

NVIC Rapport 03/2023

Triage en eerste opvang van slachtoffers na stralingsincidenten

Vuile bom

Verborgen bron

Transportongeval met medische radionucliden

R. de Groot

R.B.T. Verkooijen

G.A. van Zoelen

A.J.H.P. van Riel

C. Oerlemans

M.E.C. Leenders

D.W. de Lange



UMC Utrecht
Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum

Contactgegevens:

Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (NVIC)
Divisie Vitale Functies
Universitair Medisch Centrum Utrecht
Huispostnummer Q03.2.315
Postbus 85500
3508 GA Utrecht

Tel: 088-7558561

Fax: 088-7555677

nvic@umcutrecht.nl

www.vergiftigingen.info

<https://nvic.umcutrecht.nl/>

Contactpersoon:

Ronald de Groot

Dit NVIC document is een herziene uitgave van het RIVM Rapport 660003004/2010.

© UMC Utrecht 2023

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding:
NVIC Rapport 03/2023: Triage en eerste opvang van slachtoffers na stralingsincidenten, Nationaal
Vergiftigingen Informatie Centrum, Universitair Medisch Centrum Utrecht.

URL: <https://nvic.umcutrecht.nl/nl/downloads>

Samenvatting

Bij stralingsincidenten worden slachtoffers blootgesteld aan radioactief materiaal en/of ioniserende straling. In dit document is de triage en eerste opvang van slachtoffers na stralingsincidenten met bijbehorende maatregelen uiteengezet, vanaf het rampterrein tot aan het ziekenhuis. Hierbij wordt een belangrijk onderscheid gemaakt tussen incidenten waarbij radioactief materiaal wordt verspreid en de omgeving en slachtoffers radioactief besmet kunnen raken, en incidenten waarbij dit niet het geval is maar er wel bestraling vanuit een (sterke) radioactieve bron kan plaatsvinden.

De volgende drie scenario's worden besproken:

- Vuile bom: verspreiding van radioactief materiaal in de omgeving.
- Verborgen radioactieve bron: geen verspreiding, wel bestraling vanuit de bron.
- Transportongeval medische radionucliden: bestraling vanuit de vervoerde bronnen (afscherming verminderd) en mogelijk beperkte verspreiding van radioactief materiaal.

Vuile bom

Een vuile bom is een conventioneel explosief, dat bij ontploffing radioactief materiaal verspreidt. Er zal doorgaans een beperkt aantal slachtoffers zijn met ernstig trauma door de explosie. Een grotere groep personen zal uitwendig worden besmet met radioactief materiaal, waarbij de stralingsdosis beperkt is. Als scherven van de radioactieve bron door de explosie in de huid terecht zijn gekomen kunnen deze lokale stralingsschade veroorzaken. Ook kan uitwendige bestraling optreden door fragmenten van de bron en neerslag van radioactief materiaal in de omgeving. Tevens kunnen slachtoffers inwendig besmet raken door inhalatie van radioactief materiaal of door besmette wonden. Optreden van stralingsziekte is niet waarschijnlijk.

Levensbedreigend gewonden (door de explosie) zullen na stabilisatie waarschijnlijk direct naar het ziekenhuis worden vervoerd. Overige slachtoffers worden bij voorkeur nabij het incidentgebied gecontroleerd op radioactieve besmetting en zo nodig gedecontamineerd. Er zullen ook slachtoffers zijn die op eigen initiatief het incidentgebied verlaten zonder besmettingscontrole en (later) mogelijk als 'zelfverwijzers' het ziekenhuis bezoeken. Tenslotte zal er een groep 'worried well' zijn: personen die zich zorgen maken, zonder dat zij zijn blootgesteld of besmet.

Ziekenhuizen moeten rekening houden met deze verschillende groepen slachtoffers (vanuit triage in het incidentgebied, zelfverwijzers en 'worried well'). Bij de triage zal naast conventioneel trauma ook de mogelijkheid van uitwendige en inwendige besmetting in kaart moeten worden gebracht. Behalve traumaopvang moet het mogelijk zijn om besmettingscontrole en decontaminatie uit te voeren. Bij voorkeur is er kennis van de behandeling van inwendige besmetting (nucleaire geneeskunde). Als de capaciteit voor opvang onvoldoende is zullen groepen slachtoffers worden doorverwezen: bijvoorbeeld naar een centrale locatie voor decontaminatie en opvang (zelfverwijzers), naar andere ziekenhuizen in de regio als na decontaminatie (bij incidentgebied of in ziekenhuis) behandeling van verwondingen of van een inwendige besmetting nodig is. Het is ook mogelijk dat voor opvang het Calamiteitenhospitaal in het Universitair Medisch Centrum Utrecht (UMCU) wordt ingezet.

Verborgen radioactieve bron

Bij een incident met een verborgen bron wordt de radioactieve stof niet verspreid. Het betreft een sterke radioactieve bron die op een publieke plaats is verstopt en daar personen in de omgeving bestraalt. Een zeer grote groep personen kan zijn blootgesteld aan ioniserende straling en op het moment van ontdekking van de bron alweer zijn verspreid over een groot deel van Nederland.

Na de ontdekking van een verborgen radioactieve bron moeten alle personen worden opgespoord die zich gedurende enige tijd in de buurt van de bron hebben bevonden. Vervolgens wordt bepaald welke personen mogelijk een significante stralingsdosis hebben opgelopen waarvoor nader onderzoek nodig is. Dit zijn in elk geval de personen met tekenen van stralingsziekte en/of lokale stralingsschade. Nader onderzoek is eveneens gewenst voor personen zonder symptomen die zich gedurende langere tijd in de buurt van de bron hebben bevonden. Alle personen die zo kort in de buurt van de bron aanwezig zijn geweest dat een significante blootstelling niet mogelijk is, kunnen worden gerustgesteld. Decontaminatie is niet nodig bij blootstelling aan een intacte radioactieve bron omdat slachtoffers niet zijn besmet met het radioactief materiaal zelf.

Behandeling van stralingsziekte kan plaatsvinden op een afdeling hematologie en bij een afdeling radiotherapie is kennis aanwezig over lokale stralingsschade. Het is de verwachting dat spreiding van slachtoffers over ziekenhuizen goed gecoördineerd kan worden.

Transportongeval medische radionucliden

Na een ongeval tijdens vervoer van medische radionucliden kunnen bij een onbeheersbare brand de verpakkingen (gedeeltelijk) smelten en kan door de verminderde afscherming het stralingsniveau rond het voertuig toenemen. Daarnaast kunnen radioactieve stoffen in de omgeving vrijkomen.

In een worst case scenario kan het stralingsniveau vlak naast een (uitgebrand) voertuig behoorlijk hoog zijn, maar dit neemt met afstand vanaf het voertuig snel af. Er is geen beperking voor levensreddend handelen: een eventueel gewonde chauffeur kan uit het voertuig worden gehaald zonder dat de hulpverlener een gevaarlijk hoge stralingsdosis oploopt. De blootstellingsduur is beperkt en bovendien zal deze redding in geval van brand in een vroege fase van het incident (moeten) plaatsvinden, wanneer naar verwachting de verpakkingen nog (grotendeels) intact zijn. In afwachting van metingen geven de vertreklocatie van het voertuig (productiefaciliteit of radiofarmaca-apotheek) en de inventaris (molybdeen-99/technetium-99m en fluor-18 wel of niet aanwezig) een aanwijzing voor de maximale straling vanuit het voertuig.

De standaard afstanden van het gevarengedebied (25 meter) en het werkgebied (100 meter) zijn toereikend. Overweeg een maximum afstand voor het gevarengedebied van 10 meter of stel naar beneden na metingen. Bij beschadiging van de verpakkingen kan radioactief materiaal in de omgeving vrijkomen. Blootstelling door verblijf in het besmette gebied (bestraling vanaf de grond en vanuit de overtrekkende rookwolk) en inwendige besmetting (door inhalatie) geeft een beperkte stralingsdosis. Behandeling van inwendige besmetting is derhalve niet nodig. De uitwendige besmetting op huid en kleding is eveneens zeer beperkt. Het is het meest praktisch om bij grote aantallen omstanders de blootgestelde personen thuis te laten douchen en kleding te laten wassen. Voor hulpverleners wordt wel aangeraden de besmetting te meten en zo nodig te decontamineren.

Bij een vervoersongeval kunnen slachtoffers met conventioneel trauma bij het ziekenhuis worden gepresenteerd. Een uitwendige radioactieve besmetting is onwaarschijnlijk omdat dit pas in een late fase van de brand zal plaatsvinden. Bij twijfel of bij aanwijzing vanuit het incidentgebied moet besmettingscontrole en zo nodig decontaminatie worden uitgevoerd. Als personen zich vanwege onrust over mogelijke blootstelling en besmetting bij het ziekenhuis presenteren moeten zij goed worden geïnformeerd over de ingezette strategie: naar huis of naar opvanglocatie elders.

Advies en antidota

Voor advies en uitgifte van antidota is het NVIC 24/7 beschikbaar voor professionele hulpverleners via 088-755 8000. Op de NVIC website www.vergiftigingen.info is naast toxicologische informatie ook veel radiologische informatie te vinden: een algemeen document 'ioniserende straling' en documenten over specifieke radioactieve stoffen (zoek op stofnaam of voor een compleet overzicht op 'radioactief'). Bij incidenten kan voor advies ook contact worden gezocht met de Gezondheidskundig Adviseur Gevaarlijke Stoffen (GAGS) van de GGD (via de meldkamer ambulancezorg).

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1. Inleiding	6
2. Stralingsincidenten	7
2.1. Incidenten met verspreiding van radioactieve stoffen	7
2.2. Incidenten met alleen uitwendige bestraling	7
3. Vuile bom	8
3.1. Slachtoffers vuile bom	8
3.2. Triage en opvang van slachtoffers vuile bom	9
3.3. Vuile bom: benodigde expertise in het ziekenhuis	13
4. Verborgen bron	14
4.1. Slachtoffers verborgen bron	14
4.2. Triage en opvang slachtoffers verborgen bron	14
4.3. Verborgen bron: benodigde expertise in het ziekenhuis	17
5. Transportongeval medische radionucliden	18
5.1. Slachtoffers transportongeval	18
5.2. Triage en opvang slachtoffers transportongeval	19
5.3. Transportongeval: benodigde expertise in het ziekenhuis	22
Overzicht verschillende scenario's	23
Literatuur	24
Bijlage 1 Soorten blootstelling na stralingsincidenten	25
Bijlage 2 Achtergrondinformatie over radioactiviteit en ioniserende straling	29

1. Inleiding

Het Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (NVIC) van het Universitair Medisch Centrum Utrecht (UMCU) is het kenniscentrum voor klinische toxicologie in Nederland. Het NVIC informeert professionele hulpverleners over de mogelijke gezondheidseffecten en behandelingsmogelijkheden bij blootstelling aan (gevaarlijke) stoffen, zowel chemische als radioactieve. Bij (dreigende) stralingsincidenten is het NVIC één van de kennisinstellingen in het Radiologisch en Gezondheidskundig Expertise Netwerk (RGEN) dat onderdeel is van het Crisis Expert Team straling en nucleair (CETsn). Het NVIC is hierin verantwoordelijk voor het verstrekken van advies over maatregelen die genomen kunnen worden om de gezondheidsrisico's van straling voor hulpverleners en burgers te beperken.

Dit document zet de triage en de eerste opvang van slachtoffers na stralingsincidenten uiteen, vanaf het rampterrein tot aan het ziekenhuis. Er is gekozen voor een beknopt en praktisch overzicht dat inzicht verschaft in de belangrijkste aspecten bij verschillende scenario's. De opgedane kennis dient ook als kapstok voor verdere verdieping vanuit vele beschikbare handboeken.

Bij stralingsincidenten is het cruciaal om te achterhalen of er al dan niet verspreiding van radioactief materiaal heeft plaatsgevonden. Het 'vuile bom' scenario dient in dit document als voorbeeld van een incident waarbij radioactief materiaal wordt verspreid. Bij het scenario 'verborgen bron' wordt het radioactief materiaal niet verspreid maar kan er wel blootstelling aan straling plaatsvinden. Tenslotte wordt een transportongeval met medische radionucliden besproken waarbij door een onbeheersbare brand de verpakkingen beschadigen met hierdoor een hoger stralingsniveau rond het voertuig en mogelijk (beperkte) verspreiding van radioactief materiaal in de omgeving.

Er wordt binnen de scenario's onderscheid gemaakt tussen verschillende groepen slachtoffers en soorten blootstelling, waarvoor specifieke maatregelen nodig zijn om gezondheidsrisico's te beperken. Vervolgens is de beoordeling, selectie en eerste opvang van slachtoffers met bijbehorende maatregelen in stroomschema's uiteengezet. Deze zouden tijdens een incident kunnen worden gebruikt, maar dienen vooral voor het verkrijgen van inzicht in de verschillende scenario's. Ook de benodigde expertise in het ziekenhuis voor het opvangen van stralingsslachtoffers wordt besproken. Nucleaire incidenten met een kernenergiecentrale of een kernbom vallen buiten het bestek van dit document.

Bijlage 1 geeft een overzicht van soorten blootstelling na stralingsincidenten.

Bijlage 2 geeft uitleg over radioactiviteit en ioniserende straling.

In het NVIC document 'Eigen veiligheid in perspectief'^[eig] is de volgende aanvullende informatie opgenomen:

- Aandachtspunten bij decontaminatie van radioactief besmette slachtoffers.
- Benodigde persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM).
- Risico van secundaire blootstelling van medische hulpverleners.
- Handvatten voor de voorbereiding van ziekenhuizen.

Voor advies en uitgifte van antidota (zie bijlage 1) is het NVIC 24/7 beschikbaar voor professionele hulpverleners via 088-755 8000. Op de NVIC website www.vergiftigingen.info is naast toxicologische informatie ook veel radiologische informatie te vinden: een algemeen document 'ioniserende straling' en documenten over specifieke radioactieve stoffen (zoek op stofnaam of voor een compleet overzicht op 'radioactief'). Bij incidenten kan voor advies ook contact worden gezocht met de Gezondheidskundig Adviseur Gevaarlijke Stoffen (GAGS) van de GGD (via de meldkamer ambulancezorg).

2. Stralingsincidenten

In geval van stralingsincidenten is het belangrijk om onderscheid te maken tussen:

- incidenten waarbij radioactief materiaal in de omgeving is verspreid en waarbij slachtoffers mogelijk uitwendig en inwendig zijn besmet en
- incidenten waarbij alleen uitwendige bestraling van slachtoffers heeft plaatsgevonden maar waarbij slachtoffers NIET uitwendig en inwendig zijn besmet met radioactief materiaal.

In onderstaande paragrafen worden voorbeelden genoemd van beide soorten incidenten.

