzettelijke blootstelling van personen aan hoog radioactief materiaal

A7c: opzettelijke besmetting op een locatie

A7d: 'vuile bom' (Radiological Dispersion Device)

A7e: opzettelijke besmetting van een locatie

A7f: moedwillig handelen bij een nucleaire verstoring

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 A7d, de 'vuile bom' is een werkgebied of hot zone van 400 meter vastgesteld.

Nieuwe preparatiezones

De preparatiezones en interventieniveaus (zie sectie 9.2) worden aangepast om geharmoniseerde respons mogelijk te maken met het buitenland (België en Duitsland). Met geharmoniseerd wordt bedoeld dat bij een ongeval met een grensoverschrijdende lozing (of dreiging daarvan) aan weerszijden van de grens dezelfde beschermende maatregelen worden genomen. Tabel 8.2 geeft een overzicht van de nieuwe preparatiezones.

Tabel 8.2 Huidige en nieuwe preparatiezones in kilometers voor harmonisatie met België en Duitsland

	evacuatie ¹⁾		schuilen		jodiumprofylaxe predistributie		jodiumprofylaxe distributie	
	huidig	nieuw ²⁾	huidig	nieuw ²⁾	huidig	nieuw ²⁾	huidig	nieuw ²⁾
Borssele	5	10	20	10	10	20	- / -	100
Doel	4	10	40	10	20	20	- / -	100
Emsland	- / -	10 ³⁾	50	10 ³⁾	25	25	- / -	100
Mol	- / -	- / -	- / -	10	- / -	20	- / -	- / -
Tihange	- / -	10 ³⁾	- / -	10 ³⁾	- / -	20 ³⁾	- / -	100
Petten	- / -	3	3	3	- / -	- / -	2,1	3
Delft	- / -	- / -	- / -	0,5	- / -	- / -	- / -	0,5

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

2) Het is nog niet bekend wanneer de nieuwe preparatiezones ingaan.

3) Deze zone bereikt Nederland niet en is daarom minder relevant voor Nederland.

De preparatiezones zijn hetzelfde voor de buurlanden België en Duitsland voor de kernenergiecentrales die in die landen liggen. De maatregel jodiumprofylaxe bereidt België in het hele land voor. Over de wijze waarop de jodiumtabletten in Nederland verspreid worden is nog geen besluit genomen. Het is nog niet bekend wanneer de nieuwe zones ingaan.

8.2 B-scenario's

De bestrijding van incidenten met B-objecten is per definitie beperkt van omvang is en kan in principe op lokaal of regionaal niveau worden afgehandeld in samenwerking met de deskundigen van het B-object. B-scenario's worden ook wel radiologische incidenten genoemd. De stralingsbelasting voor hulpverleners en leden van de bevolking is bij B-incidenten beperkt. Bij B-scenario's is het niet waarschijnlijk dat directe maatregelen zoals evacuatie, schuilen of jodiumprofylaxe moeten worden getroffen. Er moet wel rekening gehouden worden met een grote impact.

B-objecten zijn:

- > installaties voor uraniumverrijking
- > installaties voor de verwerking en opslag van radioactief afval
- > installaties waar radioactieve stoffen en bronnen worden gemaakt
- > locaties (vast en mobiel) waar radioactieve stoffen en bronnen worden gebruikt
- > transporten van radioactieve stoffen.

Onderstaand de B-objecten die landelijk zijn vastgesteld:

B1: Installatie voor uraniumverrijking

Urenco Nederland in Almelo verrijkt splijtstof voor nucleaire reactoren: meest ernstige ongeval zou leiden tot besmetting van de locatie zelf waarbij het stralingsgevaar beperkt blijft tot de medewerkers. Grootste risico vormt hier het uraniumhexafluoride (UF₆).

B2: Verzamelen, verwerken en opslag van radioactief afval

Covra (Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval) conditioneert en slaat radioactief afval op in Vliessingen: het is zeer onwaarschijnlijk dat een incident 'off-site' effecten heeft.

B3: Overige inrichtingen met nucleair/radiologisch materiaal of stralingsapparatuur

Meest voor de hand liggende scenario is brand waarbij radioactief materiaal 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 stralingsbronnen of besmetting

Wet- en regelgeving (zowel vergunning/meldingsplicht als eisen aan verpakkingen) zorgt er voor dat transport nauwelijks zorgt voor een gevaar voor besmetting bij ongevallen. Een ongeval bij het transport van hoogradioactief afval van een kernenergiecentrale wordt behandeld als A-scenario.

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

Omgaan met grotere radioactieve bronnen zonder bescherming levert gezondheidsrisico's op. Waarschuw in dit geval direct de ANVS via het crisnummer stralingsincidenten. Bij vermoeden van een kwaadwillende oorzaak (bijvoorbeeld 'vuile bom') wordt het incident een A-scenario (A7d) 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 8.3 geeft een indicatie voor de te hanteren veiligheidsafstanden voor het optreden bij B-scenario's.



Figuur 8.1 Vervoer radiofarmaca

Tabel 8.3 Indicatie voor veiligheidsafstanden voor B-scenario's

situatie	veiligheidsafstand	optreden veiligheidsregio ¹⁾
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 kan 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 Figuur 9.1 en Figuur 9.2.

Overige transportongevallen

Van de onderzochte B-scenario's leiden transportongevallen tot relatief de grootste gevolgen en 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 stralingsincidenten

A-incidenten:

- > 1986: Tsjernobyl: Vrijkomen van een groot deel van de reactorinhoud na explosie en brand in de reactor. Door de open verbinding van de reactor naar de omgeving is dagenlang grote hoeveelheden radioactief materiaal geloosd. Letale dosis door externe bestraling tijdens werkzaamheden bij 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 volledige uitval van de koeling na aardbeving en tsunami. Brandwonden door externe bestraling hulpverleners.