2.1. Incidenten met verspreiding van radioactieve stoffen

Als radioactief materiaal zich verspreid tijdens een incident kunnen slachtoffers hiermee zijn besmet. Uitwendige besmetting kan plaatsvinden als radioactief materiaal op kleding en huid terecht komt. Inwendige besmetting kan optreden door inhalatie van radioactieve stofdeeltjes, contact van besmette vingers met de mond of door besmetting van wonden. De blootstelling aan ioniserende straling die door het radioactief materiaal wordt uitgezonden gaat door zolang de radioactieve stof op of in het slachtoffer aanwezig is. In het incidentgebied kan uitwendige bestraling tevens plaatsvinden vanaf de besmette omgeving.

Incidenten waarbij radioactief materiaal zich kan verspreiden:

- Terroristische aanslag met een 'Radiological Dispersal Device' (RDD):
 - Verspreiding van materiaal door een conventioneel explosief, een 'vuile bom'. Dit scenario wordt in [hoofdstuk 3](#) verder uitgewerkt.
 - Verspreiding zonder explosie vanuit bijvoorbeeld een (sproei)vliegtuig.
- Ongeval in een radionuclidenlaboratorium: als wordt gewerkt met een open bron.
- Transportongeval met medische radionucliden: als de verpakking is beschadigd door een onbeheersbare brand. Dit scenario wordt in [hoofdstuk 5](#) verder uitgewerkt.
- Kwijtraken van een radioactieve bron ('orphan source'): als radioactief materiaal zich heeft verspreid vanwege defecte afscherming, zoals het Goiânia-incident met radioactief cesium.^[iae]

2.2. Incidenten met alleen uitwendige bestraling

Wanneer de radioactieve bron intact blijft tijdens een incident en het materiaal zich niet verder verspreid kan er bij verminderde afscherming van de bron uitwendige bestraling optreden. De blootstelling aan ioniserende straling neemt af of stopt zodra de persoon zich voldoende heeft verwijderd van de bron of zodra de bron voldoende wordt afgeschermd.

Incidenten waarbij alleen uitwendige bestraling van een slachtoffer plaatsvindt:

- Een Radiological Exposure Device (RED) waarbij een sterke radioactieve bron op een publieke plaats is verstopt en daar personen in de omgeving bestraalt. Dit scenario wordt in [hoofdstuk 4](#) verder uitgewerkt.
- Bedrijfsongevallen met sterke industriële bronnen, bijvoorbeeld voor sterilisatie van voedsel of voor radiografie, zoals een incident met een iridiumbron.^[iae2]
- Transportongeval met medische radionucliden: als de verpakking is beschadigd en de afscherming is verminderd. Dit scenario wordt in [hoofdstuk 5](#) verder uitgewerkt.
- Kwijtraken van een bron ('orphan source'): als de bron intact is maar de afscherming is verwijderd/verminderd, zoals een incident met een verloren radiotherapiebron.^[iae3]

3. Vuile bom

Een vuile bom is een conventioneel explosief dat bij ontploffing radioactief materiaal verspreid, om zo de omgeving en mensen te besmetten en vooral om hiermee grote onrust te veroorzaken.

3.1. Slachtoffers vuile bom

Bij een incident met een vuile bom is de aard van de blootstelling sterk afhankelijk van de nabijheid tot de bron op het moment van de explosie en van de aard van het radioactief materiaal en de soort straling die wordt uitgezonden (zie [bijlage 2](#) voor uitleg). In het algemeen zijn de volgende blootstellingen te verwachten (zie [bijlage 1](#) voor uitleg), ingedeeld per 'gebied' waarbij de grootte daarvan afhankelijk is van de grootte van het explosief en de hoeveelheid radioactief materiaal:

Eerste gebied (dicht bij de explosie):

- Conventioneel trauma: mogelijk levensbedreigend trauma en brandwonden door de explosie.
- Uitwendige besmetting met radioactief materiaal. Mogelijk besmette wonden en scherven of splinters van de radioactieve bron in de huid.
- Mogelijk inwendige besmetting met radioactief materiaal door inhalatie of wondbesmetting.
- Uitwendige bestraling door besmetting van het gebied met neerslag van radioactief materiaal en door fragmenten van de bron (afhankelijk van het radioactief materiaal).

Tweede gebied (verder weg van de explosie):

- Conventioneel trauma: lichtgewonden door de explosie.
- Mogelijk uitwendige besmetting met radioactief materiaal.
- Mogelijk inwendige besmetting met radioactief materiaal door inhalatie.
- Beperkte uitwendige bestraling door besmetting van het gebied met neerslag van radioactief materiaal (afhankelijk van het radioactief materiaal).

Pluim in windrichting:

- Hoogstwaarschijnlijk slechts een lichte besmetting van een gebied benedenwinds, door neerslag van radioactief materiaal. De grootte van het besmette gebied is afhankelijk van de weersomstandigheden en het terrein.

Het aantal slachtoffers hangt af van de volgende factoren:

- Grootte van het explosief. Van belang voor het aantal slachtoffers met conventioneel trauma in de directe omgeving en de mate van verspreiding van het radioactief materiaal.
- Hoeveelheid en aard van de radioactieve stof(fen) (wel/geen doordringende straling).
- Bevolkingsdichtheid in het besmette gebied/aantal mensen aanwezig op de locatie van de explosie. Dit zal hoger zijn in geval van een groot evenement zoals bij een sportwedstrijd.

Over het algemeen kan worden uitgegaan van een beperkt aantal slachtoffers met ernstig (conventioneel) trauma door de explosie: mogelijk enkelen tot maximaal tientallen. Een grotere groep personen zal uitwendig (en mogelijk inwendig) worden besmet waarbij de stralingsdosis beperkt zal zijn, zeker als snel na blootstelling decontaminatie plaatsvindt. Er zal een grote groep mensen zijn van buiten het incidentgebied die zich ernstige zorgen maakt, zonder dat blootstelling aan straling of radioactief materiaal heeft plaatsgevonden (de 'worried well').

Stralingsziekte is in geval van een incident met een vuile bom *niet* waarschijnlijk omdat de stralingsdosis door uitwendige en/of inwendige besmetting te laag zal zijn. Het al dan niet ontvangen van een stralingsdosis hangt ook af van het soort straling dat wordt uitgezonden (zie [bijlage 2](#)).

3.2. Triage en opvang van slachtoffers vuile bom

Figuur 1 geeft een overzicht van de triage en opvang van verschillende groepen slachtoffers, afhankelijk van de ernst van het conventioneel trauma en het al dan niet inwendig en/of uitwendig besmet zijn met radioactief materiaal. De onderstaande nummering is terug te vinden in figuur 1.

Het is belangrijk om te beseffen dat er vier groepen slachtoffers te onderscheiden zijn:

- ① Zelf naar huis
 - Een groep slachtoffers die het incidentgebied zonder besmettingscontrole verlaat en naar huis gaat en zich dus onttrekt aan de triage in het incidentgebied (het zal ook enige tijd duren voordat deze is opgestart). Deze personen zijn waarschijnlijk niet gewond (T0) of lichtgewond (T3) maar mogelijk wel besmet met radioactief materiaal.
 - Deze personen moeten via de media het advies krijgen om thuis hun kleren uit te doen en te douchen. De kleding kan tot nadere instructie in een afgesloten plastic (vuilnis)zak buiten de leefruimte worden bewaard. Zie voor meer informatie het TMT Handbook^[tmj] (Chapter G, p.164 'Self-decontamination at home').
- ② Zelfverwijzers
 - Slachtoffers die op eigen initiatief het incidentgebied verlaten en zich dus onttrekken aan de triage in het incidentgebied en (later) als 'zelfverwijzers' het ziekenhuis bezoeken. Deze personen zijn waarschijnlijk niet gewond (T0) of mogelijk lichtgewond (T3). Aangezien deze slachtoffers uit het incidentgebied komen zijn ze mogelijk besmet met radioactief materiaal en moeten ze bij aankomst bij het ziekenhuis worden gecontroleerd op besmetting en zo nodig worden gedecontamineerd. Om besmetting van het gebouw te voorkomen, is het belangrijk dat slachtoffers het ziekenhuis niet binnen kunnen komen voordat besmettingscontrole en zonodig decontaminatie heeft plaatsgevonden. In overleg met de bewaking kunnen de ziekenhuisgangen worden bewaakt of afgesloten.
- ③ 'Worried well'
 - Mensen van buiten het incidentgebied die zich ernstig zorgen maken zonder dat daadwerkelijk blootstelling aan straling of radioactief materiaal heeft plaatsgevonden, de zogenaamde 'worried well'. Het kan gaan om een grote groep en het is zeer belangrijk dat ervoor wordt gezorgd dat deze personen het ziekenhuis niet overspoelen. In overleg met de bewaking kunnen ziekenhuisgangen worden bewaakt of afgesloten. Goede communicatie naar deze groep is essentieel.
- ④ Slachtoffers in triage
 - Slachtoffers die nabij het incidentgebied worden getriageerd.
- ⑤ – Levensbedreigend (T1) en ernstig (T2) gewonden zullen naar een ziekenhuis worden vervoerd. Bij voorkeur naar een ziekenhuis dat is voorbereid op de ontvangst van patiënten die besmet zijn met radioactief materiaal en met de mogelijkheid om stralingslachtoffers te behandelen. Traumaopvang moet mogelijk zijn (zie [paragraaf 3.3](#)).
- ⑥ – Gewonden in levensgevaar (T1) worden direct naar het ziekenhuis vervoerd zonder dat decontaminatie in het veld plaatsvindt.

- 7 – Het zal in de praktijk eenvoudiger zijn om naast de gewonden in levensgevaar (T1) ook de zwaar gewonden (T2) direct naar het ziekenhuis te vervoeren indien daar decontaminatie kan plaatsvinden. De decontaminatie van zwaargewonden (T2) vereist namelijk speciale aandacht en moet worden uitgevoerd door medisch getraind personeel. Deze slachtoffers zijn waarschijnlijk niet ambulante zodat decontaminatie op een brancard moet plaatsvinden.

Betreffende het vervoer van besmette slachtoffers naar het ziekenhuis: bedek de brancard, inclusief kussen, met een opengeslagen deken, leg de patiënt hierop en sla daarna laken of deken goed om de patiënt heen. Zie voor meer informatie het TMT Handbook^[tmt] (Chapter I, p.222 'Handling of contaminated casualties and transport to hospital').

- 8 – Overige slachtoffers uit het incidentgebied (licht of niet gewond) moeten worden gecontroleerd op besmetting met radioactief materiaal en zonodig worden gedecontamineerd. Nabij het incidentgebied kan dit door de brandweer worden uitgevoerd. In de veiligheidsregio's zijn decontaminatie-units (ontsmettingsstraten) aanwezig waarmee zestig personen per uur kunnen worden gedecontamineerd. Uitgangspunt voor het schema is dat deze uitgebreide en professionele decontaminatie nabij het incidentgebied mogelijk is. Wanneer slechts eenvoudige decontaminatie in het veld kan plaatsvinden, zoals het uittrekken van de kleding, moet rekening worden gehouden met restbesmettingen. De specifieke decontaminatieprocedures in het veld worden in dit rapport niet nader behandeld. Zie voor meer informatie het TMT Handbook^[tmt] (Chapter G, p.150 'Decontamination of people in the field').
- 9 – Na decontaminatie kan nog sprake zijn van inwendige besmetting. Hieraan moet worden gedacht als er besmette wonden zijn (bijvoorbeeld door bomscherven), uitgebreide uitwendige besmetting van het bovenlichaam (vooral schouders, hoofd en haar) waardoor inhalatie van radioactief materiaal te verwachten is, of bij een gemeten restbesmetting. Wanneer geen sprake is van (uitgebreide) uitwendige besmetting van het bovenlichaam, dan kan ervan worden uitgegaan dat significante inwendige besmetting door inhalatie niet waarschijnlijk is. Ingestie van radioactief materiaal door contact van besmette vingers met de mond is een minder belangrijke blootstellingsroute, waarbij de hoeveelheid ingenomen materiaal over het algemeen een lage dosis zal geven. Besmette personen die wachten op decontaminatie moeten geadviseerd worden niet te eten, te drinken en te roken en contact van handen met de mond te vermijden.
- 10 – Bij het ziekenhuis zal triage plaatsvinden en moet worden gecontroleerd op uitwendige besmetting. Voor slachtoffers waarbij triage in het veld heeft plaatsgevonden zal informatie over conventioneel trauma (en mogelijke inwendige/uitwendige besmetting met radioactief materiaal) worden doorgegeven. Besmettingscontrole en zonodig decontaminatie is vooral van belang voor de zwaargewonden (T1 en T2) die vanuit het veld direct naar het ziekenhuis zijn vervoerd en voor de mogelijk besmette 'zelfverwijzers'.

Let op: bij het ziekenhuis moeten de mogelijk besmette zelfverwijzers worden gescheiden van de 'worried well' zonder blootstelling. Dit kan gebeuren aan de hand van informatie over de verblijfplaats ten tijde van de explosie (bij twijfel zal besmettingscontrole moeten plaatsvinden).

De specifieke decontaminatieprocedure na aankomst in het ziekenhuis worden in dit rapport niet behandeld. Zie hiervoor het TMT Handbook^[tmt] (Chapter J, p.230 'Medical management at the hospital') en het NVIC document 'Eigen veiligheid in perspectief'.^[eig]

Onderin het schema is nogmaals aangegeven of de slachtoffers mogelijk uitwendig of inwendig zijn besmet en is de mate van conventioneel trauma (triageklassen T1, T2 en T3, T0 voor niet-gewonden) aangegeven. Ziekenhuizen krijgen mogelijk te maken met een groot aantal slachtoffers (mogelijke groepen binnen de stippellijnen in figuur 1). Bij onvoldoende capaciteit van het ziekenhuis kunnen de volgende groepen elders worden opgevangen:

- 11 – Lichtgewonden (T3) die bij het incidentgebied zijn gedecontamineerd (en dus niet meer besmet zijn) en waarvan inwendige besmetting niet wordt verwacht kunnen elders worden opgevangen (bij voorkeur worden zij direct vanuit het incidentgebied daarheen verwezen). Zo nodig behandeling door de eigen huisarts of in een ander ziekenhuis.
- 12 – Zelfverwijzers die niet gewond (T0) of slechts lichtgewond (T3) zijn (maar mogelijk wel besmet met radioactief materiaal) kunnen op een andere locatie op besmetting worden gecontroleerd en zo nodig worden gedecontamineerd en/of medisch worden behandeld.

Is de capaciteit voor de opvang van overige slachtoffers nog steeds onvoldoende, dan kan de hulp worden ingeroepen van academische ziekenhuizen of het Calamiteitenhospitaal.

Het Calamiteitenhospitaal in het Universitair Medisch Centrum Utrecht (UMCU) kan worden ingezet in geval van calamiteiten, aanslagen of grote ongevallen die de reguliere lokale opvangcapaciteit te boven gaan. De combinatie van een groot academisch ziekenhuis, een militair ziekenhuis, een traumacentrum en NVIC biedt niet alleen de infrastructuur, maar ook de benodigde expertise.

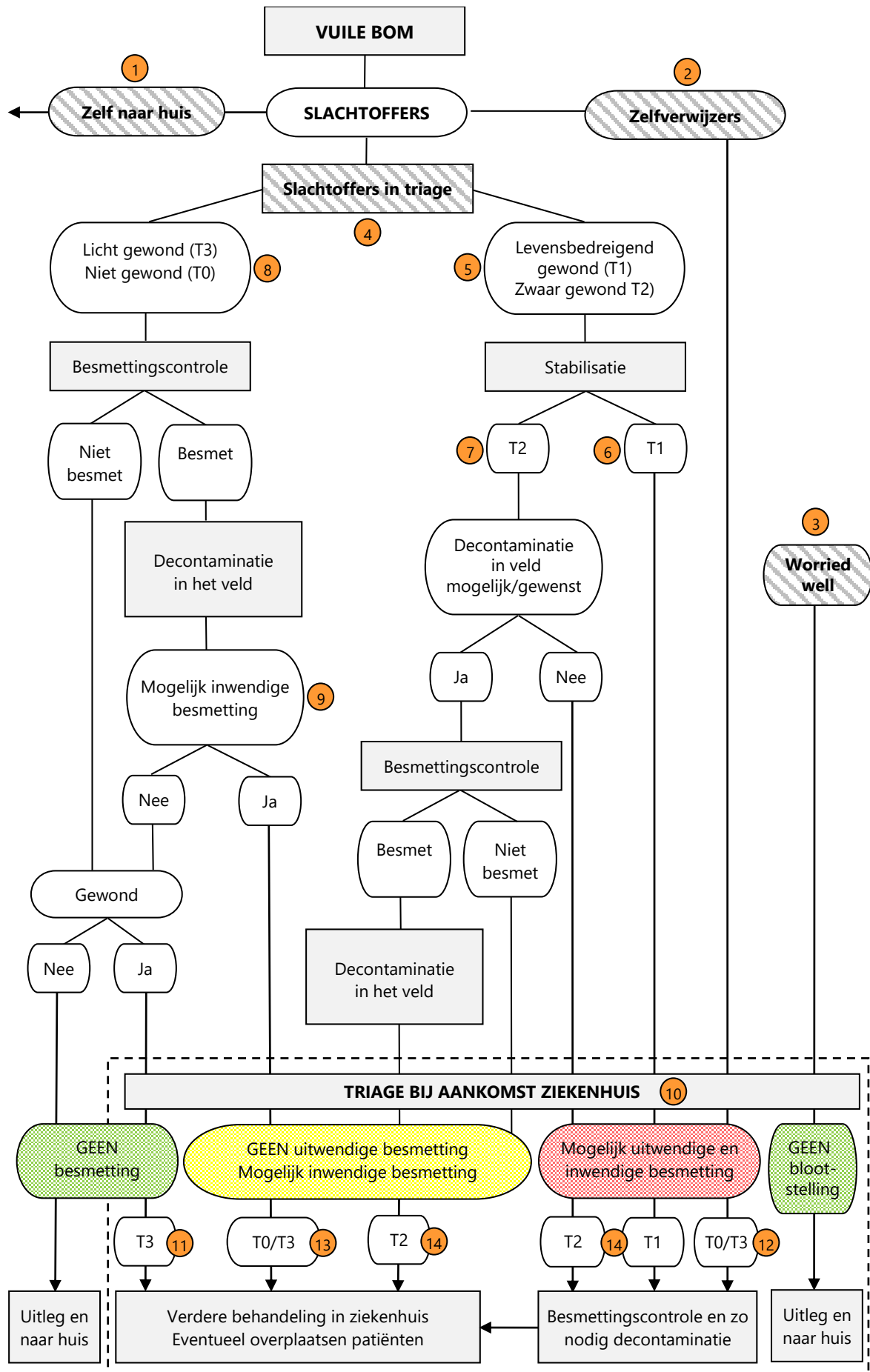
Mogelijke groepen voor doorverwijzing kunnen zijn:

- 13 – Niet-gewonden (T0) of licht gewonden (T3) die in het veld zijn gedecontamineerd (en dus niet meer besmet zijn) maar mogelijk inwendig zijn besmet met radioactief materiaal waarvoor specifieke behandeling nodig is. Doorverwijzing is ook nodig als de expertise voor behandeling niet aanwezig is.
- 14 – In uiterste nood kunnen na stabilisatie (en, indien nodig, liefst ook decontaminatie) de zwaargewonden (T1 en T2) worden overgeplaatst naar andere ziekenhuizen voor specifieke verdere behandeling.

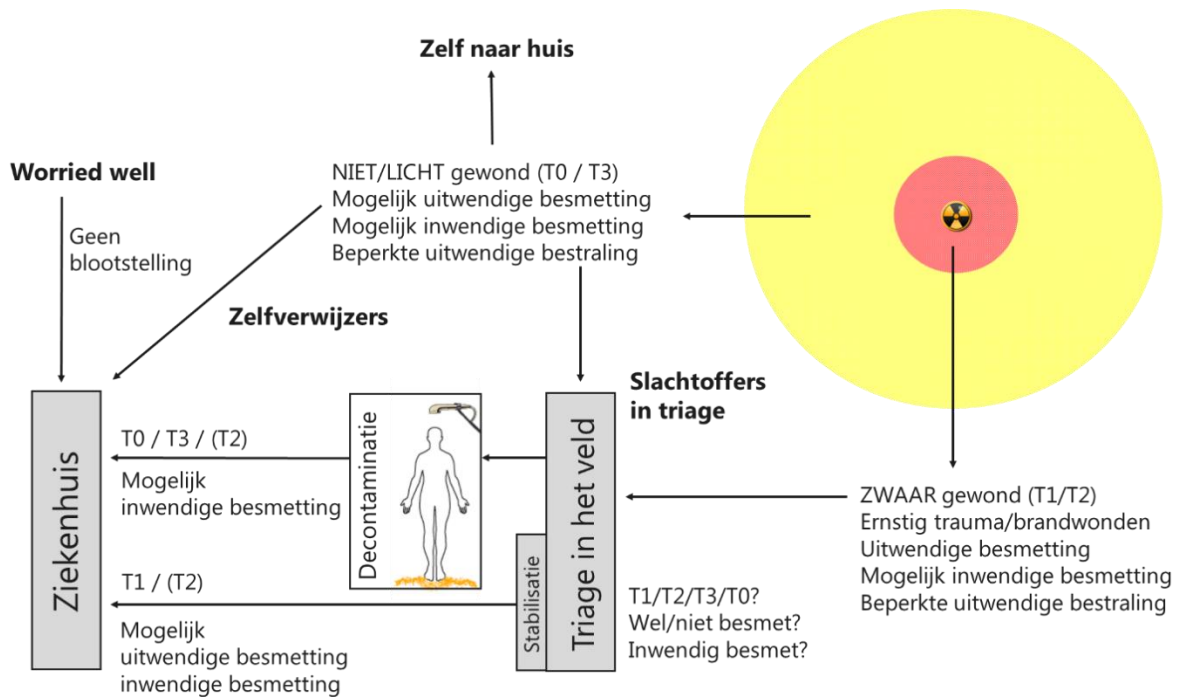
Het stroomschema is samengesteld vanuit de 'Procedure nucleaire besmetting' zoals opgesteld door de GHOR en te vinden in de Leidraad CBRN^[boe], figuur C2 uit het IAEA-document 'Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency'^[iae4] en informatie uit het TMT Handbook.^[tmt] Het grootste verschil met het GHOR-stroomschema voor decontaminatie is dat de mogelijkheid om ernstig gewonden (triageklasse T2) nabij het incidentgebied te decontamineren hier wel in het schema is opgenomen (overeenkomstig de internationale richtlijnen).

De triageklassen zoals gebruikt in figuur 1 en figuur 2:

- T1 Gewonden die onmiddellijk stabilisatie nodig hebben.
 - T2 Gewonden die binnen zes uur een chirurgische of geneeskundige interventie nodig hebben.
 - T3 Minder ernstig gewonden van wie de behandeling zes uur kan worden uitgesteld.
 - T4 Gewonden die het niet zullen overleven zijn niet opgenomen in figuur 1 en 2.
- Niet-gewonden zijn aangeduid met T0 hoewel dit niet een officiële triageklasse is.



Figuur 1 Opvang van slachtoffers na een incident met een vuile bom.



Figuur 2 Samenvatting: verschillende groepen slachtoffers na een incident met een vuile bom.

3.3. Vuile bom: benodigde expertise in het ziekenhuis

Na een incident met een vuile bom zijn er slachtoffers te verwachten met conventioneel trauma door de explosie. Daarnaast kunnen slachtoffers uitwendig (huid/kleding) en inwendig (door inhalatie/wonden) besmet zijn met radioactief materiaal. Bij voorkeur worden slachtoffers gepresenteerd bij een ziekenhuis met de volgende expertise/mogelijkheden:

- Traumaopvang (SEH).
 - o Mogelijk ernstig gewonden (conventioneel trauma/brandwonden) door de explosie.
- Besmettingscontrole en mogelijkheid tot decontaminatie.
 - o Het is belangrijk dat het ziekenhuis is voorbereid op de ontvangst van (grote aantallen) slachtoffers die mogelijk uitwendig zijn besmet met radioactief materiaal. Deze moeten worden gecontroleerd op besmetting en zo nodig worden gedecontamineerd.
- Analyse en behandeling van inwendige besmetting.
 - o Bepaling via 'neuswat' (afnemen van een slijmvliesmonster aan de binnenkant van de neus met een wattenstaafje), urine/feces analyse, totale lichaamstelling (TLT).
 - o Kennis is aanwezig op een afdeling nucleaire geneeskunde. Opname op een therapiekamer zal alleen nodig zijn bij een hoge inwendige blootstelling (optreden hiervan is onwaarschijnlijk).
 - o Voor advies over behandeling zoals het toepassen van eliminatieversnellende therapie (de 'antidota' DTPA en Pruisisch Blauw) kan contact worden opgenomen met het NVIC.

Een stralingsbeschermingsdienst of afdeling nucleaire geneeskunde kan worden ingezet voor:

- Uitvoeren van besmettingscontrole voor en na decontaminatie (of hierover instructie geven).
- Verzorgen van persoonlijke dosimeters voor ziekenhuispersoneel.
- Advies over persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM). Let op: standaard PBM, waaronder handschoenen, schort, mondneusmasker (voorkeur FFP2), oogbescherming, zijn voldoende.
- Uitleg geven aan medisch personeel over het beperkte risico van secundaire blootstelling.

Zie voor meer informatie over uitwendige decontaminatie, risico van secundaire blootstelling, benodigde PBM en voorbereiding van ziekenhuizen het document 'Eigen veiligheid in perspectief'.^[eig]

4. Verborgen bron

Bij een incident met een verborgen (intacte) bron wordt het radioactief materiaal in essentie niet verspreid. Het betreft in zo'n geval vermoedelijk een sterke radioactieve bron die op een publieke plaats is verstopt en daar personen in de omgeving gedurende langere tijd bestraalt. Naast een drukbezochte publieke locatie kan een radioactieve bron bijvoorbeeld ook onder een stoel in een trein of bus worden verstopt.

4.1. Slachtoffers verborgen bron

Bij gebruik van een verborgen radioactieve bron zijn de volgende blootstellingen te verwachten:

- Uitwendige bestraling, waardoor mogelijk (zie [bijlage 2](#) voor meer informatie):
 - Acute stralingsziekte.
 - Lokale stralingsschade (huidsyndroom).

Bij een intacte radioactieve bron zal verspreiding van radioactief materiaal en uitwendige besmetting geen rol spelen. In dit scenario gaat het voornamelijk om uitwendige bestraling vanwege de ioniserende straling die wordt uitgezonden door een radioactieve stof. Afhankelijk van de tijdsduur van blootstelling (en het soort ioniserende straling, grootte van de bron en dergelijke) kan acute stralingsziekte optreden en zijn tekenen van lokale stralingsschade mogelijk.

Het aantal slachtoffers hangt af van het aantal personen dat zich in de buurt van de radioactieve bron heeft bevonden gedurende een periode waarin een relevante stralingsdosis kan zijn ontvangen. Als de plek van de bron druk is bezocht en de bron voor langere tijd aanwezig is geweest, zal het aantal blootgestelde personen groter zijn.

De hoogte van de door hen opgelopen stralingsdosis is afhankelijk van:

- Soort bron (nuclide, activiteit/hoeveelheid materiaal).
- Afstand van de bron tot de blootgestelde personen.
- Verblijfsduur van de personen in de buurt van de bron.
- Bestralingsoppervlakte (uitwendige bestraling van het gehele lichaam of een deel hiervan).
- Mate van afscherming van de bron.

4.2. Triage en opvang slachtoffers verborgen bron

Als een verborgen radioactieve bron voor langere tijd op een drukbezochte openbare plek aanwezig is geweest voordat deze wordt ontdekt, kan een zeer grote groep personen zijn blootgesteld aan ioniserende straling. Deze personen kunnen zich ondertussen alweer verspreid hebben over een groot deel van Nederland. Wanneer wordt uitgegaan van een intacte bron zijn de personen NIET besmet geraakt met radioactief materiaal, maar hebben ze mogelijk WEL een hoge stralingsdosis opgelopen door de uitwendige bestraling.

Vanwege de vele mogelijkheden bij het verstopten van een sterk radioactieve bron worden hieronder eerst algemene belangrijke stappen besproken. Daarna volgt een specifiek voorbeeld van een verborgen bron op een treinstation en hoe het beslisschema er uit zou kunnen zien (figuur 3).

De volgende algemene stappen zijn noodzakelijk om het aantal slachtoffers en de ernst van blootstelling bij een incident met een verborgen radioactieve bron in kaart te brengen:

Opsporen mogelijk blootgestelde personen

- Na de ontdekking van een verborgen radioactieve bron zullen alle personen moeten worden opgespoord die zich gedurende enige tijd in de buurt van de bron hebben bevonden.
 - o Via de media kan een oproep worden gedaan om contact op te nemen als personen binnen een bepaalde periode op de betreffende plek aanwezig zijn geweest.