B-incidenten:

- > 1987: Goiânia (Brazilië): ondeskundig ontmantelen van Cs-137-bron bij sloop van ziekenhuis, vrijkomen inhoud en (on)bewust verspreid: 4 doden en 183 in/uitwendig besmet.
- > 1997: Werkzaamheden bij een nucleaire faciliteit in Tokaimura in het noordoosten van de Japanse hoofdstad Tokio worden gedeeltelijk gestopt na een brand en een explosie waarbij 37 mensen bloot komen te staan aan radioactiviteit.
- > 2001: drie houthakkers vonden in een bos in Georgië twee ingekapselde, maar niet afgeschermdde Sr-90/Y-90-bronnen. Het waren zogenaamde RTG's, Radionuclide Thermoelectric Generators. Dit soort apparaten werd in de vroegere Sovjet-Unie vaak toegepast om in afgelegen oorden elektriciteit op te wekken. Daarbij werd gebruik gemaakt 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 meegenomen om als 'straalkacheltje' te gebruiken. Twee mannen liepen hierdoor in korte tijd zeer zware huidwonden op.
- > 2006: Belgische bestralingsfaciliteit: medewerker onbedoeld blootgesteld aan hoge dosis van 4,5 Gy.
- > Antiek bureau waarop een potje radiumhoudende vloeistof was omgevalen in het verleden: geschatte activiteit 30 MBq aan Ra-226. De vloeistof was onzichtbaar

geïmpregneerd in het hout. In de studeerkamer waar het stond heerste een concentratie van 8000-9000 Bq/m³, dat is gelijk aan 300x de binnenluchtconcentratie en 3000x 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 dat meestal wordt opgenomen in water. In een stoomgenerator wordt deze warmte omgevormd tot stoom. De stoom onder hoge druk (ongeveer 60 bar) wordt gebruikt om via een stoomturbine een elektrische turbogenerator 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 onderzoeksdoeleinden 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 Radiologisch defensiemateriaal

Militaire transporten met 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 radiologisch defensiemateriaal vervoert. Zo'n crash is niet gebonden aan een locatie en kan in elke veiligheidsregio plaatsvinden.

Het mogelijke gevolg van een ongeval is de verspreiding van gevaarlijke stoffen in het milieu. Radioactieve stoffen die in defensiemateriaal kunnen voorkomen zijn laag-radioactief uranium en tritium en hoog radiotoxisch plutonium. Vooral inademing van plutonium vormt een ernstig gezondheidsrisico. Een radiologische explosie is niet mogelijk.

Bij een transportongeval met vliegtuigen informeert het Militair Luchtverkeersleiding centrum (AOCS NM) het Nationaal Crisiscentrum (NCC), die de betrokken veiligheidsregio informeert. Als de hulpverlenings-diensten uitrukken naar de plaats van het ongeval is vaak nog niet duidelijk of het om een radiologisch incident gaat. De werkafpraak voor het optreden van de brandweer is: bij een vliegtuigongeval meten met de Automess en bij het vermoeden van gevaarlijke stoffen adembescherming gebruiken. (Over)vluchten met radiologisch defensiemateriaal zijn vooraf bekend en bij een crash is het snel duidelijk of daarbij radiologisch materiaal betrokken is. Het NCC informeert de relevante partijen.

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.

De veilige afstanden en maatregelen bij een transportongeval met radiologisch defensiemateriaal zijn (zie Tabel 8.4):

- > ALTIJD acuut schuilen in een straal van 2 kilometer rondom de incidentlocatie, dus sirenes en schuilen onafhankelijk van de windrichting.
- > Ontruimen in een zone van 800 meter rondom de incidentlocatie als dit veilig kan en op advies van de AGS; deze zone wordt de veiligheidszone genoemd.
Ontruim bij brand niet door de rook/pluim maar laat zo nodig schuilen totdat de brand geblust is.

Bovenstaande maatregelen zijn eerste maatregelen die getroffen worden. Ontruiming van de veiligheidszone vindt plaats op advies van de AGS. De AGS geeft advies over de afbakening van de veiligheidszone, het tijdstip van ontruimen en het gebruik van eventuele beschermende middelen.

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 α -straling en laagenergetische γ -straling, dus met de Automess met sonde AD-17 of AD-k. 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 sectie 9.3.3).

Tabel 8.4 Initiële maatregelen bij een ongeval met radiologisch defensiemateriaal of een vuile bom

scenario	veiligheidszone ontruimen rondom	schuilzone rondom	jodium- profylaxe
Scenario: crash militair transporttoestel mogelijk met radiologisch defensiemateriaal	800 meter als dit veilig kan, niet door de rook/pluim advies AGS	2 km	n.v.t.
Scenario: vuile bom	400 meter	2 km	n.v.t.

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 (CETs). Deze worden gebaseerd op meteorologische omstandigheden (bijstelling sectoren) of metingen (schuilafstanden).