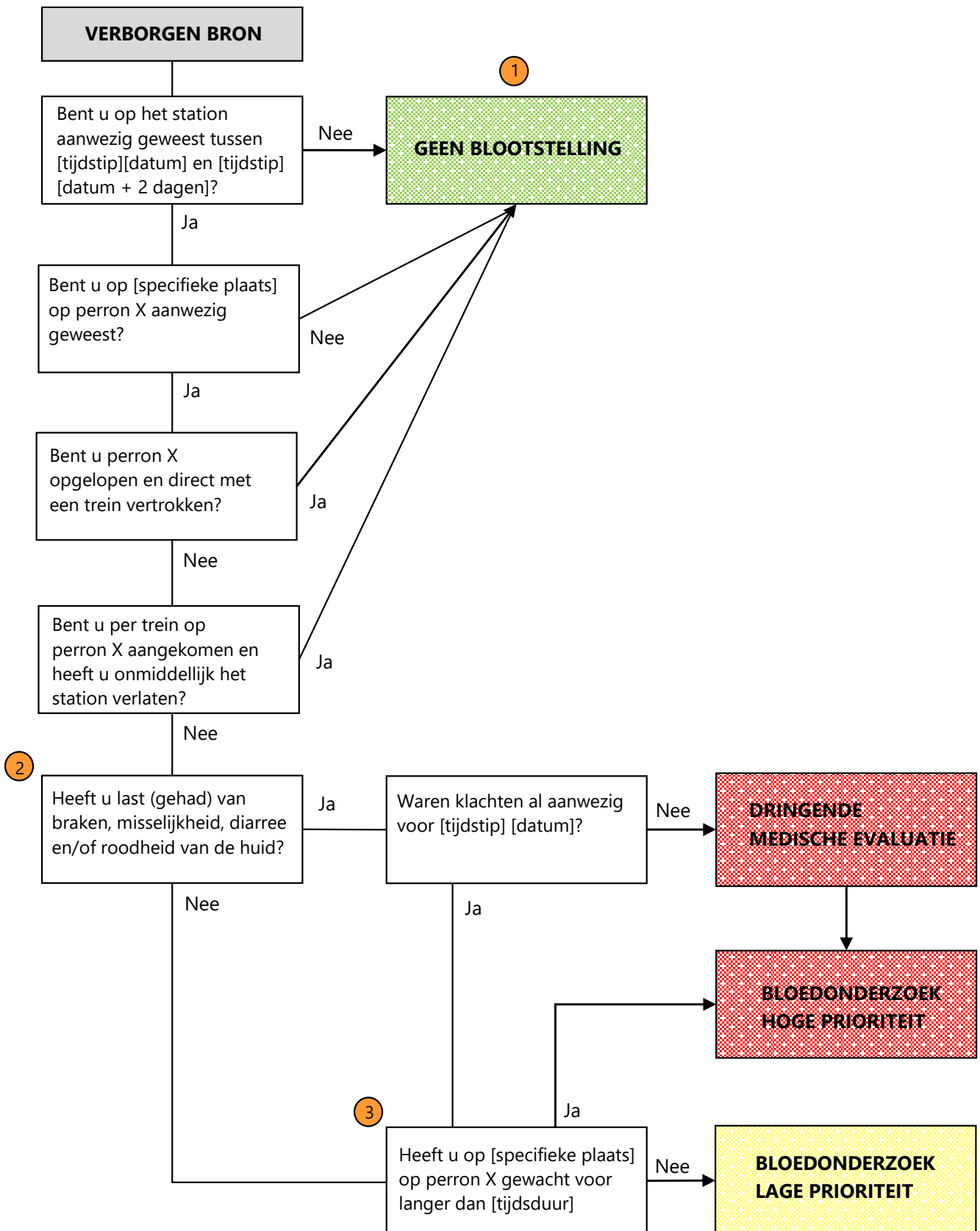
Bepalen van blootstelling op basis van verblijftijd en symptomen

- Vervolgens moet worden bepaald welke personen mogelijk een significante blootstelling aan ioniserende straling hebben opgelopen, waarvoor nader onderzoek gewenst is.
 - o Dit zijn in elk geval de personen met tekenen van stralingsziekte en/of lokale stralingsschade (zie [bijlage 2](#) voor een uitgebreide beschrijving).
Na blootstelling aan een hoge stralingsdosis zijn het optreden van misselijkheid, braken en diarree de eerste tekenen van stralingsziekte. De ernst en het moment van optreden van de symptomen (binnen enkele minuten tot twee dagen na blootstelling) zijn dosisafhankelijk. De tijd tussen de blootstelling en het optreden van deze symptomen geeft een indicatie van de hoogte van de dosis straling.
Tekenen van lokale stralingsschade (huidsyndroom) die binnen enkele uren na blootstelling op kunnen treden zijn een voorbijgaande roodheid (belangrijkste symptoom) en/of oedeem, warmtegevoel en jeuk.
Let op: het is belangrijk om te vragen wanneer de klachten voor het eerst optraden en wanneer de persoon mogelijk in de buurt van de bron is geweest.
 - o Nader onderzoek is eveneens gewenst voor personen zonder symptomen die zich gedurende langere tijd in de buurt van de bron hebben bevonden.
Let op: er zal vanuit moeten worden gegaan dat de personen zich in veel gevallen niet meer precies kunnen herinneren hoelang ze op een bepaalde plek aanwezig zijn geweest.
- Alle personen die gedurende een dermate korte periode in de buurt van de bron aanwezig zijn geweest dat een significante blootstelling niet mogelijk is, kunnen worden gerustgesteld. Het hangt van de aard van het incident af (plek van de verborgen radioactieve bron, type bron en dergelijke) of dit voor een bepaalde groep personen met grote zekerheid kan worden bepaald. Ook hangt het van het aantal betrokken personen af hoe belangrijk het is om een duidelijke keuze te maken tussen het wel of niet uitvoeren van nader onderzoek.

Bepalen prioriteit nader onderzoek

- Als het aantal te onderzoeken personen de capaciteit overstijgt moet worden bepaald voor wie dringende medische evaluatie en bloedonderzoek nodig is en voor wie dit onderzoek met een lagere prioriteit kan plaatsvinden. Vanaf een blootstelling van ongeveer 100 mSv is de stralingsdosis te schatten door middel van bloedonderzoek. De eerste tekenen van stralingsziekte zullen pas optreden vanaf 500-1000 mSv. Zie [bijlage 2](#) voor uitleg over stralingsdosis.
 - o De verdeling tussen lage en hoge prioriteit voor nader onderzoek is gebaseerd op het wel of niet optreden van tekenen van stralingsziekte en/of de tijd die iemand mogelijk in de nabijheid van de bron heeft verbleven.

Het [Calamiteitenhospitaal](#) in het Universitair Medisch Centrum Utrecht (UMCU) kan worden ingezet als het incident de lokale capaciteit overstijgt. De combinatie van een groot academisch ziekenhuis, een militair ziekenhuis, een traumacentrum en het NVIC biedt ook in dit scenario niet alleen de infrastructuur, maar ook de benodigde expertise.



Figuur 3 Verborgen radioactieve bron op een perron van een treinstation.

Verborgen bron op een treinstation

Het stroomschema zoals weergegeven in figuur 3 kan worden gebruikt in geval van een verborgen radioactieve bron op een perron van een treinstation. Bij dit scenario is er van uitgegaan dat de bron twee dagen na het plaatsen wordt ontdekt en dat de bron gedurende die tijd niet is verplaatst (in de praktijk zal moeilijk te achterhalen zijn hoe lang een bron aanwezig is geweest). Het illustreert hoe de triage op basis van aanwezigheid, tijdsduur en symptomen zou kunnen plaatsvinden.

De onderstaande nummering is terug te vinden in figuur 3.

- 1 – Er wordt van uitgegaan dat alle personen die in de betreffende periode het station hebben bezocht, maar niet in de directe omgeving van de verborgen bron op het perron aanwezig zijn geweest, en eveneens alle personen die hier alleen maar langs zijn gelopen, geen significante stralingsdosis hebben ontvangen.
- 2 – In het tweede deel van het schema worden voor de personen die mogelijk gedurende een langere periode in de buurt van de bron aanwezig zijn geweest de prioriteit van bloedonderzoek en de noodzaak van dringende medische evaluatie bepaald. Door de onzekerheid van de verblijfsduur wordt in het schema eerst gevraagd naar de tekenen van stralingsziekte en lokale stralingsschade en wanneer de symptomen optraden (voor of na blootstelling).
- 3 – Er zal bij de inschatting van de verblijfsduur in de buurt van de bron alleen onderscheid worden gemaakt tussen waarschijnlijk heel kort en een langere periode. Voor het optreden van stralingsziekte zal in de meeste gevallen een relatief lange verblijftijd nodig zijn.

De afstand tot en de verblijfsduur in de buurt van de radioactieve bron waardoor een significante stralingsdosis kan worden ontvangen is afhankelijk van de soort bron (nuclide, activiteit, hoeveelheid materiaal) en de mate van afscherming. Na ontdekking van de bron kan hier door meting een inschatting van worden gemaakt, zodat dit in een stroomschema kan worden gebruikt.

Het gepresenteerde stroomschema is gebaseerd op schema F.38a uit het TMT Handbook.^[tmt]

4.3. Verborgen bron: benodigde expertise in het ziekenhuis

Na een incident met een verborgen bron hebben mogelijk een groot aantal personen een hoge stralingsdosis opgelopen. Decontaminatie is na blootstelling aan een intacte radioactieve bron niet nodig, aangezien in dit geval geen uitwendige besmetting optreedt. Deze patiënten zenden ook geen straling uit en zijn geen gevaar voor hulpverleners (zie bijlage 1).

Slachtoffers die een hoge stralingsdosis hebben opgelopen moeten worden gepresenteerd bij een ziekenhuis met de mogelijkheid tot:

- Behandeling van stralingsziekte en lokale stralingsschade.
 - Behandeling van het beenmergsyndroom (zie [bijlage 2](#) voor uitleg) kan plaatsvinden op een afdeling hematologie.
 - Bij een afdeling radiotherapie is kennis aanwezig over lokale stralingsschade.
 - Voor advies over behandeling kan contact worden opgenomen met het NVIC.

Het is de verwachting dat spreiding van slachtoffers over ziekenhuizen goed gecoördineerd wordt, omdat er tijd is voor de voorbereiding in de periode dat personen nog moeten worden opgespoord.

5. Transportongeval medische radionucliden

Om medische radionucliden in ziekenhuizen te kunnen gebruiken rijden er dagelijks voertuigen met deze radionucliden over de Nederlandse wegen. Bij een ernstig ongeval tijdens transport zal met behulp van metingen moeten worden vastgesteld of de stralingsniveaus in de buurt van het voertuig zijn verhoogd en of er radioactieve stoffen zijn vrijgekomen. Om in afwachting van metingen toch snel een adequate risicoschatting te kunnen maken is het van belang om inzicht te hebben in de radiologische gevolgen van een dergelijk ongeval voor bevolking en hulpverleners.

Daarom heeft het NVIC in samenwerking met twee producenten van medische radionucliden en drie radiofarmaca-apotheken in kaart gebracht wat de mogelijk te vervoeren combinatie van medische radionucliden en totale hoeveelheid radioactiviteit in de praktijk kan zijn. Vervolgens heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) op basis van een scenario met onbeheersbare brand, verspreidings- en stralingsdosisberekeningen uitgevoerd.^[ver] De uitkomsten worden in paragraaf 5.2 besproken.

5.1. Slachtoffers transportongeval

Als na een transportongeval brand uitbreekt kan de afscherming van (een deel van) de verpakkingen gedeeltelijk of geheel smelten en kan door de verminderde afscherming het stralingsniveau rond het voertuig toenemen. Daarnaast kan een deel van de radioactieve stoffen vrijkomen en zich via de opstijgende rook in de omgeving verspreiden.

Hulpverleners en omstanders kunnen bij een dergelijk ongeval als volgt worden blootgesteld:

- Uitwendige bestraling vanuit de bronnen in het voertuig waarvan de afscherming na brand gedeeltelijk of geheel kan zijn gesmolten.
- Door verspreiding van radioactieve stoffen in de omgeving met hierdoor:
 - Uitwendige bestraling vanaf de grond bij verblijf in het besmette gebied.
 - Uitwendige bestraling vanuit de overtrekkende (rook)wolk.
 - Uitwendige besmetting van de huid en kleding door depositie.
 - Inwendige besmetting door inhalatie van radioactieve deeltjes vanuit de (rook)wolk.

Het aantal slachtoffers zal beperkt zijn. Mogelijk raken de chauffeur van het voertuig en eventueel andere betrokken automobilisten door het ongeval gewond.

Het zal enige tijd duren voordat een voertuig volledig is uitgebrand en de verpakkingen mogelijk zodanig beschadigd zijn dat hierdoor de stralingsniveaus rond het voertuig stijgen en voordat de radionucliden zich mogelijk kunnen verspreiden. Het is niet de verwachting dat er op dat moment nog leden van de bevolking dicht in de buurt van het voertuig aanwezig zijn. Bij een brand in het voertuig zal het gebied namelijk worden afgezet tot een afstand van 100 meter ('werkgebied').

Hulpverleners in het incidentgebied kunnen wel worden blootgesteld aan verhoogde stralingsniveaus rond het voertuig en mogelijk besmet raken met de vrijgekomen radioactieve stoffen.

Het optreden van stralingsziekte is *niet* waarschijnlijk, omdat de stralingsdosis door blootstelling (uitwendige bestraling en inwendige/uitwendige besmetting) beperkt zal zijn (zie figuur 4).

In een mogelijk groter gebied kan bij het vrijkomen van radioactieve stoffen ongerustheid ontstaan en zal gecommuniceerd moeten worden over het beperkte risico.

5.2. Triage en opvang slachtoffers transportongeval

In figuur 4 is een transportongeval met medische radionucliden uitgewerkt waarbij een onbeheersbare brand optreedt. Er is uitgegaan van een worst case scenario waarbij een voertuig vanuit een locatie de maximale hoeveelheden van de verschillende radionucliden vervoert. Conform het document 'Maatgevende scenario's voor ongevallen met categorie B-objecten' uit 2004^[hie] is aangenomen dat:

- tweederde deel van de verpakkingen verbrandt,
- 1% van de radioactieve stoffen gedurende een 30 minuten durende brand vrijkomt en
- de resterende hoeveelheid niet-afgeschermd achterblijft in het voertuig.

Aanvullend op het eerder gepubliceerde scenario (transport van molybdeen/technetium)^[hie] wordt hier onderscheid gemaakt tussen vervoer vanaf een productiefaciliteit en vanaf een radiofarmaca-apotheek. Daarnaast worden hier de bijdragen van andere mogelijk te vervoeren radionucliden meegenomen, waarvan vooral fluor-18 een belangrijke bijdrage aan de dosis levert.

De onderstaande nummering is terug te vinden in figuur 4.

- 1** Geen brand (of beperkte brand)
 - In de praktijk zal bij het merendeel van de ongevallen op de weg slechts sprake zijn van blikshade. Verpakkingen zullen, als er geen brand ontstaat, waarschijnlijk intact blijven waardoor de stralingsniveaus niet verhoogd zijn boven de wettelijk maximaal toegestane stralingsniveaus. Daarnaast zullen er geen radioactieve stoffen vrijkomen.
 - Een ongeval tijdens vervoer van medische radionucliden kan desondanks toch voor onrust zorgen. Er kunnen stralingsdoses rond verpakkingen en het voertuig worden gemeten die wettelijk zijn toegestaan. Een aanduiding van de hoogte wordt gegeven door de vervoersetiketten. Als voorbeeld de twee hoogste categorieën:^[wol]
 - o Etiket 7C (klasse III) voor verpakking en voertuig: 0,5-2 mSv/uur aan oppervlak en maximaal 0,1 mSv/uur op 1 meter afstand.
 - o Etiket 7D alleen voor voertuig: maximaal 0,1 mSv/uur op 2 meter afstand.Stralingsniveaus kunnen dus boven het dosistempo van 25 microSv/uur (0,025 mSv/uur) uitkomen dat de brandweer hanteert als alarmwaarde. De dosis is echter zeer laag.
- 2** Onbeheersbare brand
 - Bij een onbeheersbare brand van het voertuig kunnen de verpakkingen beschadigd raken. Door een verminderde of afwezige afscherming kunnen de stralingsniveaus in de buurt van het voertuig verhoogd zijn en is er een kans dat radionucliden zich in de omgeving verspreiden. Dit zal met behulp van metingen moeten worden vastgesteld. Tot die tijd kan worden uitgegaan van de hier beschreven worst case situatie.
- 3** Vertreklocatie en inventaris
 - De vertreklocatie en inventaris van het voertuig zijn een aanwijzing voor de radiologische worst case situatie. Informatie is te verkrijgen bij de chauffeur en uit de vervoersdocumenten.
 - o Vanaf een productiefaciliteit wordt een grotere hoeveelheid radioactiviteit vervoerd.
 - o Enkele radionucliden bepalen in grote mate de stralingsniveaus (zie onder bij punt 4). Is informatie niet voorhanden: uitgaan van 'productiefaciliteit, alle radionucliden'.

Als na een transportongeval met brand de verpakkingen beschadigd raken kunnen de chauffeur, andere weggebruikers, hulpverleners en omstanders worden blootgesteld aan verhoogde niveaus van ioniserende straling. Het is hierbij belangrijk om onderscheid te maken tussen:

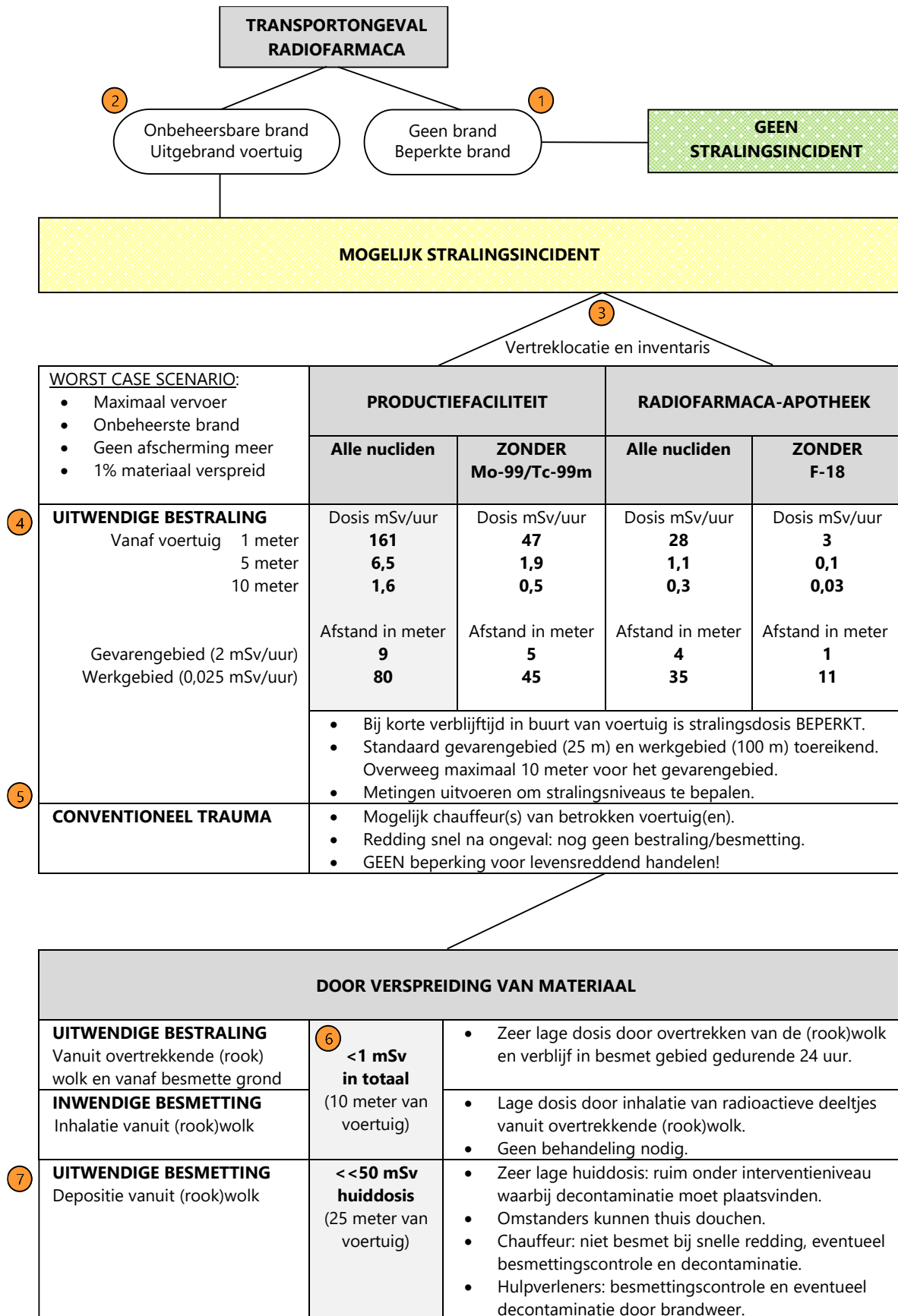
- uitwendige bestraling vanuit de bronnen die in het voertuig aanwezig zijn en
- blootstelling aan de vrijgekomen radioactieve stoffen (en bestraling hierdoor).

- 4 Uitwendige bestraling (vanaf voertuig)
- Het dosistempo dichtbij het voertuig kan hoog oplopen (worst case: 161 mSv/uur). Hierbij zijn enkele radionucliden zeer bepalend voor de stralingsniveaus:
 - Molybdeen/technetium (Mo-99/Tc-99m) vanaf een productiefaciliteit: 70% bijdrage.
 - Fluor (F-18) vanaf een radiofarmaca-apotheek: 90% bijdrage.
 - Aanwezigheid vlak naast het voertuig bij een hevige brand (voorwaarde voor smelten van verpakkingen) is echter niet realistisch (tenzij voertuig al is uitgebrand). Op een afstand van 5-10 meter zijn de stralingsniveaus al een heel stuk lager. Ook bij langere aanwezigheid door bluswerkzaamheden wordt geen gevaarlijke stralingsdosis opgelopen door de brandweer.
 - De standaard afstanden voor het gevarengedebied en werkgebied zijn toereikend. De gebieden zouden respectievelijk maximaal 10 en 80 meter kunnen zijn of (naar beneden) kunnen worden bijgesteld op basis van metingen of bij bekende inventaris/vertreklocatie.
 - In het gevarengedebied bevindt zich de bron en vindt bronbestrijding plaats. Dit is standaard een gebied met een straal van 25 meter en kan uitgebreid worden tot een gebied waar een dosistempo boven 2 mSv/uur wordt gemeten. Het werkgebied is standaard een gebied met een straal van 100 meter en kan worden uitgebreid tot een gebied waar een dosistempo boven 0,025 mSv/uur wordt gemeten (alarmwaarde brandweer). Inzet in dit gebied mag alleen onder toezicht van een Adviseur Gevaarlijke Stoffen (AGS) van de brandweer plaatsvinden.
 - Metingen zijn ook belangrijk om de stralingsdosis van hulpverleners te bepalen. Het dosistempo in combinatie met afstand en verblijfsduur geven een schatting hiervan.

- 5 Conventioneel trauma
- De chauffeur van het voertuig en andere betrokken automobilisten kunnen bij het ongeval mogelijk gewond zijn geraakt.
 - Er is GEEN beperking om direct noodzakelijke levensreddende handelingen te verrichten.
 - Relatief kort na het incident (wanneer bij brand de redding zal moeten plaatsvinden) zal er nog geen (grote) schade aan de verpakkingen zijn ontstaan.
 - In een radiologische noodsituatie waarin niet aan de dosislimieten kan worden voldaan, wordt een referentieniveau van 100 mSv gehanteerd voor hulpverleners. In uitzonderlijke situaties mag hiervan worden afgeweken: voor levensreddend werk en het voorkomen van ernstige gezondheidseffecten door straling geldt een referentieniveau van 500 mSv. Het is niet te verwachten dat een dergelijke hoge dosis zal worden opgelopen bij een kortdurende redding (chauffeur uit auto halen).

- 6 Dosis door verspreiding van radioactief materiaal
- De berekende maximale dosis door verblijf in het besmette gebied (24 uur op 10 meter), bestraling vanuit de overtrekkende (rook)wolk en door inhalatie van radioactieve deeltjes uit de (rook)wolk, is in totaal maximaal 0,5 mSv (productiefaciliteit, alle radionucliden). Dit is een zeer lage dosis die onder de dosislimiet van 1 mSv/jaar voor een lid van de bevolking blijft.

- 7 Uitwendige besmetting
- Door depositie van radioactiviteit blijft de huiddosis in dit scenario ruim onder het interventieniveau (50 mSv/24 uur huiddosis) waarboven decontaminatie moet plaatsvinden. Het is het meest praktisch om bij grote aantallen omstanders (ongeval in druk gebied) de blootgestelde personen thuis te laten douchen en kleding te laten wassen.
 - Het is aan te raden voor hulpverleners besmettingscontrole uit te voeren en zonodig decontaminatie door de brandweer. Dit geeft ook een goed beeld of een alternatieve strategie nodig is voor omstanders (zie boven).
 - De chauffeur zal bij een snelle redding (nodig bij brand) waarschijnlijk nog niet uitwendig besmet zijn. Voer bij twijfel besmettingscontrole uit en zonodig decontaminatie (in het veld of in het ziekenhuis afhankelijk van mogelijkheden en noodzaak van spoedeisende zorg).



Figuur 4 Transportongeval met medische radionucliden.

5.3. *Transportongeval: benodigde expertise in het ziekenhuis*

Na een ongeval met transport van medische radionucliden kunnen hulpverleners en omstanders zijn blootgesteld aan ioniserende straling vanuit de vervoerde bronnen (als de afscherming door brand is verminderd). Dit zal echter een relatief lage stralingsdosis zijn bij beperkte blootstellingsduur en op enige afstand van het voertuig. Het optreden van stralingsziekte is in dit scenario derhalve onwaarschijnlijk.

Als radioactief materiaal na de brand in de omgeving is verspreid kunnen personen uitwendig en inwendig zijn besmet. De inwendige besmetting is naar verwachting zeer laag en hiervoor zal geen medische behandeling nodig zijn. Ook de uitwendige besmetting zal zeer beperkt zijn waardoor de meest praktische oplossing is om de omstanders thuis te laten douchen en kleding te laten wassen. Hulpverleners kunnen zo nodig in het incidentgebied worden gecontroleerd en gedecontamineerd.

Een ziekenhuis speelt bij een transportincident waarschijnlijk geen grote rol. Als personen zich vanwege onrust over mogelijke blootstelling en besmetting bij het ziekenhuis presenteren moeten deze goed worden geïnformeerd. Stem af met de Gezondheidskundig Adviseur Gevaarlijke Stoffen (GAGS) van de GGD over de ingezette strategie: naar huis of naar opvanglocatie.

De chauffeur van het voertuig en eventueel andere automobilisten, kunnen bij het ongeluk betrokken waren, bij het ziekenhuis worden gepresenteerd met conventioneel trauma.

Een uitwendige besmetting met radioactief materiaal is onwaarschijnlijk, omdat dit pas in een late fase van de brand zal plaatsvinden (de afscherming moet eerst smelten). Vanuit het incidentgebied moet worden aangegeven of er al dan niet sprake kan zijn van een uitwendige besmetting. Zo nodig moet decontaminatie bij het ziekenhuis plaatsvinden (zie voor meer informatie [paragraaf 3.3](#)).

Overzicht verschillende scenario's

	Vuile bom Afhankelijk van hoeveelheid radioactief materiaal, type straling, grootte explosief.	Verborgen bron Afhankelijk van sterkte van de bron, tijdsduur, afstand, afscherming.	Transportongeval medische radionucliden Worst case (brand): verpakkingen beschadigd, geen afscherming, beperkte verspreiding.
Conventioneel trauma	<ul style="list-style-type: none"> – Enkele tot maximaal tientallen gewonden door de explosie. – Scherven in de huid. 	<ul style="list-style-type: none"> – GEEN conventioneel trauma. 	<ul style="list-style-type: none"> – Mogelijk één tot enkele gewonden: chauffeur voertuig en eventueel andere betrokken automobilisten.
Uitwendige bestraling Metingen om stralingsniveau te bepalen.	<ul style="list-style-type: none"> – Stralingsziekte NIET waarschijnlijk. – Na verblijf in besmet gebied beperkte uitwendige bestraling. – 'Hotspots' door radioactieve scherven. 	<ul style="list-style-type: none"> – Mogelijk zeer hoge stralingsdosis: <ul style="list-style-type: none"> – Stralingsziekte. – Lokale stralings schade. – Aanwijzingen in triage: <ul style="list-style-type: none"> – Prodromale symptomen: braken, misselijkheid, diarree, rode huid. – Lange tijd dichtbij bron. – Mogelijk grote groep slachtoffers. 	<ul style="list-style-type: none"> – Stralingsziekte NIET waarschijnlijk. – Als afscherming door brand is verminderd: <ul style="list-style-type: none"> – Hoog stralingsniveau naast voertuig (1 meter). – Snel lager met afstand (5-10 meter). – Redding gewonde chauffeur prioriteit. <ul style="list-style-type: none"> – Kortdurend dichtbij: beperkte dosis. – Vlak na ongeval stralingsniveau laag. – Door verblijf in besmet gebied zeer beperkte uitwendige bestraling.
Inwendige besmetting	<ul style="list-style-type: none"> – Inhalatie vanuit wolk / besmette wonden. – Aanwijzingen in triage: <ul style="list-style-type: none"> – Besmette wonden. – Besmetting bovenlichaam. – Gemeten restbesmetting. – Bepaling: urine, feces, 'neuswat', TLT. 	<ul style="list-style-type: none"> – GEEN inwendige besmetting. Geen verspreiding materiaal. 	<ul style="list-style-type: none"> – Beperkte inwendige besmetting door inhalatie vanuit overtrekkende (rook)wolk. – Medische behandeling niet nodig.
Uitwendige besmetting	<ul style="list-style-type: none"> – Mogelijk grote groep slachtoffers. – Besmettingscontrole en decontaminatie. – Aandacht voor scherven in de huid en besmette wonden. 	<ul style="list-style-type: none"> – GEEN uitwendige besmetting. Geen verspreiding materiaal. 	<ul style="list-style-type: none"> – Zeer beperkte uitwendige besmetting. – Praktisch: omstanders thuis douchen / kleren wassen. – Hulpverleners: besmettingscontrole en decontaminatie bij incidentgebied.
Ziekenhuis Benodigde expertise.	<ul style="list-style-type: none"> – Traumazorg (SEH): stabilisatie prioriteit. – Besmettingscontrole en decontaminatie. – Inwendige besmetting: kennis bij nucleaire geneeskunde. 	<ul style="list-style-type: none"> – Stralingsziekte afdeling hematologie. – Lokale stralings schade: kennis bij radiotherapie. 	<ul style="list-style-type: none"> – Traumazorg (SEH): stabilisatie prioriteit. – Besmettingscontrole en decontaminatie bij aanwijzing vanuit incidentgebied. – Zelfverwijzers: naar huis of naar opvanglocatie.