8.4.3 Vuile bom

Bewuste 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' ('dirty bomb'); dit is een primitief wapen (conventioneel explosief) dat vervuild is met radioactief materiaal. Door de explosie van de vuile bom worden de radioactieve isotopen verneveld of verdampt, zodat ze in de lucht terecht komen en snel over een groot oppervlak verspreid kunnen worden. De deeltjes die vrijkomen bij explosie van een vuile bom zijn vergelijkbaar met de fall-out bij een kernexplosie. 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 terrein/infrastructuren, relatief dure reinigingsoperaties, acute gezondheidsproblemen zoals stralingsziekten 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, minimaal 400 meter. Voor de maatregel schuilen wordt een afstand tot 2 kilometer benedenwinds aangehouden (zie Tabel 8.4). Vervolgens wordt onderscheid gemaakt in twee situaties, namelijk de fase vóór en de fase ná de ontploffing. Een niet-ontploffte vuile bom is waarschijnlijk niet voldoende afgeschermd zodat het gevaar van (over)bestraling rond de bom zeer waarschijnlijk is. De aanwezigheid van γ -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 γ -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 fijn-stof (aerosolen). Daarna is de verspreiding en de depositie afhankelijk van de meteorologische condities en omgevingsfactoren (zie sectie 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 en schoonmaakmaatregelen

genomen worden (zie sectie 9.3). Ook de omgeving moet schoongemaakt worden (zie sectie 9.3.5).

Gevaren:

- > Grootste risico is het explosief!
- > Kans op acute stralingsschade is minimaal
- > Grootste effecten zijn psychische / sociale / economische schade
- > Feitelijke omvang van 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 je of het een vuile bom is? Advies: bij explosie op onverwachte plaats die mogelijk niet gas-gerelateerd is standaard Automess mee.

9 Interventie

Het Besluit stralingsbescherming geeft 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 schade inclusief gezondheidsschade. De nadelige gevolgen zijn de sociale en maatschappelijke gevolgen veroorzaakt door de ioniserende straling en de kosten van de interventie. De doeltreffendheid van de interventie moet geregistreerd worden door de stralingsdeskundige.

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 onderstaande maatregelen.

9.1 Maatregelen optreden 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 procedure IBGS en stralingsniveau monitoren met Automess (let op: meet alleen γ -straling).
- > Afstand houden en opstellijn: De locatie van de opstellijn hangt af van het dosistempo op de locatie. De opstellijn ligt op minimaal 25 meter bovenwinds van de locatie waar 25 $\mu\text{Sv/u}$ (alarmwaarde) wordt gemeten (zie Figuur 9.1) of daar waar minder dan 1 $\mu\text{Sv/u}$ wordt gemeten. De stralingsdosis neemt kwadratisch af met het vergroten van de afstand (kwadratenwet, zie sectie 2.3.1): op 25 meter afstand is het dosistempo dus 16 maal hoger dan op 100 meter afstand!! Bij incidenten met γ -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 tankautospuut.
- > Beoordeel situatie: als verpakking intact is $\Rightarrow$ geen besmettingsgevaar, is inzet noodzakelijk door brandgevaar, beknelling of kans op beschadiging van de bron? Denk hierbij aan: resultaat > risico, dosisbeperkingen en ALARA (= As Low As Reasonable Achievable).
- > 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 dit hoort bij het optreden conform Procedure IBGS.)

- > Blootstellingstijd en aflossing: voorkom hoge dosis voor personen; het is soms beter om meerdere hulpverleners een verwaarloosbare lage dosis op te laten lopen, dan één team van 2 hulpverleners een hogere niet verwaarloosbare dosis.
- > Metten: continu meten van stralingsdosis(tempo) met Automess (alleen γ -straling) en blijven controleren van de individuele stralingsbelasting (persoonsdosismeting).
- > Informatie en advies: maak gebruik van de stralingsdeskundige van de instelling, eigenaar van de stoffen, de adviseur gevaarlijke stoffen van de brandweer en de gezondheidkundig adviseur gevaarlijke stoffen 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, etc.

Als ezelsbruggetje wordt dit wel eens samengevat als de 3A's: afstand, afscherming, aflossing (blootstellingstijd). De 4^e A van adembescherming is niet van toepassing voor een gesloten bron; deze maatregel beschermt alleen bij het daadwerkelijk vrijkomen van de stof. In de praktijk zal bij optreden conform Procedure IBGS wel adembescherming toegepast worden. De 5^e A van Automess kan hieraan toegevoegd worden maar dit kan misleidend zijn omdat de Automess niet beschermd tegen straling maar deze alleen monitort.



Figuur 9.1 Indeling werkveld bij stralingsincident met gesloten bron met alleen externe straling

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, 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.

Het is belangrijk om externe **bestraling** te voorkomen. 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

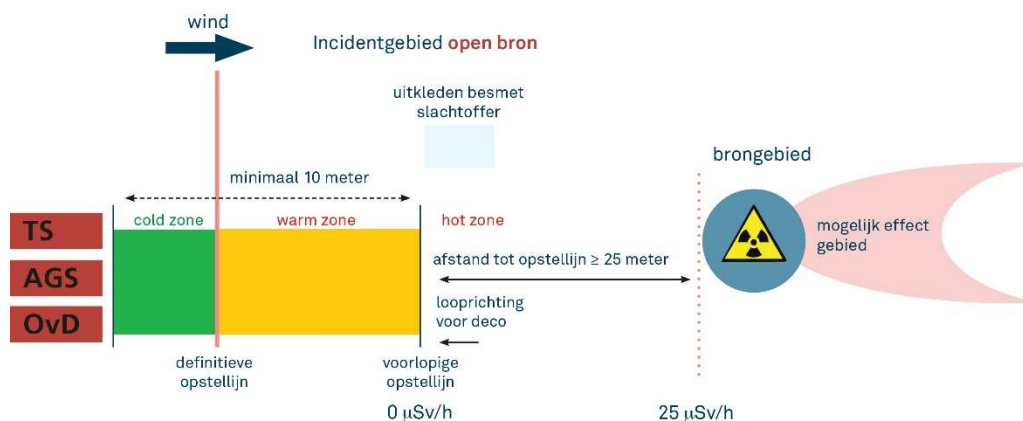
Bij een open of beschadigde bron is het belangrijk om uitwendige- en inwendige **besmetting** en **verspreiding** te voorkomen. Er is sprake van besmetting als radioactieve deeltjes zich ongecontroleerd in de omgeving verspreiden en neerslaan waardoor een vooraf bepaalde grenswaarde wordt overschreden; dit is o.a. afhankelijk van de weersomstandigheden.