Tabel 1 Blootstelling bij verschillende scenario's en benodigde expertise in ziekenhuis. **Rood**: belangrijkste blootstelling. **Oranje**: relevante blootstelling.

Literatuur

- [boe] Leidraad CBRN. Academisch Medisch Centrum Amsterdam, Erasmus MC, Sint Elisabeth Ziekenhuis. 2009
- [bos] Inleiding tot de stralingshygiëne. A.J.J Bos, F.S. Draaisma, W.J.C. Okx. Elsevier Gezondheidszorg. 2007
- [bro] Praktische stralingshygiëne. G. Brouwer, J. van den Eijnde. Bohn Stafleu Van Loghum. 2000
- [eig] NVIC document 'Eigen veiligheid in perspectief'.
URL: <https://nvic.umcutrecht.nl/nl/downloads>
- [hie] Maatgevende scenario's voor ongevallen met categorie B-objecten. Verhoef NB, Hienen van JFA. NRG Petten, 11-03-2004
- [iae] The Radiological Accident in Goiânia. International Atomic Energy Agency (IAEA). 1988
URL: <https://www.iaea.org/publications/3684/the-radiological-accident-in-goiania>
- [iae2] The Radiological Accident in Yanango. International Atomic Energy Agency (IAEA). 2000
URL: <https://www.iaea.org/publications/6090/the-radiological-accident-in-yanango>
- [iae3] The Radiological Accident in Istanbul. International Atomic Energy Agency (IAEA). 2000
URL: <https://www.iaea.org/publications/6071/the-radiological-accident-in-istanbul>
- [iae4] Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency. International Atomic Energy Agency (IAEA). 2005
URL: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/EPR-MEDICAL-2005_web.pdf
- [lan] Landelijk Crisisplan Straling. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, april 2021.
- [rem] Radiation Emergency Medical Management (REMM) website. Guidance on Diagnosis & Treatment for Health Care Providers. U.S. Department of Health & Human Services
URL: <http://www.remm.nlm.gov>
- [tmt] TMT Handbook - Triage, Monitoring and Treatment of people exposed to ionising radiation following a malevolent act. Carlos Rojas-Palma et al. SCK CEN, Norwegian Radiation Protection Authority, Health Protection Agency (HPA), Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), World Health Organization (WHO), Enviros Consulting Ltd (Enviros), Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR). 2009
URL: <https://www.sckcen.be/en/tmthandbook>
- [ver] NVIC Rapport 11/2022 'Radiologische gevolgen van een transportongeval met medische radionucliden'. R.B.T. Verkooijen, R. de Groot, M.E.C. Leenders, G.A. van Zoelen, A.J.H.P. van Riel, D.W. de Lange.
- [wol] Wolbers et al. Stralingsincidenten veiligheidsregio's. Basisinformatie voor operationeel leidinggevenden. 2021

Bijlage 1 Soorten blootstelling na stralingsincidenten

In onderstaand overzicht wordt uitleg gegeven over de volgende blootstellingen:

- Levensbedreigend trauma.
- Brandwonden.
- Uitwendige besmetting.
- Inwendige besmetting.
- Uitwendige bestraling.

Zie [bijlage 2](#) voor uitgebreide informatie over stralingsziekte.

Tenslotte is informatie opgenomen over in Nederland aanwezige antidota om na inwendige besmetting de eliminatie van specifieke stoffen uit het lichaam te versnellen.

Levensbedreigend trauma

In geval van een incident met een vuile bom kunnen er slachtoffers zijn met een levensbedreigend trauma ten gevolge van de ontploffing zelf. Daarnaast zullen deze slachtoffers uitwendig zijn besmet met radioactief materiaal (zie onder).

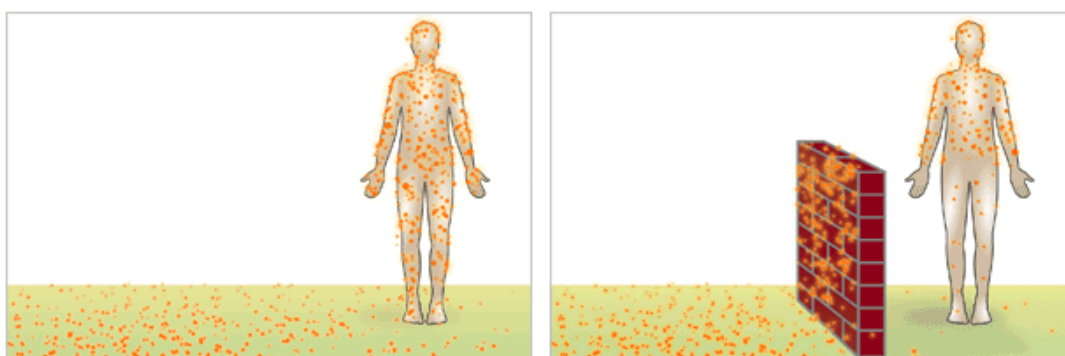
Brandwonden

Brandwonden kunnen in geval van een vuile bom zijn veroorzaakt door de explosie. Daarnaast kunnen na blootstelling aan ioniserende straling huidafwijkingen optreden die lijken op brandwonden, waarvan de genezing zeer langzaam verloopt. Deze huidafwijkingen kunnen in de uren tot dagen na blootstelling ontstaan (en zijn dus niet direct zichtbaar), bijvoorbeeld na uitwendige besmetting met een bètastraling uitzendend radioactief materiaal. Het optreden hiervan is niet waarschijnlijk wanneer decontaminatie heeft plaatsgevonden. Zo nodig kan contact worden gezocht met een brandwondencentrum voor overplaatsing van patiënten voor specifieke behandeling. Zie [bijlage 2](#) voor meer informatie over lokale stralingsschade (huidsyndroom).

Uitwendige besmetting

Uitwendige besmetting vindt plaats wanneer het radioactief materiaal op de huid of in de ogen terecht is gekomen (figuur 5). De blootstelling aan ioniserende straling duurt mogelijk langer omdat de besmetting wordt meegedragen. Decontaminatie van de besmette lichaamsdelen is noodzakelijk, waarbij wondbesmettingen specifieke aandacht vereisen.

Na een uitwendige besmetting met een radioactieve stof is een ernstige blootstelling van het slachtoffer aan ioniserende straling en het optreden van stralingsziekte niet te verwachten, zeker niet als het slachtoffer zich ontdoet van besmette kleding en wordt gedecontamineerd.



Figuur 5 Uitwendige besmetting.

Afbeeldingen afkomstig van de REMM website.^[rem]

Risico voor hulpverleners:

Uitwendig besmette patiënten kunnen mogelijk een bron van uitwendige bestraling zijn voor de hulpverlener. Dit hangt af van het soort straling dat de radioactieve stof uitzendt (zie [bijlage 2](#)). Het doordringend vermogen van bijvoorbeeld alfastraling is zeer klein en deze deeltjes komen niet door de huid heen. Bij uitwendige bestraling is er in dit geval dus geen gevaar voor de hulpverlener.

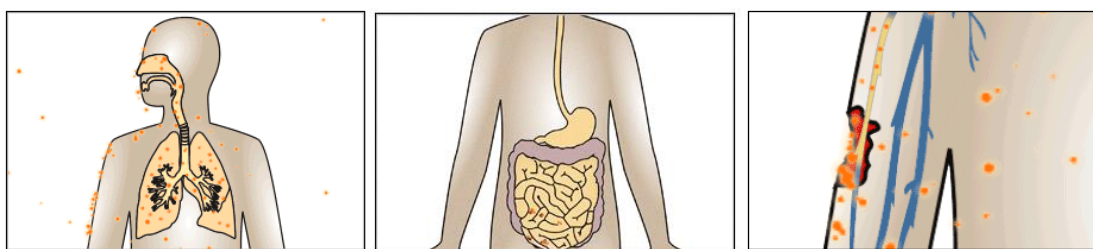
Ook als het slachtoffer is besmet met radioactief materiaal dat doordringende straling uitzendt (sterke bètastraling of gammastraling) is het niet waarschijnlijk dat de mate van besmetting een hoge stralingsdosis voor de hulpverlener veroorzaakt. Het is voor de hulpverlener NIET nodig om afschermende maatregelen te nemen zoals bijvoorbeeld het dragen van een loodschort. Voor personeel dat gedurende langere tijd met een patiënt bezig is (bijvoorbeeld tijdens decontaminatie) is het aan te raden een persoonsdosimeter te dragen om de stralingsdosis in kaart te brengen. Standaard persoonlijke beschermingsmiddelen, waaronder handschoenen, schort, mondneusmasker (bij voorkeur FFP2) en oogbescherming, voorkomen (inwendige) besmetting van de hulpverlener.

Omdat een uitwendige besmetting geen groot gevaar is voor de hulpverlener, moet levensreddend handelen van een instabiele patiënt altijd voorrang krijgen boven decontaminatie!

Inwendige besmetting

Inwendige besmetting kan optreden als het radioactief materiaal door absorptie door de huid, besmetting van een open wond, inhalatie of ingestie (bijvoorbeeld door contact met besmette vingers) wordt opgenomen in het lichaam (figuur 6). Het radionuclide zal zich gedeeltelijk in het lichaam nestelen en na inname wordt het slachtoffer dus gedurende langere tijd intern bestraald. Uitwendige besmetting van het bovenlichaam (vooral schouders, hoofd, haar) duidt op mogelijke inwendige besmetting door inhalatie. Bij uitwendige besmetting van voornamelijk het onderlichaam is de persoon mogelijk alleen door besmet gebied heen gelopen en heeft geen grote hoeveelheid radioactief materiaal geïnhaleerd.

Na inwendige besmetting met radioactieve stoffen ontstaat stralingsziekte alleen in zeer zeldzame gevallen. De vergiftiging van Litvinenko (2006), die een zeer hoge dosis polonium-210 moedwillig kreeg toegediend, is zeer uitzonderlijk. Dit is niet te verwachten bij inhalatieblootstelling na een incident met een vuile bom of na een incident in een radionuclidenlaboratorium.



Figuur 6 Inwendige besmetting.
Afbeeldingen afkomstig van de REMM website.^[rem]

Risico voor hulpverleners:

Inwendig besmette patiënten zijn voor hulpverleners ook vrijwel nooit een gevaar voor besmetting met de radioactieve stof zelf. Het radioactief materiaal kan alleen worden verspreid via lichaamsvloeistoffen (urine, feces). Bij in ziekenhuizen gebruikelijke hygiënische maatregelen zal het stralingsrisico door de behandeling van een dergelijke patiënt voor het personeel verwaarloosbaar zijn. Zelfs in het extreme geval van de polonium-210-vergiftiging van Litvinenko raakten verplegers en familieleden aan zijn ziekbed niet of nauwelijks besmet met radioactief materiaal, ondanks dat gedurende vier weken zelfs niet duidelijk was dat er radioactief materiaal in het spel was.

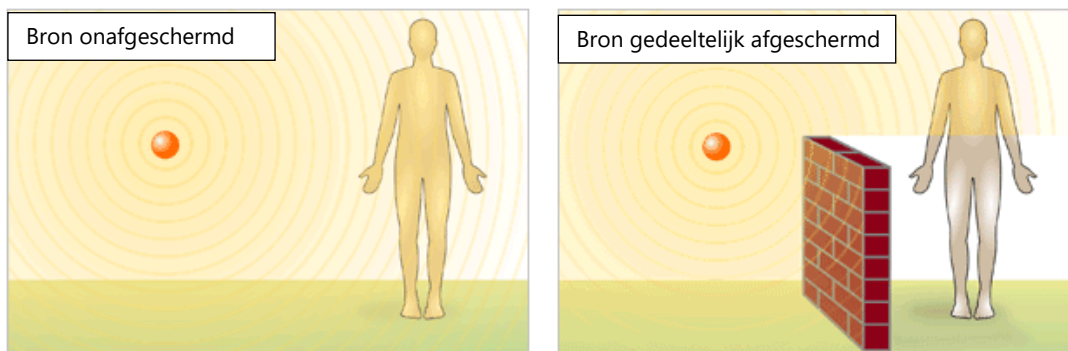
Het hangt van de doordringbaarheid en dus de soort straling af of de inwendige besmetting met radioactief materiaal buiten het lichaam meetbaar is en of het slachtoffer straling uitzendt. Een inwendige besmetting met bijvoorbeeld polonium-210 zal buiten het lichaam niet meetbaar zijn doordat de uitgezonden alfastraling een klein doordringend vermogen heeft.

Ook bij een inwendige besmetting met radioactief materiaal dat doordringende straling uitzendt, (gammastraling) zal het risico voor de hulpverlener laag zijn.

Uitwendige bestraling

Bij uitwendige bestraling komt het radioactief materiaal niet in aanraking met het lichaam (figuur 7). De blootstelling aan ioniserende straling neemt af of stopt zodra de persoon zich voldoende heeft verwijderd van de bron of zodra de bron voldoende wordt afgeschermd. Decontaminatie is niet zinvol aangezien het slachtoffer geen radioactief materiaal met zich meedraagt. Na hoge blootstelling aan een sterke radioactieve bron (radiotherapiebron/industriële bron) kan acute stralingsziekte en/of lokale stralings schade ontstaan (zie [bijlage 2](#)).

Uitwendige bestraling kan ook optreden door aanwezigheid van een persoon in een met radioactief materiaal besmet gebied, bijvoorbeeld na ontploffing van een vuile bom. Fragmenten van de bron kunnen in het gebied verspreid zijn en 'hot spots' vormen van verhoogde activiteit. Er mag vanuit worden gegaan dat het getroffen gebied snel wordt afgezet en de mensen worden geëvacueerd, waardoor langdurige uitwendige bestraling en hierdoor een hoge stralingsdosis wordt voorkomen. Ten slotte kan uitwendige bestraling plaatsvinden vanuit de 'overtrekkende wolk' met radioactief materiaal na incidenten waarbij materiaal wordt verspreid. De opgelopen dosis zal relatief laag zijn.