Mogelijke aanwijzingen dat het om een open stralingsbron gaat zijn:

- > verhoogd stralingsniveau op enige afstand benedenwinds van de bron
- > medische symptomen van stralingsletsel zoals brandwonden zonder aanwijsbare oorzaak (dit is alleen mogelijk bij hoge stralingsniveaus dichtbij de bron of bij direct contact met de bron).

De indeling van het werkveld voor optreden bij een open bron is weergegeven in Figuur 9.2. Aanvullende maatregelen (let op: aanvullend op bovenstaande algemene maatregelen voor optreden bij een gesloten bron) zijn:

- > Beoordeel situatie: besmetting mogelijk bij kapotte verpakking, in ziekenhuis, lab of bij brand.
- > Voorkomen besmetting: vermijd onnodig contact met de besmette omgeving en/of de bron. Let op bij het wisselen van ademlucht(flessen).
- > Markeer besmet gebied: breng het besmette gebied zo goed mogelijk in kaart, markeer en zet af.
- > Extra bescherming: gebruik (naast adembescherming en 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: zo mogelijk verspreiding van radioactieve stoffen voorkomen door het afdekken van de bron (bijvoorbeeld met zand, zeil, evt. schuim). Vraag hiervoor advies aan de AGS.
- > Bescherm omgeving: plaats bij verspreiding benedenwinds een waterscherm benedenwinds van de bron.
- > Besmettingscontrole uitvoeren: controleer na de inzet op mogelijke besmetting van personen, materieel en middelen. Zorg voor een effectieve en veilige afhandeling en verwijder zo nodig besmetting.
- > Verwijderen besmetting: Mocht er onbedoeld toch besmetting plaatsvinden dan kan alleen bij 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 sectie 9.3.3.



Figuur 9.2 Indeling werkveld bij stralingsincident met open bron en mogelijke besmetting

Aanvullende maatregelen voor de stralingsbescherming van niet-hulpverleners zijn:

- > Voorkomen besmetting: radioactieve deeltjes kunnen in de omgeving terechtkomen 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 besmet raken.
- > Voorkomen 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 besmetting: grote groepen mensen kunnen schoongemaakt worden in zwembaden of sporthallen. Ook kan de grootschalige ontsmettingseenheid (GOE) hiervoor worden ingezet. Zie verder sectie 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 terechtkomen. 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.
- > Alert zijn op mogelijk verspreiding van radioactieve stoffen met als mogelijke gevolgen gevaar voor inhalatie, ontstaan besmet gebied na depositie en resuspensie.
- > Mogelijk radioactief besmet bluswater: gebruik zo min mogelijk water en vang het zo mogelijk op.

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

Tabel 9.1 Reductiefactoren van adembeschermingsmiddelen

adembeschermingsmiddel	reductie-factor ¹⁾	verlengings-factor
stofmasker	0,15	7
gelaatsmasker met filterbus	0,03	35
ademluchtmasker	0,0015	700

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

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 (bron [1]). Deze tabel geeft een overzicht van de effectieve reductiefactoren van deze adembeschermingsmiddelen voor inademing. 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 een dosis via inademing ontvangen is die gelijk is aan de dosis die iemand zou ontvangen zonder adembescherming.

9.2 Maatregelen A-incidenten

Bij een stralingsincident met een B-object stelt de brandweer zelf op basis van een risico-inschatting maatregelenzones 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 NCS 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 standhouden 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 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 besmetting of evacueren uit besmet gebied voordat de wolk overtrekt of nadat deze voorbij getrokken is).
- > 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 besmetting-beperkende maatregelen, zoals toegangsbeperkingen en vervoersbeperkingen in besmet gebied, verwijderen besmetting bij mensen, huisdieren, voertuigen en leefomgeving.
- > Voorkomen/beperken van het innemen (opeten of drinken) van radioactieve stof via besmette waren. Dit gebeurt bijvoorbeeld door gebruiksverbod, advies extra wassen van etenswaren en groenten, advies 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.
 - Vroege of eerste dag evacuatie: op de eerste dag van het incident, bij voorkeur voordat de radioactieve wolk is overgetrokken.
 - Niet-urgente of late evacuatie: evacuatie na het overtrekken van de wolk in de eerste twee weken na het incident als blijkt dat de op te lopen dosis na het incident te hoog is. Dit gaat gepaard met de maatregel besmettingscontrole en verwijderen 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 spontaan geëvacueerden.

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 sectie 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 besmetting te verwijderen zijn ook directe maatregelen. De landelijke overheid kondigt hier geen maatregelen voor 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 gebruikgemaakt worden van bestaande wasstraten of overgegaan worden op het in beslag nemen van voertuigen, zie ook sectie 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: graasverbod (melk), sluiten van kassen, verbod gebruik beregeningswater, maatregelen drinkwater, verontreinigd slib onttrekken, isoleren 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 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 worden voorbereid en vastgelegd 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:

- > evacueren
 - > uitdelen jodiumtabletten
 - > meten:
 - monitoren 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 omgeving
- Bovendien is zichtbaar meten door de brandweer ook geruststellend voor de bevolking.
- > verwijderen besmetting: afhankelijk van de situatie zullen personen, voertuigen en andere goederen schoongemaakt moeten worden.

De beschermende maatregelen die in de voorgaande secties beschreven zijn gelden hier onverminderd.

9.3 Besmettingscontrole en verwijderen van besmetting

Besmettingscontrole en het verwijderen van besmetting worden bij voorkeur gecombineerd in 1 werkproces. Dit vindt bij voorkeur plaats zo dicht mogelijk bij 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. Dit is een praktische combinatie van maatregelen.

Afhankelijk van het aantal schoon te maken personen kunnen 1 of meerdere locaties ingericht worden. Voor grote aantallen besmette personen kunnen deze posten worden ingericht in vaste locaties (zwembaden/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 tot stralingsdeskundige niveau 3). De GAGS adviseert op afstand over de mogelijke gezondheidsrisico's.

9.3.1 Besmettingscontrole

Vooraf aan de besmettingscontrole moet bepaald worden welk oppervlak gecontroleerd moet worden. Bekend is dat hoofdhaar en de onbedekte huid van personen besmet kunnen zijn geraakt. 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 Interventieniveaus voor besmetting

Omdat het moeilijk is om de gevolgen van blootstelling door te rekenen, zijn er interventieniveaus opgesteld voor oppervlaktebesmetting. Als de besmetting onder het niveau blijft, zijn de gevolgen beperkt. Boven het niveau moeten schoonmaakmaatregelen genomen worden. De stralingsdeskundige bepaalt op basis van de geldende niveaus welke maatregelen getroffen moeten worden. Er wordt onderscheid gemaakt in interventieniveaus voor radiologische (B-)incidenten en voor A-incidenten.

9.3.3 Verwijderen besmetting

Voor het verwijderen van besmetting wordt verwezen naar de Handreiking kleinschalig chemische decontaminatie. 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 gebruik gemaakt van een mondkapje voor besmette personen
- > ook ogen zijn erg gevoelig en worden daarom beschermd met een zwembril
- > 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
- > bij zeer ernstige besmetting van het hoofd kan kaal scheren een goede maatregel zijn omdat stof hecht aan de haren
- > schoonmaken heeft alleen zin in schoon gebied en als de wolk overgetrokken is.

Het doel van de behandeling van een radioactieve besmetting is:

- > zoveel mogelijk (lieft 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 voor het verwijderen van besmetting bij personen zijn:

- > 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 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 (GOE). 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 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 9.3 met bijbehorende onderstaande behandelprotocollen toegepast. Het behandelprotocol wordt bepaald door de (G)AGS na besmettingscontrole (zie sectie 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 hen contact opnemen met de GAGS. Eventueel kunnen slachtoffers goed toegedekt worden met bijvoorbeeld lakens.

Protocol 1: Behandeling (eventueel) besmette gewonde

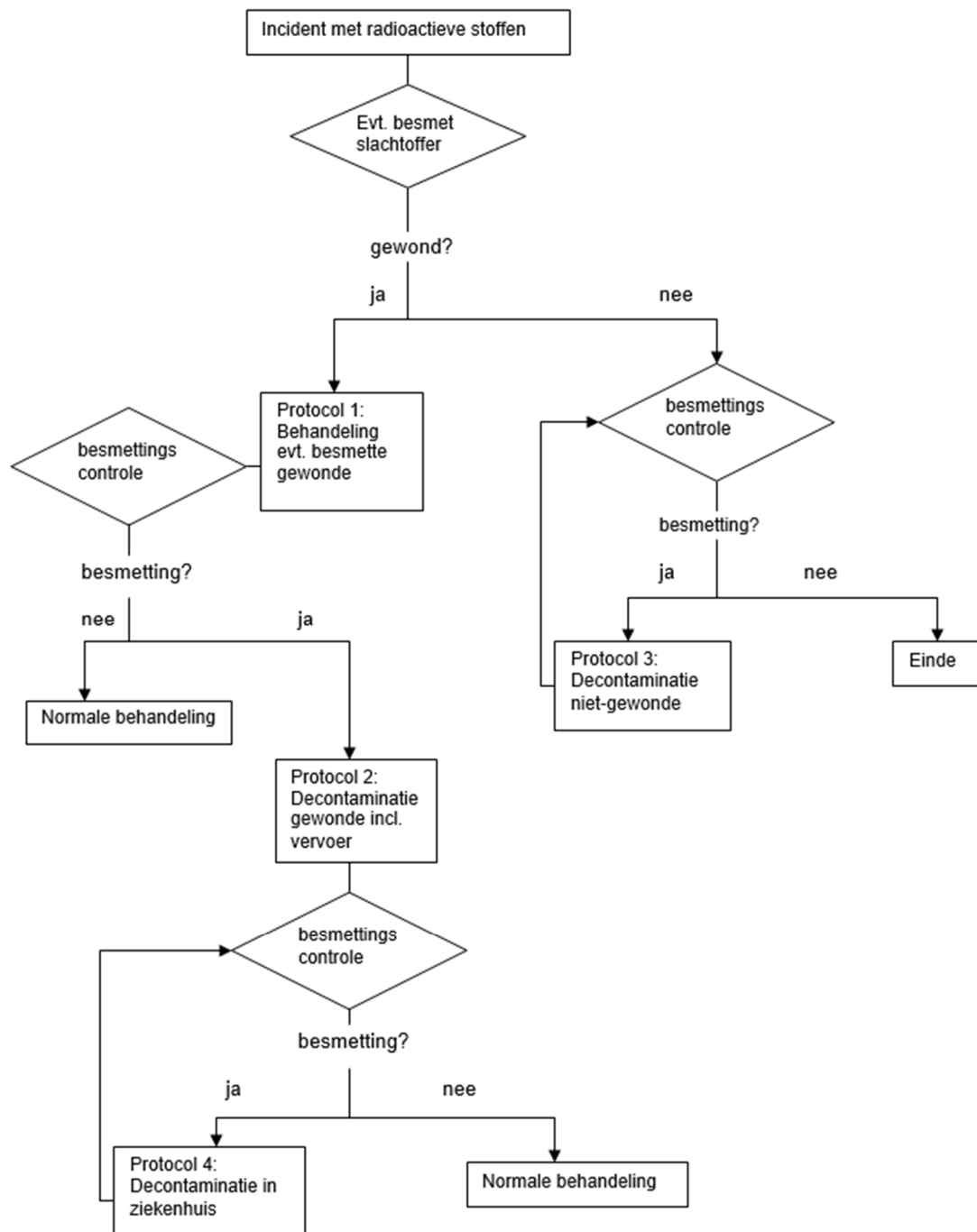
1. Verleen een gewonde die besmet is met radioactief materiaal direct noodzakelijke eerste hulp, zoals het stoppen van een slagaderlijke bloeding, het aanleggen van een noodverband, het behandelen van een ademstilstand, etc.
2. Dek open wonden altijd af.
 - Pas op voor secundaire besmetting.
 - Gebruik persoonlijke beschermingsmiddelen (handschoenen en masker tegen fijn stof).
 - Ga er zo lang eventuele besmetting nog onbekend is, van uit dat de gewonde wel besmet is.
 - Voor 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 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 iemand vandaan komt.
2. Laat vervolgens zo mogelijk de neus snuiten in een tissue (door 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 het in een plastic zak voorzien van een label 'Radioactief besmet'. Door de maatregel vindt al een besmettingsreductie plaats van ongeveer 90%.