Figuur 7 Uitwendige bestraling.

Afbeeldingen afkomstig van de REMM website.^[rem]

Risico voor hulpverleners:

Het slachtoffer zendt geen straling uit (is dus geen secundaire bron) en vormt dan ook geen gevaar voor hulpverleners.

Meer informatie:

Zie voor meer informatie over benodigde PBM en het risico van secundaire blootstelling het NVIC document 'Eigen veiligheid in perspectief'.^[eig]

Antidota

Bij stralingsincidenten met een inwendige besmetting met radioactief materiaal kunnen verschillende therapieën worden toegepast om de slachtoffers te behandelen. Er kunnen bijvoorbeeld agentia worden toegediend die de absorptie verminderen, de opname in doelorganen blokkeren, of die een verdunnende of chelerende werking hebben. Hierdoor zal de uitscheiding van het radioactief materiaal uit het lichaam versnellen zodat de inwendige besmetting gedurende een zo kort mogelijke periode een stralingsbelasting veroorzaakt. Om gezondheidsschade door straling te beperken is het belangrijk dat de toediening van het antidotum zo snel mogelijk na de blootstelling begint.

Bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) is een voorraad van de antidota Pruisisch Blauw en DTPA (diethyleentriaminepenta-azijnzuur) beschikbaar. De indicatiestelling voor het toepassen van de antidota wordt verzorgd door het Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (NVIC). De uitgifte van de antidota is door het RIVM 24/7 gegarandeerd.

Pruisisch blauw

Pruisisch Blauw bindt in het maagdarmkanaal aan cesium, thallium en rubidium. Het Pruisisch Blauw-nuclidecomplex wordt niet geabsorbeerd, maar uitgescheiden met de ontlasting. Daarnaast ondergaan de niet gebonden radionucliden een entero-hepatische kringloop zodat de eliminatie van deze radioactieve stoffen ook na absorptie extra wordt versneld door herhaalde toediening van Pruisisch Blauw. De behandeling dient zo spoedig mogelijk na blootstelling te beginnen.

Door toediening van Pruisisch Blauw kan de biologische halfwaardetijd van cesium bij volwassenen worden gereduceerd tot ongeveer één derde van de halfwaardetijd zonder behandeling. Hierdoor wordt een aanzienlijke vermindering in de stralingsdosis bereikt.

DTPA

DTPA is een chelator. Chelatoren vormen relatief stabiele complexen (chelaten) met metaal-ionen. Het DTPA-metaalcomplex wordt snel uitgescheiden door de nieren. Al geruime tijd wordt DTPA in het buitenland gebruikt bij inwendige besmetting met plutonium.

De toediening van DTPA is daarnaast van nut na inwendige besmetting met oplosbare verbindingen van vele andere nucliden, zoals: americium, berkelium, cadmium, californium, cerium, chroom, curium, einsteinium, europium, indium, iridium, kobalt, lanthaan, mangaan, niobium, neptunium, promethium, ruthenium, scandium, thorium, yttrium, zink en zirkoon.

Er zijn twee DTPA-varianten in de RIVM voorraad aanwezig. De natrium-calcium-variant (Ca-DTPA) wordt vanwege de hogere effectiviteit gebruikt voor de vroege behandeling. Wanneer langdurige behandeling nodig blijkt wordt overgestapt op de natrium-zink-variant (Zn-DTPA) aangezien deze vorm minder toxisch is dan het calciumzout. De toxiciteit wordt veroorzaakt door het wegvangen van essentiële metalen zoals zink en mangaan door Ca-DTPA.

DTPA is alleen effectief bij metalen in oplosbare vorm (metaalzouten) en kan dan een aanzienlijke verlaging van de totale lichaamsdosis bewerkstelligen. In geval van blootstelling aan onoplosbare metaalverbindingen is DTPA niet werkzaam.

Meer informatie:

Zie voor meer informatie over behandeling na inwendige besmetting de NVIC-monografie 'Ioniserende straling' en de nuclidespecifieke monografieën op www.vergiftigingen.info (zoek op stofnaam of voor een overzicht op 'radioactief').

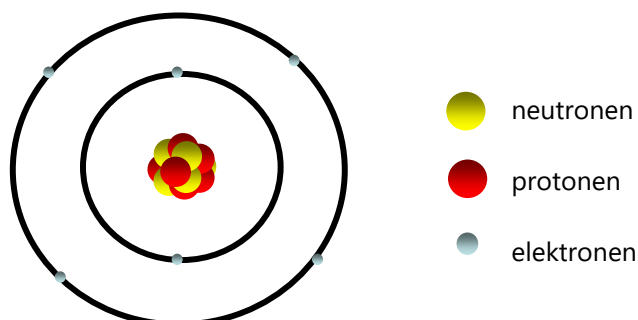
Bijlage 2 Achtergrondinformatie over radioactiviteit en ioniserende straling

Deze bijlage geeft een zeer kort overzicht van de basisprincipes van radioactiviteit en ioniserende straling. Uitleg wordt gegeven over de verschillende soorten straling die kunnen ontstaan bij radioactief verval, de vaststelling van de opgelopen dosis na blootstelling en een indicatie van de effecten van straling op de mens. Het is voornamelijk bedoeld als handvat voor inzicht in de limieten en interventiewaarden en begrip van de stralingsterminologie.

Voor deze uitleg is gebruikgemaakt van de leerboeken 'Praktische stralingshygiëne'^[bos] en 'Inleiding tot de stralingshygiëne'.^[bro] Nuttige achtergrondinformatie kan eveneens worden gevonden op de REMM-website^[rem] en het document 'Stralingsincidenten veiligheidsregio's'.^[wol]

Radionucliden

Een atoom is opgebouwd uit een positief geladen kern met daaromheen een aantal negatief geladen elektronen (zie figuur 8). De kern is opgebouwd uit positief geladen protonen (aangeduid met Z) en vrijwel even zware deeltjes zonder lading, de neutronen (aangeduid met N). De verschillende atoomsoorten, onderscheiden naar samenstelling van de kern, worden nucliden genoemd. Er zijn 267 stabiele nucliden mogelijk. Alle andere combinaties van protonen en neutronen zijn instabiel en vervallen naar een ander nuclide (het zogenaamde 'dochternuclide'), waarbij de atoomkern een andere samenstelling krijgt onder uitzending van straling met een zekere energie. Deze instabiele nucliden worden radionucliden genoemd, of ook wel radioactieve stoffen.



Figuur 8 Opbouw van een atoom.
Afbeelding afkomstig van de REMM website.^[rem]

Radioactief verval

Kernen van instabiele nucliden vervallen spontaan naar een ander nuclide. Als voorbeeld: radioactief jodium-131 (I-131) vervalt onder uitzending van straling naar stabiel xenon (Xe-131). Het is niet voorspelbaar wanneer een kern vervalt, aangezien het een kansproces is. Voor grote aantallen kernen is het proces echter wel goed te beschrijven. De tijd die het kost om het aantal kernen van het betreffende nuclide te halveren is voor een bepaald nuclide constant en wordt de halveringstijd of halfwaardetijd genoemd ($T_{1/2}$). De halfwaardetijd is voor sommige radionucliden fracties van een seconde en voor anderen miljarden jaren. Deze fysieke halfwaardetijd moet worden onderscheiden van de biologische halfwaardetijd, die betrekking heeft op de uitscheiding van het nuclide uit het menselijk lichaam.

Soorten ioniserende straling

Kernen kunnen een overschot aan protonen, neutronen of energie bezitten. Elke toestand op zich leidt tot een bepaalde vorm van verval. Er kunnen deeltjes worden uitgezonden of energierijke elektromagnetische straling (fotonenstraling). In de praktijk worden beide 'straling' genoemd.

Het doordringend vermogen van straling is sterk afhankelijk van de energie en de materie waar de straling doorheen gaat. Zware elementen – zoals bijvoorbeeld lood – zijn zeer effectief in het tegenhouden van elektromagnetische straling. De volgende soorten ioniserende straling worden door radioactieve stoffen uitgezonden:

Deeltjes-straling

β^- -deeltje ('bèta min' deeltje)

- Om een neutronenoverschot te compenseren gaat een neutron over in een proton, hierbij wordt een β^- -deeltje uitgezonden.
- Dit deeltje is fysisch gelijk aan een elektron en wordt β^- -deeltje genoemd wanneer het door de kern wordt uitgezonden.
- Het doordringend vermogen van deze deeltjes is meestal beperkt. Er moet worden gedacht aan enkele centimeters door weefsel.

β^+ -deeltje ('bèta plus' deeltje of positron)

- Om een protonenoverschot te compenseren gaat een proton over in een neutron, hierbij wordt een β^+ -deeltje (positron) uitgezonden.
- Dit deeltje is bijna identiek aan een elektron, alleen de lading is positief.
- Het doordringend vermogen van deze deeltjes is meestal beperkt. Er moet worden gedacht aan enkele centimeters door weefsel.

α -deeltjes (alfadeeltje)

- Zware kernen met een protonenoverschot kunnen een deeltje uitzenden bestaande uit twee protonen en twee neutronen: het α -deeltje. Dit komt overeen met een heliumkern.
- Het doordringend vermogen van α -deeltjes is zeer klein. α -deeltjes worden al tegengehouden door een vel papier en komen ook de huid niet door. Na inwendige blootstelling kunnen α -deeltjes door hun lokale energieafgifte wel problemen veroorzaken.

Neutronen

- In principe kan een kern met een overschot aan neutronen door het uitzenden hiervan in een stabiele toestand komen. Dit gebeurt echter zelden en alleen bij kernen met een zeer groot energieoverschot (dit proces heet spontane splijting).
- Neutronenstraling kan wel worden opgewekt door een geschikt radionuclide te bestralen met α -deeltjes (in een deeltjesversneller) of door bestraling met gammastraling. Ook in kernreactoren ontstaan vrije neutronen.
- Het doordringend vermogen van neutronen kan aanzienlijk zijn en ze zijn erg moeilijk af te schermen.

Elektromagnetische/fotonenstraling

Röntgenstraling

- De door röntgenapparatuur uitgezonden röntgenstraling wordt verkregen door energierijke elektronen te versnellen en vervolgens in materie te laten afremmen. Hierbij ontstaat elektromagnetische straling die wordt aangeduid als röntgenstraling. Röntgenapparatuur zendt alleen straling uit wanneer ingeschakeld. Zonder stroom is er geen straling of stralingsbron in het apparaat aanwezig.
- Het doordringend vermogen van röntgenstraling kan aanzienlijk zijn. Afscherming is mogelijk door lood of een dikke laag beton.

- Er zijn ook radionucliden die ioniserende straling uitzenden die röntgenstraling wordt genoemd. Om een protonenoverschot te compenseren gaat een proton over in een neutron door opname van een elektron uit de elektronenwolk van het atoom. In de binnenste 'elektronenschil' van de wolk ontstaat een gat dat wordt opgevuld door een elektron uit een andere schil. Bij dit proces komt elektromagnetische straling vrij. Deze straling wordt röntgenstraling genoemd (afkomstig van energieverlies van elektronen).

Gammastraling

- De kern van een deeltje is na verval niet altijd stabiel. Het overschot aan energie kan worden uitgezonden als gammastraling (een energiepakketje).
- Het doordringend vermogen van gammastraling kan aanzienlijk zijn. Afscherming is mogelijk door lood of een dikke laag beton.

Let op: zowel gammastraling, röntgenstraling en zichtbaar licht zijn elektromagnetische / fotonenstraling. Ze worden onderscheiden op basis van de herkomst van de straling en de energie. Gammastraling komt uit de kern. Röntgenstraling en licht zijn beide afkomstig van baanveranderingen van elektronen. Er wordt van röntgenstraling gesproken als de straling een hoge energie heeft ten opzichte van zichtbaar licht en daardoor zeer doordringende, ioniserende eigenschappen. Vaak, maar niet altijd, heeft röntgenstraling een lagere energie dan gammastraling.

Geabsorbeerde dosis (D)

Ioniserende straling draagt energie over aan materie via ionisaties. De straling is in staat elektronen uit de elektronenwolk van atomen te schieten, waardoor geladen deeltjes (ionen) in de materie ontstaan. Deze ionisaties zorgen voor de stralings schade. Het aantal ionisaties is evenredig aan de overgedragen stralingsenergie. De geabsorbeerde stralingsenergie per massa-eenheid wordt de geabsorbeerde dosis (D) genoemd (zie figuur 9). Als eenheid wordt de gray (Gy) gebruikt. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$. De grootte is gedefinieerd voor materie.

Deze zuiver fysische grootte geeft onvoldoende informatie over de biologische gevolgen en de uiteindelijke risico's van de blootstelling voor de mens. Dat komt omdat er zeer veel verschillende factoren van invloed zijn op het effect van de blootstelling, zoals onder andere de stralingssoort, het blootgestelde orgaan of weefsel, leeftijd, geslacht en het dosistempo (de stralingsdosis die per tijdseenheid wordt ontvangen). Met de stralingssoort en de gevoeligheid van het blootgestelde orgaan of weefsel wordt achtereenvolgens rekening gehouden in de equivalente dosis (H) en de effectieve dosis (E).