Figuur 9.3 Stroomschema voor het verwijderen van besmetting

Vervoer

4. Bedek de brancard, inclusief kussen, met opengeslagen laken of deken, leg de patiënt hierop en sla daarna laken of deken goed om de patiënt heen.
5. Vervoer de patiënt naar een ziekenhuis waar men de beschikking heeft over een besmettingsmonitor (meestal ziekenhuis met 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 procedure herhalen.

- Pas op voor secundaire besmetting.
- Gebruik persoonlijke beschermingsmiddelen (handschoenen en maskers).

Protocol 3: Decontaminatie 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 (door 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 het 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 3x 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 etc. (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 moet worden voorkomen dan wel beperkt.

9.3.5 Besmette omgeving

In vrijwel alle gevallen is inademen van radioactieve deeltjes die opwarrelen (resuspensie), het dominante blootstellingspad. Besmettingscontrole van de omgeving is dus noodzakelijk maar er zijn geen interventieniveaus vastgesteld omdat dit erg moeilijk te controleren en handhaven is. 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.

10 Begrippenlijst

De Begrippenlijst bevat de begrippen die voorkomen in *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Achtergrondinformatie* en in *Stralingsincidenten veiligheidsregio's: Basisinformatie voor operationeel leidinggeven*.

A-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, α	bestaat uit twee protonen en twee neutronen en heeft lading 2+
Alfastraling	α -straling is ioniserende straling door alfadeeltjes; komt meestal voor bij grote kernen zoals uranium
Atoom	kleinst mogelijke deeltje, waarbij de chemische eigenschappen nog volledig behouden zijn
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, β	bestaat uit een positron met lading 1+ of een elektron met lading 1-
Bètastraling	β -straling is ioniserende straling bestaande uit elektronen of positronen
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
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 α - of β -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 weefselweegfactor, aangegeven met E; 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.
Equivalente dosis, H_T	hoeveelheid ioniserende straling geabsorbeerd per massa-eenheid bestraald materiaal vermenigvuldigd met de stralingsweegfactor, 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 γ . Fotonen hebben een hoge energie, dringen diep in weefsels en andere stoffen door en gaan er meestal dwars doorheen.
Gammastraling, γ	γ -straling is onzichtbare elektromagnetische straling met een hogere energie dan ultraviolet licht en röntgenstraling 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: $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ materiaal
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
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, dus verschillende kernmassa's
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 γ -straling wordt uitgezonden
Kosmische straling	ioniserende straling afkomstig uit het heelal
Kwadratenwet	eigenlijk omgekeerde kwadratenwet is een wet (in de natuurkunde) die aangeeft dat een grootte omgekeerd evenredig verloopt met het kwadraat van de afstand tot de puntbron van die grootte

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. Het 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
Positron, e^+ , e^+	ook: positon. Het antideeltje van het elektron. Het heeft dezelfde massa, maar een tegengestelde lading.
Preparatiezone	zone waarbinnen bepaalde maatregelen moeten zijn voorbereid
Proton, p, p^+ of N^+	is een subatomair deeltje met een positieve eenheidslading (dus lading: $1+$)
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, hij 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 vervallen 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 schade toe te brengen aan mensen en omgeving

Radiologische werkers	personen die beroepshalve werken met radioactieve stoffen of met toestellen die ioniserende straling uitzenden
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 β -deeltjes die met een hoge energie langs zware atoomkernen scheren; hierbij worden ze door de elektrische lading van de atoomkern afgebogen en afgeremd
Röntgenstraling, rönt	elektromagnetische straling met een iets grotere energie dan zichtbaar licht en ultraviolet maar lager dan γ -straling. Röntgenstraling wordt bewust opgewekt in een röntgentoestel. Weergegeven als rönt- of X-straling.
Röntgentoestel	toestel waarin röntgenstraling wordt opgewekt
Sievert, Sv	eenheid van dosisequivalent: $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ materiaal
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: gezondheidseffecten waarvan de kans dat ze optreden toeneemt met de stralingsdosis en 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 τ 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 toepassingen 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 aanwezige colli bij elkaar op te tellen. Bij stijve oververpakkingen mag de samengestelde TI ook door rechtstreekse meting bepaald worden.
UN-nummer	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 Tabel 10.1.
LSA	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 ADR voor meer details over de verschillen tussen deze groepen.
SCO	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.
Colli	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: a) Vrijgesteld collo b) Industrieel collo: type 1, 2 en 3 (respectievelijk type IP-1, IP-2 en IP-3) c) Collo van type A d) Collo van type B(U) e) Collo van type B(M) f) Collo van type C Voor deze colli gelden verschillende voorwaarden, zie hieronder. Voor colli die splijtbare stoffen of uraniumhexafluoride bevatten gelden bijzondere voorwaarden.
Vrijgesteld collo	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.)
Industrieel collo	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.
Collo van type A	Dit is een verpakking, een tank of container die een activiteit van ten hoogste A_1 bevat als de stof zich in speciale toestand bevindt of een activiteit van ten hoogste A_2, 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_1 resp. A_2 en die voldoet aan alle algemene voorschriften en - voor zover van toepassing - aan de bijzondere voorschriften (zie ADR). De aard van en hoeveelheid activiteit wordt gelimiteerd door een certificaat.
Collo van type C	Dit is een verpakking die speciaal is ontworpen voor vervoer van hoge activiteit ($> 3000 A_1$ c.q. $> 100.000 A_2$) door de lucht.

UN-nummers met benaming en beschrijving

Tabel 10.1 Overzicht markeringen en gevaren voor UN-nummers

UN-nummer	Mogelijk andere markering	Gevaar
2908, 2909, 2910, 2911	geen	ongevaarlijk
2912, 2913, 3321, 3322, 3324, 3325, 3326	Type IP-1, Type IP-2, LSA, SCO	mogelijk gevaarlijk als materiaal wordt ingeademd of opgenomen
2915, 2982, 3327, 3332, 3333	Type A	mogelijk gevaarlijk
2916, 2917, 3328, 3329	Type B (U), Type B (M)	
3323, 3330	Type C	

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 OPPERVLAK (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 OPPERVLAKE (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

11 Afkortingenlijst

De 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

A	adenine (stikstofbase DNA)
AD	alarmdosimeter
ADOS	alarmdosimeter
ADR	Accord Européen relatif au transport international de marchandises Dangereus par Route
AGS	Adviseur Gevaarlijke Stoffen
ALARA	As Low As Reasonable Achievable
ANVS	Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (met daarin opgenomen EPAn en KFD)
AOCS NM	Air Operations Control Station Nieuw Milligen (Militair luchtverkeersleiding centrum)
AP	anterior-posterior (geometrie)
BOGI	Back Office Geneeskundige Informatie
BORI	Back Office Radiologische Informatie
BZK	Binnenlandse zaken en Koninkrijksrelaties
C	cytosine (stikstofbase DNA)
CBRN	Chemisch, Biologisch, Radiologisch, Nucleair
CEAG	Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid
CET	Crisisexpertteam
CETmd	CET milieu drinkwater
CETs	CET straling (met daarin opgenomen BORI en BOGI)
CKV	Centrum voor Kernongevallenbestrijding
CoPI	Commandoteam Plaats Incident
Covra	Centrale organisatie voor radioactief afval
CVE	Coördinator Verkenningseenheid
CZS	centraal zenuwstelsel
DDA	dienst-doend ambtenaar
DELTA	meting van de door een persoon opgelopen dosis
DNA	desoxyribonucleïnezuur
DTPA	di-ethyleentriaminepenta-azijnzuur
EPAn	Eenheid Planning en Advies nucleair
EPZ	Elektriciteits-Productiemaatschappij Zuid-Nederland
ERIC	Emergency Response Intervention Card
Ext	externe straling
FOXTROT	meting van besmetting op oppervlakken door neergeslagen radioactieve stoffen (bijvoorbeeld 'hot spots')
G	guanine (stikstofbase DNA)
GAGS	Gezondheidskundig Adviseur Gevaarlijke Stoffen
GEVI	gevaarsidentificatienummer
GGD	Gemeentelijke Gezondheidsdienst

GHOR	Geneeskundige Hulpverleningsorganisatie in de Regio
GM	Geiger-Müller
GMK	Gemeenschappelijke Meldkamer
GOE	grootschalige ontsmettingsseenheid
GRIP	Gecoördineerde Regionale Incidentbestrijdingsprocedure
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBC	intermediate bulk container
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ICRU	weefsel-equivalente bol geïntroduceerd door het International Committee on Radiation Units (ICRU) om het menselijk lichaam te benaderen
IenM	Infrastructuur en Milieu
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)
ISO	isotroop (geometrie)
k	kontamination
KEW	Kernenergiewet
KFD	Kernfysische Dienst
LD	letale dosis
LD ₅₀	letale dosis waarbij 50% van de blootgestelde personen overlijdt
LMRV	Landelijk meetnet radioactiviteit in voedsel
LNT	linear-no-threshold
NCC	Nationaal Crisiscentrum
NCS	Nationaal Crisisplan Stralingsincidenten
NCTV	Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid
NDO	niet-destructief onderzoek
NMR	Nationaal Meetnet Radioactiviteit
NPK	Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding
NRG	Nuclear Research and consultancy Group
NVWA	Nederlandse Voedsel en Warenautoriteit
OIL	Operational Intervention Level
PA	posterior-anterior (geometrie)
PET	Positron Emission Tomography
PWR	pressurized water reactor
RA	radioactiviteit/radioactief
RIKILT	Nederlands Instituut voor voedselveiligheid
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RIZA	Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling
ROMEO	meting van dosistempo door externe straling in de omgeving
ROT	rotatie-invariant (geometrie)
ROT	regionaal operationeel team (overlegvorm)
RTG	radionuclide thermoelectric generators
RVS	roestvast staal
SCRAM	security rods axe man
SD	stralingsdeskundige
SED	Site Emergency Director
SIERRA	meting van besmetting op personen
STC-CON1	geconstrueerde bronterm die Nederland hanteert
SITRAP	situatierapportage

T	thymine (stikstofbase DNA)
TI	transportindex
TMI	Three Mile Island
TS	tankautospuut
UN	United Nations (in UN-nummer)
Urenco	Uranium Enrichment Company
UV	ultraviolet
VE	verkenningseenheid
VLH	veiligheid
WVI	waakvlaminstituut
X	X-ray

Grootheden en eenheden

A	activiteit (eenheid: Bq)
A	massagetal (geen eenheid)
Bq	Becquerel
C	Coulomb
C_{gem}	gemiddelde concentratie
Ci	Curie (= $3,7 \times 10^{10}$ Bq) (oud)
cps	counts/tikken per seconde
d	dochter (geen eenheid)
d	dikte afschermingsmateriaal (eenheid: centimeters)
D	dosis (eenheid: Gy)
$\dot{D}$	dosistempo (eenheid: Gy/u)
DCC	dosisconversiecoëfficiënt (eenheid: Sv/Bq)
E	energie (eenheid: eV)
E	effectieve dosis (eenheid: Sv)
$E(\tau)$	effectieve volgdosis (eenheid: Sv)
e_{50}	dosisconversiecoëfficiënt (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
$\dot{H}_T$	equivalente orgaandositempo
H_{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
K	kerma
$\dot{K}_{\text{air}}$	luchtkermatempo
kg	kilogram
km	kilometer

m	moeder
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 ⁻¹	per seconde en ks ⁻¹ = 1000 cps
Sv	Sievert
t	tijdstip t
T _½	halfwaardetijd
u	uur
V	ademventilatievoud (eenheid: m ³ /u)
w _R	stralingsweegfactor
w _T	weefselweegfactor
X	exposie (eenheid: R)
X	type atoom (geen eenheid)
y	yield/opbrengst
Y	type atoom (geen eenheid)
z	indringdiepte (eenheid: centimeters)
Z	aantal protonen (geen eenheid)
α	alfa
β	beta
Δt	tijdsinterval/periode
Φ	aantal passerende fotonen
γ	gamma
Γ _{H*(10)}	bronconstante (eenheid: μSv.m ² /MBq.u)
λ	vervalconstante (eenheid: s ⁻¹)
μ	lineïeke verzwakkingscoëfficiënt
$\bar{\nu}$	antineutrino
ρ	soortelijke dichtheid van materie (eenheid: g/cm ³)

Chemisch

Am	americium
Ba	barium
Be	beryllium
Bi	bismuth
C	koolstof
Ce	cerium
Cm	curium
Co	kobalt
Cl	chloor
Cs	cesium
Eu	europium
F	fluor
Ga	gallium
H	waterstof
He	helium
HF	waterstoffluoride
I	jodium
In	indium
Ir	iridium
K	kalium
Kr	krypton
La	lantaan
Li	lithium
Mo	molybdeen
Ni	nikkel
Np	neptunium

P	fosfor
Pb	lood
Po	polonium
Pr	praseodymium
Pu	plutonium
Ra	radium
Rb	rubidium
Re	renium
Rh	rhodium
Rn	radon(-222) en thoron(-220)
Ru	ruthetium
S	zwavel
Sb	antimoon
Se	selenium
Si	silicium
Sr	strontium
Tc	technetium
Te	tellurium
Th	thorium
U	uranium
UF ₆	uraanhexafluoride
UO ₂ F ₂	uranoylfluoride
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 10 (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 (72.64)	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 (88.91)	Zr 40 (91.22)	Nb 41 (92.91)	Mo 42 (95.94)	Tc 43 (98.91)	Ru 44 (101.07)	Rh 45 (101.07)	Pd 46 (106.90)	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 (132.91)	Ba 56 (137.33)	La 57 (138.91)	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 (207.2)	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 (263.12)	Bh 107 (264.12)	Hs 108 (277.13)	Mt 109 (268.14)	Ds 110 (268.14)	Rg 111 (280*)	Cn 112 (280*)		Fl 114 (289*)		Lv 116 (293*)		

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 11.1 Periodiek systeem der Elementen

12 Bronnen

Stralingsincidenten veiligheidsregio's is samengesteld uit onderstaande 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. Besluit Stralingsbescherming
26. Regeling beveiliging nucleaire inrichtingen en splijtstoffen
27. www.rivm.nl
28. www.wikipedia.nl

Instituut Fysieke Veiligheid

Het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) draagt bij aan een veilige samenleving door het versterken van de veiligheidsregio's en hun partners bij het professionaliseren van hun taken. Wij ontwikkelen en delen relevante kennis, wij hebben expertise voor het verwerven en beheren van gemeenschappelijk materieel en wij adviseren de betrokken besturen.

Ons motto hierbij is: signaleren en verbinden.



Instituut Fysieke Veiligheid
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
026 355 24 00
www.ifv.nl