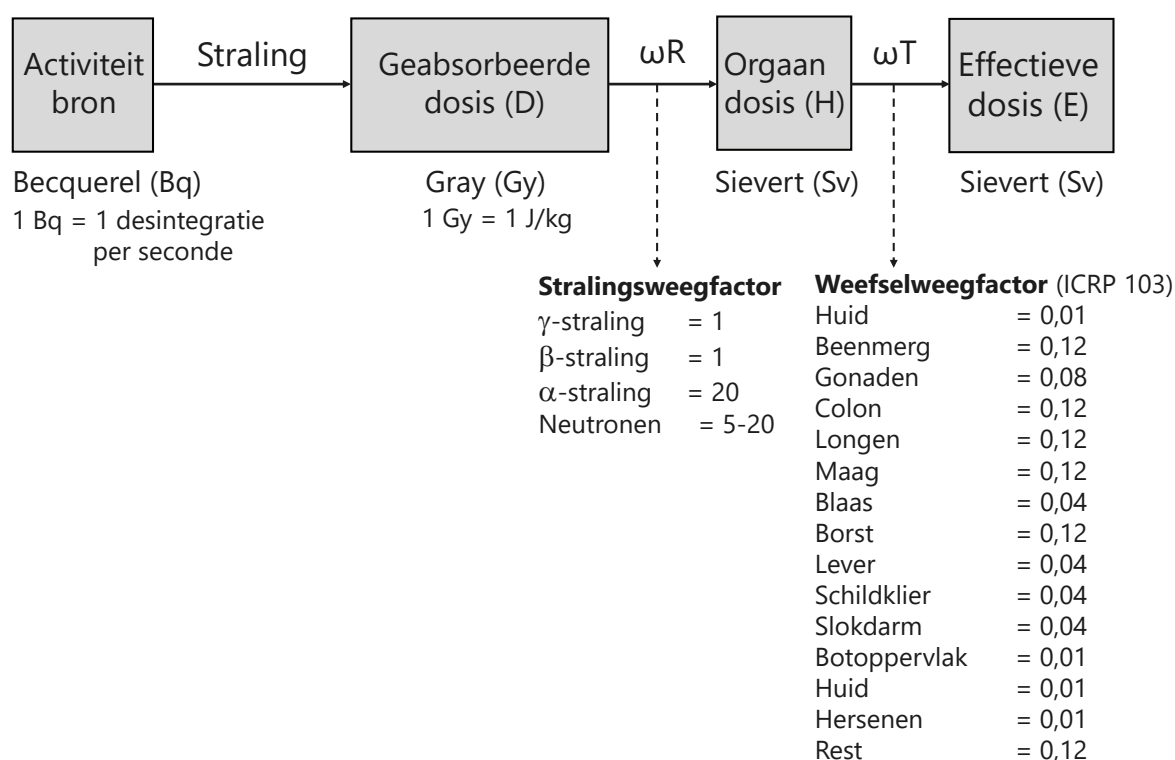
Equivalente dosis (H)

De geabsorbeerde dosis D in het orgaan wordt vermenigvuldigd met de zogenaamde stralingsweefactor (ω_R), waarmee het relatieve biologische effect van de stralingssoort in rekening wordt gebracht (zie figuur 9). De equivalente dosis is gedefinieerd voor een orgaan of weefsel. Voor fotonen en elektronen (bèta deeltjes) is de weefactor 1, voor neutronen hangt deze af van de energie van de neutronen (weefactor 5 tot 20) en voor alfadeeltjes is deze 20. Dit heeft er mee te maken dat alfadeeltjes hun energie zeer lokaal afgeven en daardoor in een klein gebied meer schade aanrichten. Dit is door het weefsel minder goed te herstellen en het biologische effect is dus groter.

De equivalente dosis is geen zuiver fysische grootte meer, omdat biologische effecten zijn meegewogen. Om dit onderscheid te benadrukken wordt de eenheid Sievert (Sv) gebruikt. 1 Sv is eveneens 1 J/kg . Kortom: $D \text{ (in Gy)} \times \omega_R = H \text{ (in Sv)}$.

Effectieve dosis (E)

De effectieve dosis is ingevoerd om in één getal het risico van straling te kunnen weergeven voor de situatie waarin niet het hele lichaam, maar één of meer organen of weefsels worden bestraald. De verschillende organen hebben namelijk een verschillende gevoeligheid voor straling. Spierweefsel is bijvoorbeeld relatief ongevoelig, terwijl beenmerg juist zeer gevoelig is. De equivalente dosis (H) voor het orgaan wordt vermenigvuldigd met een weefselweegfactor (ω_T). Deze factor geeft de relatieve bijdrage van de blootstelling van het orgaan/weefsel aan het totale risico voor het gehele lichaam. De verkregen effectieve doses voor verschillende organen kunnen bij elkaar worden opgeteld. De effectieve dosis geeft dus uiteindelijk een waarde voor het gehele lichaam. De effectieve dosis (E) wordt eveneens uitgedrukt in Sievert (Sv).
 Kortom: H (in Sv) $\times \omega_T = E$ (in Sv). Bij bestraling van het gehele lichaam is de equivalente dosis gelijk aan de effectieve dosis omdat de weefselweegfactor 1 is.



Figuur 9 Berekening van de effectieve dosis.

Limieten en referentieniveaus

In tabel 2 zijn enkele belangrijke limieten opgenomen, zowel voor beroepsmatige blootstelling als in geval van calamiteiten. Deze waarden worden uitgedrukt in 'effectieve dosis' (eenheid Sievert) als maat voor de blootstelling van de mens aan ioniserende straling. Om een idee te krijgen van de orde van grootte van de gehanteerde limieten zijn als referentiewaarden de opgelopen dosis van de gemiddelde Nederlander per jaar (2,8 mSv/jaar) en de opgelopen doses na enkele radiodiagnostische onderzoeken opgenomen (bijvoorbeeld een röntgenfoto van een deel van het lichaam).

Het basisprincipe van de stralingsbescherming is echter altijd dat de blootstelling zo gering mogelijk moet worden gehouden ('As Low As Reasonably Achievable' – het ALARA-principe) waarbij eveneens economische en sociale factoren in aanmerking moeten worden genomen. Een blootstelling kan worden beperkt door de afstand tot de bron te vergroten, de tijd in aanwezigheid van de bron te verkorten of door afscherming van de bron met geschikt materiaal.

	Effectieve dosis in Sievert
Limiet beroepsmatige blootstelling	20 mSv/jaar gemiddeld over gedefinieerde perioden van vijf jaar. In bijzondere, tijdelijke omstandigheden (geen noodsituaties), op vrijwillige basis en na toestemming van de overheid mag een werknemer 100 mSv aan dosis in een korte periode ontvangen.
Limiet bevolking	1 mSv/jaar (deze dosis mag worden ontvangen als extra dosis bovenop de achtergrondstraling).
Patiëntdoses radiodiagnostiek (per onderzoek) Laag: (mammografie, X-thorax); Midden: (X-maag, X-bekken, CT-hersenen); Hoog: (CT-abdomen, CT-thorax, angiografie).	< 1 mSv 1-10 mSv > 10 mSv
Bevolkingsgemiddelde	0,5 mSv/jaar
Belasting van gemiddelde Nederlander (achtergrondstraling en kunstmatige stralingsbelasting waaronder medische toepassing).	2,8 mSv/jaar
Vlucht Amsterdam – New York (12 km hoogte) (ten gevolge van kosmische straling).	0,04 mSv (per enkele reis).
Stralingsziekte	Vanaf 500-1000 mSv
Referentieniveaus voor hulpverleners Radiologische noodsituatie (als niet aan dosislimieten kan worden voldaan) Alleen in uitzonderlijke situaties: Redden van belangrijke materiële belangen Levensreddend werk	100 mSv 250 mSv 500 mSv
Limiet regulier brandweer optreden	25 microSv/uur (0,025 mSv/uur) tot maximaal 2 mSv totale dosis

Tabel 2 Limieten en referentieniveaus.

Kansgebonden (stochastische) effecten

Bij lage doses ioniserende straling zijn er geen direct waarneembare effecten, maar cellen kunnen wel aangetast zijn. De niet herstelde schade aan het DNA is hier relevant. Men verwacht hierdoor een verhoogde kans op kanker en op afwijkingen bij het nageslacht. De effecten treden pas na langere tijd op. De latentietijd voor het optreden van leukemie is gemiddeld vijf tot tien jaar en voor solide tumoren minimaal tien jaar.

Met de hoogte van de dosis neemt de kans op het optreden van effecten toe en niet de ernst van het effect. Het is een 'alles of niets'-verschijnsel: er ontstaat een tumor of niet. Door blootstelling aan ioniserende straling (uitwendige bestraling) wordt niet een specifiek soort tumoren of genetische effecten geïnduceerd, maar de incidentie (het voorkomen) van het bestaande spectrum verhoogd. Na inwendige besmetting kan door specifieke doelorganen van een radionuclide de kans op bepaalde soorten kanker wel verhoogd zijn (bijvoorbeeld schildklierkanker na inwendige besmetting met radioactief jodium). De kans op dood door kanker ten gevolge van straling wordt voor de gemiddelde mens geschat op 0,05 per Sievert (effectieve dosis). Hiermee wordt bedoeld dat een individu bij bestraling met 1000 mSv een extra kans heeft van 5% op (voortijdig) overlijden ten gevolge van kwaadaardige aandoeningen.

Deterministische effecten

Deterministische effecten treden altijd op als een zekere drempeldosis is overschreden. Er moet worden gedacht aan een acute blootstelling aan een hoge dosis. Meestal is deze eenmalig, maar bij bijvoorbeeld radiotherapie kan deze ook gefractioneerd (meermalig) zijn. De effecten ontstaan door direct functieverlies van weefsels en organen, hoofdzakelijk als gevolg van het verlies van cellen ('celdood'). Acuut letsel treedt alleen op na een extreem hoge stralingsbelasting.

Acute stralingsziekte

Het optreden van stralingsziekte is een deterministisch effect. Stralingsziekte kan ontstaan na het ontvangen van een zeer hoge stralingsdosis. Hierbij is vaak sprake van uitwendige bestraling door een externe bron waarbij een groot gedeelte van het lichaam bestraald wordt door sterk doordringende straling. Dit kan vóórkomen bij personeel dat zich bij een kernongeval onmiddellijk bij de reactor bevindt of tijdens incidenten met zeer sterke radioactieve bronnen voor sterilisatie van voedsel.

Bij het optreden van stralingsziekte kunnen een aantal fasen en een aantal syndromen (kenmerkende ziektebeelden) met bijbehorende symptomen worden onderscheiden.

FASEN:

Prodromale fase

- Deze fase kan enkele minuten tot twee dagen na blootstelling beginnen. De symptomen die optreden in deze fase zijn misselijkheid, braken, anorexie en mogelijk diarree. De ernst en het moment van optreden van de eerste symptomen zijn dosisafhankelijk. De tijd tussen de blootstelling en optreden van deze symptomen vormt een indicatie van de hoogte van de dosis. Deze fase duurt minuten (sporadisch) tot dagen.

Latente fase

- Volgend op de prodromale fase komt de latente fase, waarin de patiënt relatief zonder symptomen is. Gedurende deze periode zullen leukocyten en trombocyten afnemen in aantal, door depressie van het beenmerg. De duur van deze fase (uren tot weken) is dosisafhankelijk: hoe hoger de dosis, des te korter de latente fase.

Manifeste fase

- In deze fase openbaren zich de syndromen veroorzaakt door schade aan het beenmerg, het maagdarmkanaal en het centraal zenuwstelsel. Deze fase kan dagen tot maanden duren.

SYNDROMEN

Beenmergsyndroom (> 0,5-1 Gy)

- Het beenmergsyndroom wordt gekenmerkt door een sterke afname van het aantal bloedcellen in het perifere bloed. De afname van het aantal leukocyten veroorzaakt een afname van de natuurlijke afweer tegen infecties. Vermindering van het aantal trombocyten kan inwendige bloedingen tot gevolg hebben en een afname van het aantal erythrocyten geeft een algehele vermoeidheid door anemie. Primaire doodsoorzaak is infectie of bloeding, enkele maanden na blootstelling. Volledig herstel is mogelijk voor een groot percentage van de slachtoffers, in geval van goede medische behandeling.

Maagdarmsyndroom (> 10 Gy)

- Bij een hogere stralingsbelasting treedt daarnaast eveneens het maagdarmsyndroom op, waarbij verlies van de delende cellen in de crypten van de darm optreedt. De manifeste fase gaat gepaard met lethargie, anorexie, braken, ernstige diarree, verlies van vloeistof en elektrolyten en koorts, verslechterend tot bloederige diarree en shock. Overlijden kan binnen twee weken optreden ten gevolge van dehydratie, elektrolytstoornissen en infectie wanneer geen passende, grondige medische behandeling plaatsvindt.

Centraal zenuwstelselsyndroom (> 50 Gy)

- Bij een zeer hoge stralingsbelasting kan het centraal zenuwstelsel dermate beschadigd raken, dat een patiënt binnen enkele uren tot dagen overlijdt. Herstel is niet te verwachten. Dit syndroom wordt gekenmerkt door symptomen van het zenuwstelsel (hoofdpijn, duizeligheid, ataxie, convulsies, bewustzijnsdaling) en hypotensie.

Lokale stralingsschade (huidsyndroom)

Naast acute stralingsziekte zal ook vaak lokale stralingsziekte ontstaan (het huidsyndroom). Huidschade kan echter ook ontstaan zonder dat de symptomen van acute stralingsziekte optreden, voornamelijk na blootstelling aan bètastraling of laag energetische röntgenstraling. Deze straling dringt minder diep door en zal minder snel schade aan de interne organen veroorzaken in vergelijking tot gammastraling. Bij lokale blootstelling kan eveneens huidschade zonder stralingsziekte optreden. De ernst van de symptomen hangt af van de opgelopen stralingsdosis en de penetratiediepte van de straling. De effecten treden pas uren tot dagen na blootstelling op.

FASEN

Prodromale fase

- Begint binnen enkele uren na blootstelling en duurt 1 tot 2 dagen. Kenmerkend voor deze fase: voorbijgaande roodheid (eerste periode) of oedeem, warmtegevoel en jeuk van blootgestelde huid.

Latente fase

- Begint vanaf 1 tot 2 dagen na blootstelling. Er is geen huidschade zichtbaar. Hoe hoger de opgelopen stralingsdosis, des te korter deze fase. De huid van gezicht, romp en nek heeft een kortere latente fase dan de huid van de handpalmen en voetzolen.

Manifeste fase

- Deze fase begint dagen tot weken na blootstelling. Deze fase begint met langdurige roodheid (tweede periode), warmtegevoel en licht oedeem. Vaak treedt een verhoogde pigmentatie op. Deze symptomen kunnen worden gevolgd door droge schilfering, natte schilfering of zweren tot afsterving, afhankelijk van de opgelopen stralingsdosis. Door schade aan de haarzakjes kan haaruitval optreden.

Derde periode van roodheid

- Begint 10-16 weken na blootstelling aan voornamelijk bètastraling. Roodheid (derde periode), schade aan bloedvaten, oedeem en een toenemende pijn treden als symptomen op. Een blauwige verkleuring van de huid kan worden gezien. Zweren, afsterving en een verdunning van de huid kunnen optreden. De tijdelijke haaruitval kan zich herstellen. Bij een hoge dosis (boven 7 Gy) is de haaruitval permanent.

Late effecten

- Maanden tot jaren na blootstelling aan doseringen boven 10 Gy. Symptomen variëren van verdunning van de huid tot constant terugkerende zweren, afsterving en deformiteit. Mogelijke effecten zijn afsluiting van kleine bloedvaten met verstoring van de bloedtoevoer tot gevolg, schade aan het lymfestelsel, plaatselijke ophoping van lymfe, een toename en verharding van het bindweefsel, verharding van de huid, ontsteking van de bloedvaten. Pigmentatieveranderingen en pijn treden vaak op. De ontwikkeling van huidkanker is mogelijk in de volgende jaren.

Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum
UMC Utrecht
Postbus 85500
3508 GA Utrecht

Locatie AZU
Heidelberglaan 100
3584 CX Utrecht

Tel: 088 755 8561
www.umcutrecht.nl



UMC Utrecht
Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum