rivm

Rapport 660003004/2010

R. de Groot | G.A. van Zoelen | A.J.H.P. van Riel | M.E.C. Leenders

Triage en eerste opvang van slachtoffers na radiologische incidenten

rivm

RIVM Rapport 660003004/2010

Triage en eerste opvang van slachtoffers na radiologische incidenten

R. de Groot
G.A. van Zoelen
A.J.H.P. van Riel
M.E.C. Leenders

Contact:
M.E.C. Leenders
Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum
marianne.leenders@rivm.nl

Dit RIVM rapport is geschreven op verzoek van de Geneeskundige Hulpverlening bij Ongevallen en Rampen (GHOR), in opdracht van het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS) in het kader van project V/660003/10/AA

© RIVM 2010
Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Triage en eerste opvang van slachtoffers na radiologische incidenten

Het RIVM heeft in kaart gebracht welke maatregelen nodig zijn om slachtoffers op te vangen van incidenten met radiologisch materiaal, vanaf het rampterrein tot aan het ziekenhuis. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen verschillende groepen slachtoffers, waarvoor specifieke maatregelen nodig zijn om gezondheidsrisico's te beperken. Vervolgens zijn de beoordeling, selectie en eerste opvang van deze slachtoffers met bijbehorende maatregelen in stroomschema's uiteengezet. De stroomschema's geven aan welke personen direct naar het ziekenhuis moeten worden vervoerd en welke na controle en zo nodig verwijdering van radioactief materiaal, bijvoorbeeld besmette kleding, (decontaminatie) naar huis kunnen. Daarnaast is er aandacht voor de mensen die niet blootgesteld zijn, maar zich wel zorgen maken. De stroomschema's kunnen tijdens een incident worden verfijnd, naargelang de aard en omvang van het incident. Het rapport is geschreven op verzoek van de Geneeskundige Hulpverlening bij Ongevallen en Rampen (GHOR), in opdracht van het ministerie van VWS.

In het rapport worden de gevolgen van incidenten met een 'vuile bom' en met een verborgen radioactieve bron beschreven. Een vuile bom is een conventioneel explosief dat bij ontploffing radioactief materiaal verspreidt. Mensen in de directe omgeving kunnen door de explosie levensbedreigend gewond raken. Ook kunnen ze worden besmet door rondvliegende scherven en radioactief materiaal. Bij een incident met een verborgen (intacte) bron wordt het radioactieve materiaal niet verspreid, omdat het op een vaste plaats aanwezig is. In zulke gevallen moeten mensen die in de omgeving van de bron zijn geweest, worden opgespoord. Ook hiervoor geeft het rapport een stroomschema.

Het rapport verschaft informatie om de schema's te onderbouwen. In de bijlagen is achtergrondinformatie opgenomen over radioactiviteit en ioniserende straling en de gevolgen daarvan voor de gezondheid. Daarnaast wordt verwezen naar relevante nationale en internationale richtlijnen en handboeken.

Trefwoorden: radiologische incidenten, vuile bom, verborgen radioactieve bron, radioactiviteit, ioniserende straling

rivm

Abstract

Triage and first care of casualties after radiological incidents

The RIVM has prepared an overview of the necessary measures for the first care of casualties of incidents with radiological material, starting at the location of the incident until the hospital. Different groups of casualties are discerned, for which specific measures are necessary to minimise health risk. Subsequently flowcharts are set up for the evaluation, selection and first care of these casualties with concomitant measures. The flowcharts indicate which persons should be directly transported to the hospital and which persons can be sent home after monitoring and, if necessary, removal of radioactive material, for example contaminated clothing (decontamination). Furthermore, there is attention for the persons that are not exposed, but are worried. In time of an incident the flowcharts can be adapted and refined according to the specific nature of the incident. The report is written on request of the 'Medical Planning and Preparedness Office (GHOR)', by order of the Ministry of Health, Welfare and Sport.

The report describes the consequences of incidents with a 'dirty bomb' and a hidden radioactive source. A 'dirty bomb' is a conventional explosive that will spread radioactive material after detonation. People in the direct surroundings of the explosion can be perilously injured. They can also become contaminated by scattered shards and radioactive material. During an incident with a hidden (intact) radioactive source, the radioactive material will not spread, because it is located at a specific site. The report also presents a flowchart for these incidents.

The report supplies information to explain the flowcharts. The appendices give background information on radioactivity and ionising radiation and the health risks after exposure. Also references are provided to relevant national and international guidelines and handbooks.

Key words: radiological incidents, dirty bomb, hidden radioactive source, radioactivity, ionising radiation

Inhoud

Samenvatting		**9**
1	**Inleiding**	**11**
2	**Radiologische incidenten**	**13**
3	**RDD: Vuile bom**	**15**
4	**Opvang slachtoffers na incident met vuile bom (RDD)**	**17**
5	**RED: Verborgen radioactieve bron**	**23**
6	**Opvang slachtoffers na incident met verborgen radioactieve bron (RED)**	**25**
7	**Voorbereiding op radiologische incidenten**	**29**
8	**Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (NVIC)**	**33**
9	**Calamiteitenhospitaal**	**35**
Literatuur		**37**
Lijst van bijlagen		**39**
Bijlage 1	**Achtergrondinformatie over radioactiviteit en ioniserende straling**	**41**
Bijlage 2	**Soorten blootstelling na radiologische incidenten**	**47**
Bijlage 3	**Achtergrondinformatie bij het vuile bomscenario**	**53**

Samenvatting

Bij radiologische incidenten worden slachtoffers blootgesteld aan radioactief materiaal en/of ioniserende straling. In dit RIVM-rapport is de triage en eerste opvang van slachtoffers na radiologische incidenten met bijbehorende maatregelen in stroomschema's uiteengezet, vanaf het rampterrein tot aan het ziekenhuis. De twee belangrijkste incidenten die worden besproken zijn een incident met een vuile bom en met een verborgen (intacte) radioactieve bron.

Vuile bom
Een vuile bom is een conventioneel explosief, dat bij ontploffing radioactief materiaal verspreidt. In het algemeen kan worden uitgegaan van een beperkt aantal slachtoffers met ernstig (conventioneel) trauma door de explosie. Een grotere groep personen zal uitwendig worden besmet met radioactief materiaal, waarbij de stralingsdosis beperkt zal zijn, zeker als snel na blootstelling decontaminatie plaatsvindt. Extra aandacht is vereist wanneer scherven of splinters van de radioactieve bron door de explosie in de huid terecht zijn gekomen (lokale stralingsschade). Door inhalatie van radioactief materiaal of door besmette wonden kan een inwendige besmetting optreden. Externe bestraling treedt op door fragmenten van de bron en neerslag van radioactief materiaal in de omgeving. Stralingsziekte is in geval van een incident met een vuile bom niet waarschijnlijk.

Levensbedreigend gewonden (door de explosie) zullen na stabilisatie direct naar het ziekenhuis worden vervoerd zonder dat decontaminatie – door de brandweer – nabij het incidentgebied plaatsvindt. Vervoer geschiedt bij voorkeur naar een ziekenhuis dat is voorbereid op de ontvangst van patiënten die besmet kunnen zijn met radioactief materiaal (mogelijkheid tot besmettingscontrole en decontaminatie) en met de mogelijkheid om stralingsslachtoffers te behandelen (voornamelijk voor mogelijke inwendige besmetting met radioactief materiaal). Ook moet het ziekenhuis beschikken over traumaopvang.

Overige slachtoffers uit het incidentgebied moeten worden gecontroleerd op besmetting met radioactief materiaal en zo nodig worden gedecontamineerd, alvorens eventuele verdere behandeling plaatsvindt.

Er zal een groep slachtoffers zijn die op eigen initiatief het incidentgebied zonder besmettingscontrole verlaat (en zich dus onttrekt aan de triage in het incidentgebied). Deze personen kunnen naar huis gaan en (later) als 'zelfverwijzers' het ziekenhuis bezoeken. Aangezien deze slachtoffers uit het incidentgebied komen zijn ze mogelijk besmet met radioactief materiaal. Daarnaast zal er een grote groep mensen zijn van buiten het incidentgebied die zich ernstige zorgen maakt, zonder dat blootstelling aan radioactief materiaal heeft plaatsgevonden (de 'worried well').

Bij het ziekenhuis zal triage plaatsvinden en moet er worden gecontroleerd op uitwendige besmetting. Eveneens zal er aandacht moeten zijn voor mogelijke inwendige besmetting.

Het Calamiteitenhospitaal in het Universitair Medisch Centrum Utrecht (UMCU) kan worden ingezet wanneer het incident de lokale capaciteit overstijgt. Zo nodig kan voor een behandeladvies contact worden opgenomen met het Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (NVIC).

Verborgen radioactieve bron
Bij een incident met een verborgen (intacte) bron wordt het radioactieve materiaal niet verspreid. Het betreft een sterke radioactieve bron die op een publieke plaats is verstopt en daar personen in de omgeving gedurende langere tijd bestraalt.

Een zeer grote groep personen kan zijn blootgesteld aan ioniserende straling en op het moment van de ontdekking van de bron alweer zijn verspreid over een groot deel van Nederland. Wanneer wordt uitgegaan van een intacte bron, zijn de personen NIET besmet met radioactief materiaal, maar kunnen ze WEL een hoge stralingsdosis hebben opgelopen door de externe bestraling.

Na de ontdekking van een verborgen radioactieve bron zal men alle personen moeten opsporen die zich gedurende enige tijd in de buurt van de bron hebben bevonden. Vervolgens wordt bepaald welke personen mogelijk een significante blootstelling aan ioniserende straling hebben opgelopen en waarvoor nader onderzoek gewenst 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.

Voorbereiding op radiologische incidenten
Voor de opvang van slachtoffers na radiologische incidenten is specifieke voorbereiding nodig. Door de Geneeskundige Hulpverlening bij Ongevallen en Rampen (GHOR) kan een inventarisatie worden gemaakt van de ziekenhuizen in de regio die stralingsslachtoffers kunnen ontvangen en kan de capaciteit in kaart worden gebracht (aantal beschikbare en/of gereserveerde plaatsen).

In geval van een incident met een vuile bom is het belangrijk dat het ziekenhuis is voorbereid op de ontvangst van (grote aantallen) slachtoffers die mogelijk uitwendig zijn besmet met radioactief materiaal en dus moeten worden gedecontamineerd. Daarnaast zal in geval van een incident met een vuile bom, traumaopvang aanwezig moeten zijn. Behandeling van inwendige besmetting kan plaatsvinden op een afdeling nucleaire geneeskunde. In geval van blootstelling aan ioniserende straling door een verborgen radioactieve bron is mogelijk behandeling van stralingsziekte nodig (afdeling hematologie).

Het is eveneens nuttig om in de regio de mogelijkheden tot decontaminatie nabij het incidentgebied te inventariseren. Mobiele decontaminatie-units (ontsmettingsstraten) zijn aanwezig bij de veiligheidsregio's en kunnen ongeveer zestig personen per uur decontamineren.

Daarnaast is het belangrijk dat het medisch personeel een basale kennis heeft van radioactiviteit en ioniserende straling en de risico's van de behandeling van stralingsslachtoffers. Op deze manier kunnen ongerustheid en angst vanwege onwetendheid worden voorkomen. Bij gebruik van beschermingsmaatregelen zoals bij infectiepreventie is er nauwelijks risico voor de hulpverlener.

1 Inleiding

Het Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (NVIC) van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) geeft als steuncentrum van het Back Office Geneeskundige Informatie (BOGI) van de Eenheid Planning en Advies nucleair (EPAn) informatie over de te nemen maatregelen ter bescherming van de (volks)gezondheid bij radiologische incidenten. Hierbij hoort ook advies over de behandeling van patiënten na blootstelling aan radioactief materiaal en/of ioniserende straling.

Dit RIVM-rapport is geschreven op verzoek van de Geneeskundige Hulpverlening bij Ongevallen en Rampen (GHOR) en geeft een overzicht van de belangrijkste aspecten bij de triage en eerste opvang van slachtoffers na radiologische incidenten, vanaf het rampterrein tot aan het ziekenhuis. Incidenten met een vuile bom en een verborgen radioactieve bron krijgen hierbij de meeste aandacht.

Het vuile bomincident dient als voorbeeld van een incident waarbij verspreiding van radioactief materiaal optreedt. Bij een incident met een verborgen (intacte) bron wordt het radioactieve materiaal niet verspreid. Voor beide incidenten wordt met behulp van een stroomschema besproken welke groepen slachtoffers kunnen vóórkomen, welk type blootstellingen te verwachten zijn, of mensen met radioactief materiaal kunnen worden besmet en welke maatregelen kunnen worden genomen. De stroomschema's kunnen ten tijde van een incident worden aangepast en verfijnd, naargelang de aard van het incident.

Het rapport verschaft informatie om de schema's te onderbouwen. Bijlage 1 geeft uitleg over radioactiviteit en ioniserende straling. De soorten blootstelling en de gevolgen daarvan voor de gezondheid worden besproken in Bijlage 2. In Bijlage 3 is achtergrondinformatie over het vuile bomscenario opgenomen. Daarnaast wordt verwezen naar relevante nationale en internationale richtlijnen en handboeken.

De informatie in dit rapport kan worden gebruikt bij de specifieke voorbereiding op radiologische incidenten.

2 Radiologische incidenten

Er zijn verschillende radiologische incidenten mogelijk waarbij mensen kunnen worden blootgesteld aan radioactief materiaal en ioniserende straling. Een aantal mogelijke scenario's wordt hieronder besproken. De aard van de blootstelling zal afhankelijk zijn van het soort incident (zie Bijlage 2).

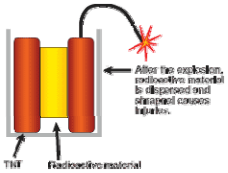
Radiological dispersal device (RDD)
Een RDD heeft de verspreiding van radioactief materiaal tot doel, om zo de omgeving en mensen te besmetten (zie Figuur 1). Mogelijkheden:

- Verspreiding door explosie: vuile bom.
  Een conventioneel explosief verspreidt bij ontploffing radioactief materiaal.
- Verspreiding zonder explosie.
  Verspreiding van radioactief materiaal vanuit bijvoorbeeld een (sport)vliegtuig.

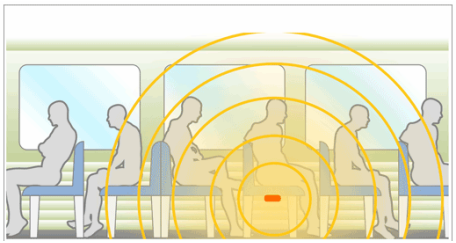
Radiological exposure device (RED)
Een RED heeft tot doel mensen bloot te stellen aan ioniserende straling. Hierbij moet worden gedacht aan een sterke radioactieve bron die op een publieke plaats is verstopt en daar personen in de omgeving bestraalt. Naast een drukbezochte publieke locatie kan een radioactieve bron bijvoorbeeld ook onder een stoel in een trein of bus worden verstopt (zie Figuur 1).

RDD
(verspreiding zonder explosie)

RDD
(vuile bom)



RED
(verborgen bron in openbaar vervoer)



Figuur 1. Voorbeelden van radiologische incidenten
Afbeeldingen afkomstig van: http://www.remm.nlm.gov/

Overige incidenten
Er zijn incidenten waarbij een vergelijkbare blootstelling kan optreden zoals beschreven bij de RDD of RED. Hierbij hoeft niet altijd sprake te zijn van opzet, zoals in geval van een terroristische aanslag, maar kan de blootstelling ook voortkomen uit een ongeval.

- Een ongeval met vervoer van radioactief materiaal
  Bron kapot en radioactief materiaal verspreid: RDD
  Bron intact maar afscherming verminderd: RED

- Incident op een radionuclidenlaboratorium
  Bron kapot en radioactief materiaal verspreid: RDD

- Het kwijtraken van een bron (bijvoorbeeld voor radiotherapie)
  Bron kapot en radioactief materiaal verspreid: RDD
  (bijvoorbeeld het Goiânia-incident waarbij radioactief cesium werd verspreid)
  Bron intact maar afscherming verminderd: RED

Een ongeval met de kerncentrale Borssele valt buiten het bestek van dit rapport. Over maatregelen ten tijde van een kernongeval is meer te lezen in het Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding (NPK)[(1)], de Leidraad Kernongevallenbestrijding[(2)] en het Responsplan Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding.[(3)] Let op: deze documenten worden gereviseerd in het kader van de revitalisatie NPK.

3 RDD: 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. Hierbij zijn de volgende blootstellingen te verwachten, waarbij de grootte van het besmette gebied afhankelijk is van de grootte van het explosief en de hoeveelheid radioactief materiaal:

Eerste gebied (dicht bij explosie):
- Mogelijk levensbedreigend trauma door explosie.
- Brandwonden door explosie.
- Uitwendige besmetting met radioactief materiaal.
- Mogelijk inwendige besmetting met radioactief materiaal.
- Externe bestraling door fragmenten van de bron en neerslag van radioactief materiaal. (Afhankelijk van het type bron en het soort ioniserende straling.)

Tweede gebied (verder weg van explosie):
- Lichtgewonden door explosie.
- Mogelijk uitwendige besmetting met radioactief materiaal.
- Mogelijk inwendige besmetting met radioactief materiaal.
- Beperkte externe bestraling door neerslag van radioactief materiaal. (Afhankelijk van het type bron en het soort ioniserende straling.)

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.

Aantal slachtoffers
Het aantal slachtoffers hangt af van de volgende factoren:
- Grootte van het explosief. Van belang voor het aantal slachtoffers in de directe omgeving en de mate van verspreiding van het radioactieve materiaal.
- Hoeveelheid en aard van het radioactieve materiaal.
- Bevolkingsdichtheid in het besmette gebied/aantal mensen aanwezig op de locatie van de explosie. Dit zal hoger zijn in geval van een evenement zoals een sportwedstrijd, concert, feestdag, enzovoort.

In 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 worden besmet waarbij de stralingsdosis beperkt zal zijn, zeker als snel na blootstelling decontaminatie plaatsvindt. Extra aandacht is vereist wanneer scherven of splinters van de radioactieve bron door de explosie in de huid terecht zijn gekomen (lokale stralingsschade). Stralingsziekte is in geval van een incident met een vuile bom niet waarschijnlijk. Zie voor informatie over het vuile bomscenario ook Bijlage 3.

Er zal een grote groep mensen zijn van buiten het incidentgebied die zich ernstige zorgen maakt, zonder dat blootstelling aan radioactief materiaal heeft plaatsgevonden (de ‘worried well’).

4 Opvang slachtoffers na incident met vuile bom (RDD)

Figuur 2 geeft een overzicht van de 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. Ten tijde van een incident kan het schema worden aangepast en worden verfijnd, naargelang de aard van het incident. De onderstaande nummering is terug te vinden in Figuur 2.

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

1 – Een groep slachtoffers die het incidentgebied zonder besmettingscontrole verlaat en naar huis gaat (en zich dus onttrekt aan de triage in het incidentgebied). Deze personen zijn waarschijnlijk niet gewond (T0) of lichtgewond (T3) maar mogelijk wel besmet met radioactief materiaal. Ze 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[(4)] (Chapter G, p.164 'Self-decontamination at home').

2 – Een groep slachtoffers die op eigen initiatief het incidentgebied verlaat (en zich dus onttrekt 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. Het is van groot belang dat potentieel besmette slachtoffers het ziekenhuis niet binnen kunnen komen voordat besmettingscontrole en zonodig decontaminatie heeft plaatsgevonden. In overleg met de bewaking moeten de ziekenhuisingangen worden bewaakt of afgesloten.

3 – Er zal een groep mensen zijn van buiten het incidentgebied die zich ernstig zorgen maakt zonder dat daadwerkelijk blootstelling aan 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 moeten ziekenhuisingangen worden bewaakt of afgesloten. Goede communicatie naar deze groep is essentieel.

4 – Een groep slachtoffers die nabij het incidentgebied wordt getriageerd.

5 – Levensbedreigend (T1) en ernstig (T2) gewonden zullen naar een ziekenhuis moeten worden vervoerd. Bij voorkeur naar een ziekenhuis dat is voorbereid op de ontvangst van patiënten die mogelijk besmet zijn met radioactief materiaal en met de mogelijkheid om stralingsslachtoffers te behandelen. Traumaopvang moet mogelijk zijn. Zie 'Benodigde expertise in ziekenhuis' in hoofdstuk 7 'Voorbereiding op radiologische incidenten'.

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 zwaar gewonden (T2) vereist namelijk speciale aandacht en moet worden uitgevoerd door medisch getraind personeel. Deze slachtoffers zijn mogelijk niet ambulant zodat decontaminatie op een brancard moet plaatsvinden. Indien deze slachtoffers niet nabij het incidentgebied worden gedecontamineerd valt de grijze route onder punt 7 (Figuur 2) weg.

Over 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 (Protocol decontaminatie[5] van de GHOR). Zie voor meer informatie het TMT Handbook[4] (Chapter I, p.222 'Handling of contaminated casualties and transport to hospital').

8 – Overige slachtoffers uit het incidentgebied 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 (Figuur 2) 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 decontaminatie-procedures in het veld worden in dit rapport niet nader behandeld. Zie voor meer informatie het Protocol decontaminatie[5] van de GHOR en het TMT Handbook[4] (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) of bij uitgebreide uitwendige besmetting van het bovenlichaam (vooral schouders, hoofd en haar) waardoor inhalatie van radioactief materiaal te verwachten is. Zonder uitgebreide uitwendige besmetting van het bovenlichaam 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 route. Besmette personen die wachten op decontaminatie moeten geadviseerd worden niet te eten, drinken en 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. De medische conditie van een patiënt kan gedurende het vervoer echter verbeteren of verslechteren. 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 decontaminatieprocedures en stroomschema's na aankomst in het ziekenhuis worden in dit rapport niet nader behandeld. Zie hiervoor het TMT Handbook[4] (Chapter J, p.230 'Medical management at the hospital') en de Leidraad CBRN.[6]
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 2). 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 (eventueel direct vanuit het veld daarheen). 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. Zie voor geschikte opvanglocaties, zoals scholen, zwembaden of sporthallen (waar douches aanwezig zijn), en hoe deze geschikt kunnen worden gemaakt voor de ontvangst van besmette slachtoffers het Radiologisch handboek hulpverleningsdiensten.[7]

Is de capaciteit voor de opvang van overige slachtoffers nog steeds onvoldoende, dan kan de hulp worden ingeroepen van het Calamiteitenhospitaal te Utrecht (zie hoofdstuk 9 'Calamiteitenhospitaal') of andere academische ziekenhuizen. Het LUMC (Leiden) en het UMC St. Radboud (Nijmegen) kunnen ook stralingsslachtoffers ontvangen. Mogelijke groepen 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.

14 – In uiterste nood kunnen na stabilisatie (en, indien nodig, liefst ook decontaminatie) de zwaargewonden (T1 en T2) worden overgeplaatst voor specifieke verdere behandeling.

15 – Tenslotte: gedecontamineerde niet-gewonden zonder inwendige besmetting kunnen naar huis.

Het stroomschema is samengesteld vanuit de 'Procedure nucleaire besmetting' zoals opgesteld door de GHOR en te vinden in de Leidraad CBRN[6], figuur C2 uit het IAEA-document 'Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency'[8] en informatie uit het TMT Handbook.[4] Het grootste verschil met het GHOR-stroomschema voor decontaminatie is dat de mogelijkheid om ernstig gewonden (triageklasse T2) nabij het incidentgebied te decontamineren (overeenkomstig de internationale richtlijnen) wel in het schema is opgenomen. Wanneer hier niet voor wordt gekozen valt de grijze route onder punt 7 (Figuur 2) weg.

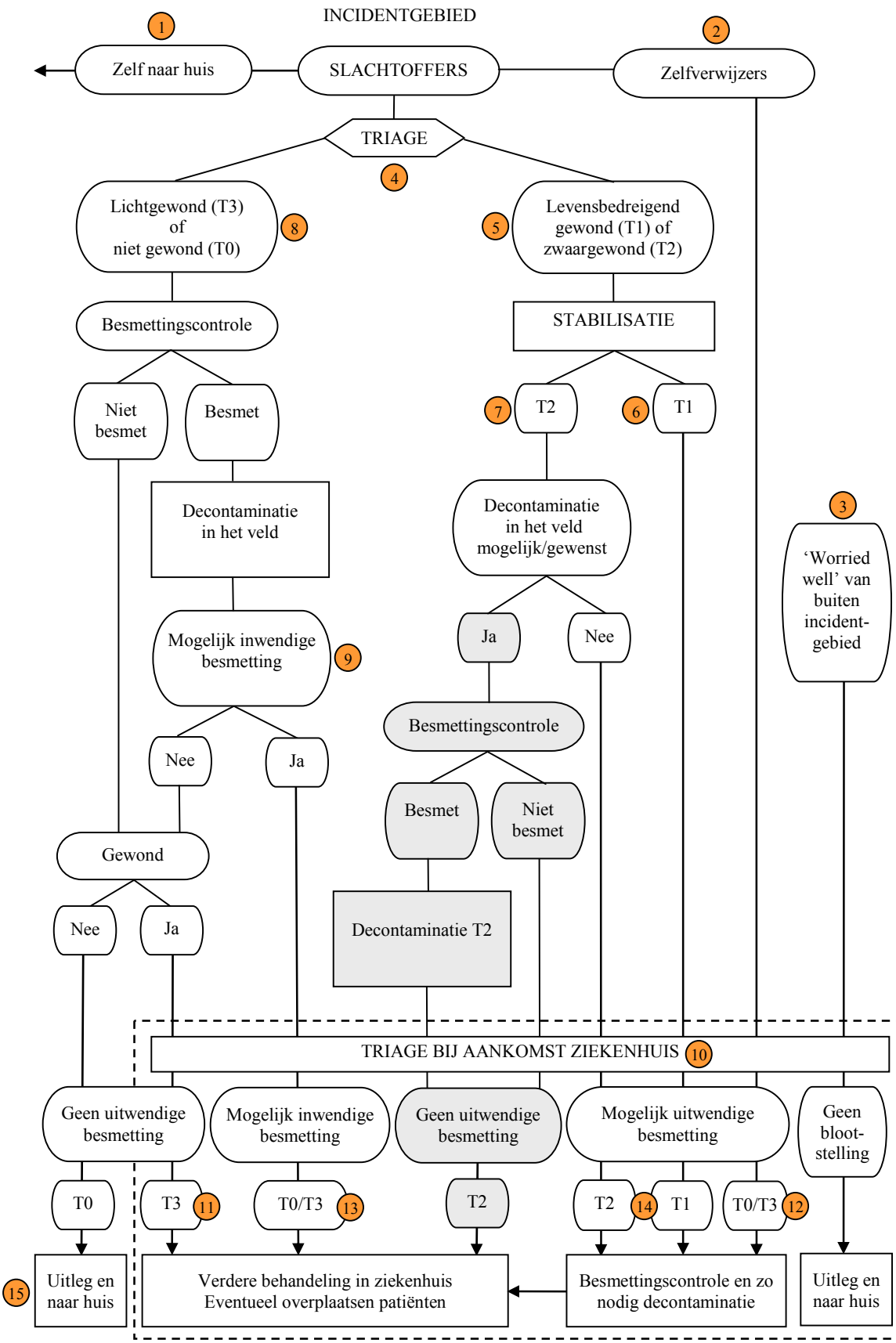
De triageklassen zoals gebruikt in Figuur 2 en beschreven in het document 'Basisleerstof GHOR'[9]:

T1 Triageklasse 1 (A, B, C-instabiele gewonden / onmiddellijk / rood).
Gewonden die onmiddellijk stabilisatie nodig hebben.

T2 Triageklasse 2 (op termijn A, B, C-instabiele gewonden / urgent / geel).
Gewonden die binnen zes uur een chirurgische of geneeskundige interventie nodig hebben.

T3 Triageklasse 3 (A, B, C-stabiele gewonden / uitgesteld / groen).
Minder ernstig gewonden van wie de behandeling zonder gevaar zes uur kan worden uitgesteld.

T4 (gewonden die het niet zullen overleven) zijn niet opgenomen in Figuur 2. In Figuur 2 zijn de niet-gewonden aangeduid met T0 (let op: deze kunnen wel besmet zijn met radioactief materiaal) hoewel niet als zodanig opgenomen in de GHOR-triageklassen.



Figuur 2. Opvang van slachtoffers na een incident met een vuile bom

Behandeling van 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, 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.

NVIC
Zo nodig kan contact met het NVIC worden opgenomen (24/7 bereikbaar op nummer 030-2748888) over mogelijke behandeling na inwendige besmetting en/of externe bestraling en dosisschatting na blootstelling aan ioniserende straling (zie hoofdstuk 8 'Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (NVIC)').

Tabel 1. Samenvatting opvang slachtoffers RDD: vuile bom

	Slachtoffers	**Opvang en behandeling**
Vuile bom	- conventioneel trauma; - uitwendige besmetting; - inwendige besmetting; - externe bestraling; - stralingsziekte en lokale stralingsschade NIET waarschijnlijk. Extra aandacht is vereist wanneer scherven of splinters van de radioactieve bron door de explosie in de huid terecht zijn gekomen (lokale stralingsschade).	- Instabiele patiënten altijd eerst stabiliseren en daarna pas decontamineren. Ziekenhuis in de buurt met: - traumaopvang; - decontaminatiemogelijkheid; - mogelijkheid tot behandeling stralingsslachtoffers (voornamelijk voor inwendige besmetting). Calamiteitenhospitaal UMCU wanneer het incident de lokale capaciteit overstijgt. Zo nodig contact met NVIC voor behandelingsadvies. (24/7 bereikbaar op nummer 030-2748888)

5 RED: Verborgen radioactieve bron

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

- Externe bestraling, waardoor mogelijk:
    - acute stralingsziekte;
    - lokale stralingsschade (huidsyndroom).

Bij een intacte (niet kapotte) radioactieve bron zal verspreiding van radioactief materiaal en uitwendige besmetting geen rol spelen. In dit scenario gaat het voornamelijk om externe bestraling vanwege de ioniserende straling die wordt uitgezonden door het radioactieve materiaal. 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.

Aantal slachtoffers
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.

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

- de soort bron (nuclide, activiteit, hoeveelheid materiaal);
- de afstand van de bron tot de blootgestelde personen;
- de verblijfsduur van de personen in de buurt van de bron;
- de externe bestraling van het gehele lichaam of een deel hiervan;
- de mate van afscherming van de bron.

6 Opvang slachtoffers na incident met verborgen radioactieve bron (RED)

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 hebben zich ondertussen alweer verspreid over mogelijk een groot deel van Nederland. Wanneer wordt uitgegaan van een intacte bron zijn de personen NIET besmet met radioactief materiaal, maar hebben ze mogelijk WEL een hoge stralingsdosis opgelopen door de externe bestraling.

De volgende stappen zijn noodzakelijk:

- 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.
  - Via de media (radio, tv en dergelijke) kan een oproep worden gedaan om contact op te nemen als personen binnen een bepaalde periode op de betreffende plek aanwezig zijn geweest.
- Vervolgens moet worden bepaald welke personen mogelijk een significante blootstelling aan ioniserende straling hebben opgelopen, waarvoor nader onderzoek gewenst is.
  - Dit zijn in elk geval de personen met tekenen van stralingsziekte en/of lokale stralingsschade.
    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. 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.
    Zie voor een uitgebreidere uitleg van stralingsziekte en lokale stralingsschade Bijlage 2.
    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.
  - 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.
- 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 1 voor uitleg over stralingsdosis.

- 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 mogelijk in de nabijheid van de bron is verbleven.

Personen met een hoge stralingsbelasting worden bij voorkeur behandeld in een ziekenhuis met ervaring op het gebied van behandeling van patiënten die zijn blootgesteld aan ioniserende straling (afdeling hematologie). Zie ook 'Benodigde expertise in ziekenhuis' in hoofdstuk 7 'Voorbereiding op radiologische incidenten'.

Het Calamiteitenhospitaal in het Universitair Medisch Centrum Utrecht (UMCU) kan worden ingezet als het incident de lokale capaciteit overstijgt.

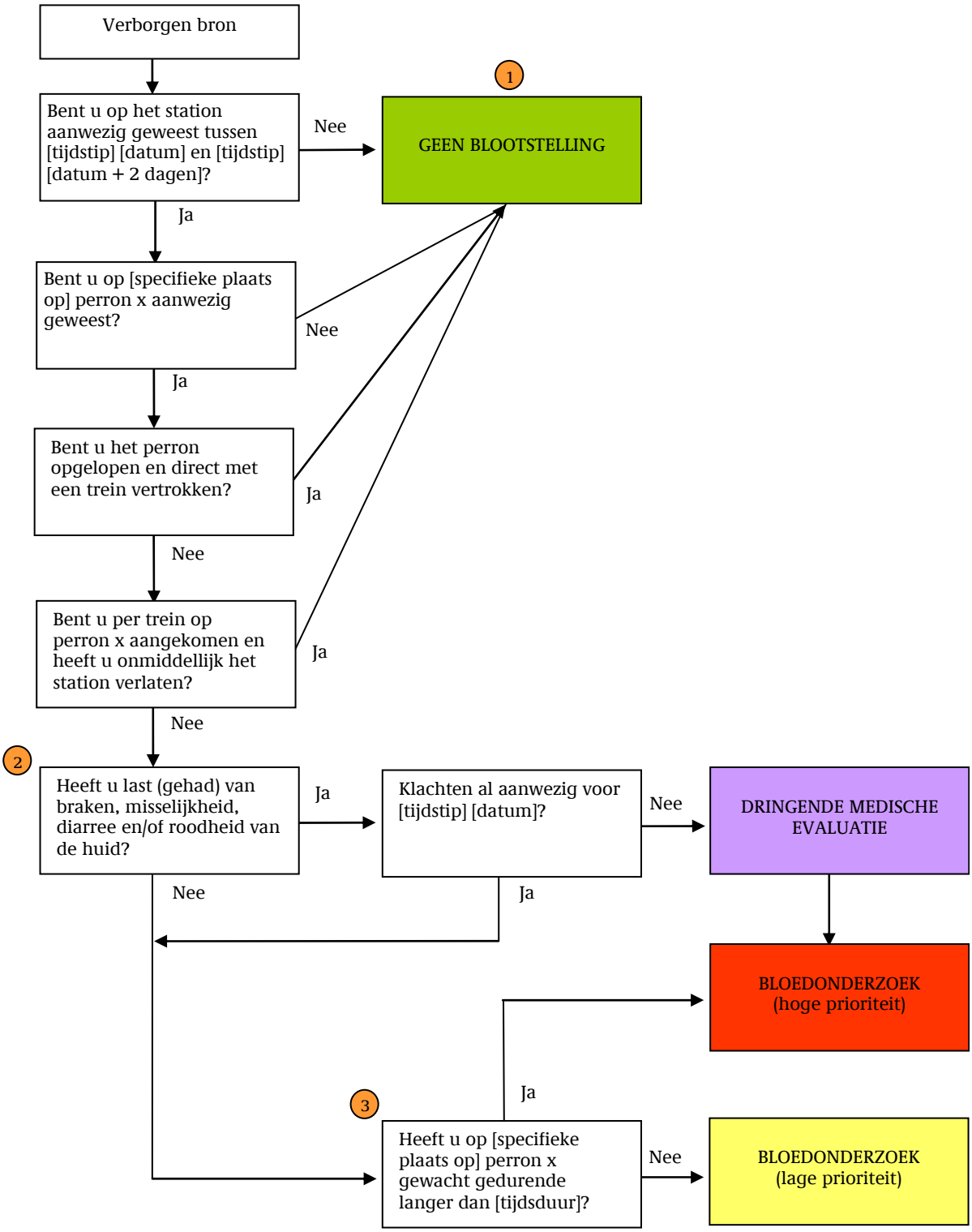
Het stroomschema zoals weergegeven in Figuur 3 kan worden gebruikt in geval van een verborgen radioactieve bron op een perron van een treinstation. Bij dit scenario is er van uitgegaan dat de bron twee dagen na het plaatsen wordt ontdekt en dat de bron gedurende die tijd niet is verplaatst (in de praktijk zal moeilijk te achterhalen zijn hoe lang een bron aanwezig is geweest). De nummering zoals die hieronder is gebruikt 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.[4] Ten tijde van een incident kan het schema worden aangepast en verfijnd, naargelang de aard van het incident en de locatie.



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

Behandeling van brandwonden
Na blootstelling aan ioniserende straling kunnen huidafwijkingen optreden die lijken op brandwonden, waarvan de genezing zeer langzaam verloopt. Zo nodig kan contact worden gezocht met een brandwondencentrum voor overplaatsing van patiënten voor specifieke behandeling.

NVIC
Zo nodig kan contact worden opgenomen met het NVIC (24/7 bereikbaar op nummer 030-2748888) over mogelijke behandeling na externe bestraling en dosisschatting na blootstelling aan radioactief materiaal/ioniserende straling.

Tabel 2. Samenvatting opvang slachtoffers RED: verborgen radioactieve bron

	Slachtoffers	**Opvang en behandeling**
RED (verborgen bron)	- externe bestraling; - stralingsziekte en lokale stralingsschade mogelijk.	Ziekenhuizen met mogelijkheid tot behandeling stralingsslachtoffers (stralingsziekte). Calamiteitenhospitaal UMCU indien het incident de lokale capaciteit overstijgt. Zo nodig contact met NVIC voor behandelingsadvies (24/7 bereikbaar op nummer 030-2748888).

7 Voorbereiding op radiologische incidenten

Voor de opvang van slachtoffers na radiologische incidenten is specifieke voorbereiding nodig. Er zijn veel bronnen met procedures, richtlijnen en stroomschema's die van nut kunnen zijn. Deze zullen moeten worden aangepast aan de Nederlandse situatie. In onderstaande tabel worden enkele noodzakelijke voorbereidingen voor de GHOR besproken.

Tabel 3. Voorbereiding GHOR op radiologische incidenten

Voorbereiding GHOR	Incident
Inventarisatie ziekenhuizen Inventarisatie van ziekenhuizen in de regio die stralingsslachtoffers kunnen ontvangen. Capaciteit in kaart brengen (aantal beschikbare en/of gereserveerde plaatsen).	Vuile bom en verborgen bron
De mate van voorbereiding van ziekenhuizen op de ontvangst van patiënten die besmet zijn met radioactief materiaal en de mogelijkheid tot decontaminatie inventariseren. In geval van een incident met een vuile bom moet er een mogelijkheid zijn voor traumaopvang.	Vuile bom
In geval van blootstelling aan ioniserende straling door een verborgen radioactieve bron is mogelijk behandeling van stralingsziekte nodig. In geval van een intacte bron is uitwendige besmetting met radioactieve materiaal niet te verwachten, waardoor decontaminatie niet nodig zal zijn. Een overzicht van de expertise die in een ziekenhuis beschikbaar moet zijn voor de ontvangst en behandeling van stralingsslachtoffers is te vinden in Tabel 4 'Benodigde expertise in ziekenhuis'.	Verborgen bron
Decontaminatie bij het incidentgebied Mogelijkheden tot decontaminatie bij het incidentgebied inventariseren. Mobiele decontaminatie-units (ontsmettingsstraten) zijn aanwezig bij de veiligheidsregio's en kunnen ongeveer 60 personen per uur decontamineren.	Vuile bom
Kennis van hulpverleners Het is belangrijk dat het medisch personeel een basale kennis heeft van radioactiviteit en ioniserende straling en de risico's van de behandeling van stralingsslachtoffers. Dit is nodig om ongerustheid en angst vanwege onwetendheid te voorkomen. De informatie in Bijlage 1 en 2 in dit document kan hiervoor als basis dienen. In ieder geval kan in opleidingen/trainingen voor de respons op radiologische incidenten het volgende worden gecommuniceerd ten aanzien van de risico's: – Uitwendige besmettingen zijn niet direct levensbedreigend voor het slachtoffer en bij gebruik van beschermingsmaatregelen zoals bij infectiepreventie is er nauwelijks risico voor de hulpverlener:	Vuile bom en verborgen bron

decontaminatie hoeft pas plaats te vinden na stabilisatie van een instabiele patiënt! Let op: de besmette patiënt kan wél de ambulance en ziekenhuislocatie besmetten met radioactief materiaal. – Inwendig besmette patiënten vormen voor omstanders vrijwel nooit een gevaar voor besmetting. Zelfs in het extreme geval van de polonium-210-vergiftiging van Alexander Litvinenko raakten verplegers en familieleden aan zijn ziekbed niet of nauwelijks besmet met radioactief materiaal (ondanks dat vier weken lang niet duidelijk was dat er radioactief materiaal in het spel was). – Na alleen uitwendige bestraling van een slachtoffer in het rampgebied (geen contact met het radioactief materiaal zelf) is er geen gevaar voor de hulpverleners. Het slachtoffer zendt geen straling uit (is geen secundaire bron). – Stralingsdosis in perspectief. Achtergrondstraling: 2,5 mSv/jaar. Stralingsziekte: vanaf 500-1000 mSv.	
<u>Nuttige informatie over voorbereiding</u> Er is – ter voorbereiding – veel informatie te vinden over het omgaan met radiologische incidenten in de volgende bronnen: – TMT Handbook(4) – Protocol decontaminatie van de GHOR(5) – Leidraad CBRN(6) – Radiologisch handboek hulpverleningsdiensten(7) – IAEA document 'Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency'(8) – Radiation Event Medical Management (REMM) website(10)	Vuile bom en verborgen bron

Benodigde expertise in ziekenhuis
Ziekenhuizen met een afdeling nucleaire geneeskunde en/of radiotherapie kunnen stralingsslachtoffers behandelen.

Tabel 4. Benodigde expertise in ziekenhuis

Expertise	Incident	Opmerkingen
- Traumaopvang	Vuile bom	Mogelijk ernstig gewonden door de explosie.
- Besmettingscontrole en mogelijkheid tot decontaminatie	Vuile bom	Het is belangrijk dat het ziekenhuis is voorbereid op de ontvangst van (grote aantallen) slachtoffers die mogelijk uitwendig zijn besmet met radioactief materiaal en dus moeten worden gedecontamineerd. Zelfs als de brandweer in de buurt van het rampgebied een decontaminatie-unit (ontsmettingsstraat) opstelt, is het mogelijk dat slachtoffers zelf buiten deze decontaminatieprocedure om het ziekenhuis bezoeken voor behandeling (zelfverwijzers). Daarnaast zullen gewonden in levensgevaar (T1) en waarschijnlijk ook ernstig gewonden (T2) zonder te zijn gedecontamineerd

	Verborgen bron	bij het ziekenhuis worden gepresenteerd. Om verspreiding van radioactief materiaal te voorkomen zal bij het ziekenhuis daarom controle op uitwendige besmetting en zo nodig decontaminatie mogelijk moeten zijn. Decontaminatie na blootstelling aan een intacte radioactieve bron is niet nodig, aangezien in dit geval geen uitwendige besmetting optreedt.
- Behandeling inwendige besmetting	Vuile bom Verborgen bron	Behandeling op afdeling nucleaire geneeskunde. In geval van blootstelling aan een verborgen (intacte) bron (RED) zal inwendige besmetting met radioactief materiaal niet plaatsvinden.
- Stralings beschermings dienst	Vuile bom en verborgen bron	In geval van een incident met een vuile bom kan de stralingsbeschermingsdienst de besmettingscontrole voor en na decontaminatie uitvoeren (of hierover instructie geven) en persoonlijke dosimeters voor ziekenhuispersoneel verzorgen. De stralingsbeschermingsdienst kan eveneens uitleg geven aan het medisch personeel. Het is belangrijk dat het medisch personeel een basale kennis heeft van radioactiviteit en ioniserende straling en de risico's van de behandeling van stralingsslachtoffers. Dit is nodig om ongerustheid en angst vanwege onwetendheid te voorkomen. De informatie in Bijlage 1 en Bijlage 2 in dit document kan hiervoor als basis dienen.

Nuttige informatie over voorbereiding van ziekenhuizen
Voor ziekenhuizen is het vooral belangrijk om zich voor te bereiden op de ontvangst van mogelijk met radioactief materiaal besmette slachtoffers. Dit kan bestaan uit het opzetten van een complete decontaminatie-unit of het provisorisch inrichten van een inpandige ruimte/ambulancesluis ten tijde van een incident zoals besproken in de Leidraad CBRN.[6] Er moet worden voorkomen dat verspreiding van radioactief materiaal naar hulpverleners en de ziekenhuisomgeving plaatsvindt. Zie voor informatie over de voorbereiding van ziekenhuizen eveneens de bronnen die staan vermeld in Tabel 3.

8 Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (NVIC)

Het NVIC is als onderdeel van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) gespecialiseerd in het uitvoeren van snelle risicoanalyses van mogelijke gezondheidseffecten bij mens en dier na blootstelling aan lichaamsvreemde stoffen en aan ioniserende straling.

De informatieverstrekking en advisering die hieruit voortvloeit, wordt zowel aangewend ten behoeve van individuele patiënten als voor groepen mensen in geval van calamiteiten. Primair – om de omvang van de calamiteit te beperken – worden de overheidsinstanties die verantwoordelijk zijn voor de bescherming van de volksgezondheid geïnformeerd en geadviseerd over de aard en gevaren van de blootstelling en de maatregelen die genomen kunnen worden om gezondheidschade te voorkomen of te beperken.

Het NVIC is ingebed in verschillende calamiteitenstructuren zoals het Beleidsondersteunend Team Milieu Incidenten (BOT-mi) bij chemische incidenten. In geval van calamiteiten waarbij radioactiviteit een rol speelt fungeert het NVIC als steuncentrum voor het Back Office Geneeskundige Informatie (BOGI), onderdeel van de Eenheid Planning en Advies nucleair (EPAn).

Het RIVM/NVIC is verantwoordelijk voor het verstrekken van advies over:
- schuilen/evacuatie;
- jodiumprofylaxe (inclusief bewaar- en gebruiksadvies);
- ontsmetting van blootgestelde personen;
- algemene behandeling met betrekking tot blootstelling aan ioniserende straling;
- nuclide specifieke behandelingen.

Het NVIC is eveneens 24 uur per dag beschikbaar in geval van medische vragen naar aanleiding van kleinere incidenten met radioactieve stoffen, bijvoorbeeld de accidentele blootstelling van enkele personen bij een bedrijfsongeval in een radionuclidenlaboratorium.

Contactinformatie:
NVIC noodnummer: 030 274 88 88
E-mail: nvic@rivm.nl

9 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 met een groot academisch ziekenhuis, een militair ziekenhuis, een traumacentrum en het Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (NVIC) biedt niet alleen de infrastructuur, maar ook de benodigde expertise.

De inzet van het Calamiteitenhospitaal kan bij aanvang van het incident worden overlegd door contact op te nemen met het Calamiteitenhospitaal. Zie voor meer informatie over het Calamiteitenhospitaal en voor de contactinformatie: http://www.umcutrecht.nl/subsite/Calamiteitenhospitaal/

Literatuur

1. Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding (NPK)
   Ministerie van VROM
   Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21015, nr. 3
   VROM 90044/2-89, 1174/26
   1988
2. Leidraad Kernongevallenbestrijding
   Ministerie van VROM, Ministerie van BZK
   2004
   http://www.vrom.nl/get.asp?file=docs/publicaties/milieu4162.pdf&dn=4162&b=vrom
   (geraadpleegd 21 juli 2010)
3. Responsplan Nationaal Plan Kernongevallenbestrijding
   Ministerie van VROM
   2009
4. TMT Handbook - Triage, Monitoring and Treatment of people exposed to ionising radiation following a malevolent act
   Carlos Rojas-Palma, Astrid Liland, Ane Naess Jerstad, George Etherington, María del Rosario Pérez, Tua Rahola, Karen Smith, editors
   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
   http://www.tmthandbook.org (geraadpleegd 21 juli 2010)
5. Protocol decontaminatie
   GHOR rapport R040512-V1.1
   GHOR Rotterdam-Rijnmond
   2006
   http://www.vr-rr.nl/eCache/DEF/3/715.pdf (geraadpleegd 21 juli 2010)
6. Leidraad CBRN
   Academisch Medisch Centrum (Amsterdam), Erasmus MC (Rotterdam), Sint Elisabeth Ziekenhuis (Tilburg)
   2009
   http://www.zonmw.nl/fileadmin/cm/kwaliteit_en_doelmatigheid/documenten/Rampenopvang_ziekenhuizen/producten/cbrn-digitaal1.pdf (geraadpleegd 21 juli 2010)
7. Radiologisch handboek hulpverleningsdiensten
   Ministerie van VROM, Ministerie van BZK
   RIVM in samenwerking met NRG en Erasmus MC
   2004
   http://www.rivm.nl/milieuportaal/images/2007_Deel%20III%20specialisten%20van%20brandweer%20en%20GHOR.pdf (geraadpleegd 21 juli 2010)
8. Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency
   International Atomic Energy Agency (IAEA)
   2005
   http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/EPR-MEDICAL-2005_web.pdf
   (geraadpleegd 21 juli 2010)

9 Basisleerstof GHOR
Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid (Nibra)
2008
http://www.nifv.nl/web/show/file/id=67728/filename=GHOR_v3.pdf/page=46201
(geraadpleegd 21 juli 2010)
10 Radiation Emergency Medical Management (REMM) website
Guidance on Diagnosis & Treatment for Health Care Providers
U.S. Department of Health & Human Services
http://www.remm.nlm.gov (geraadpleegd 21 juli 2010)
11 Praktische stralingshygiëne
G. Brouwer, J. van den Eijnde
Bohn Stafleu Van Loghum
Houten/Diegem 2000
12 Inleiding tot de stralingshygiëne
A.J.J Bos, F.S. Draaisma, W.J.C. Okx, C.E. Rasmussen
Elsevier Gezondheidszorg
Maarssen 2000

Lijst van bijlagen

Bijlage 1: Achtergrondinformatie over radioactiviteit en ioniserende straling

Bijlage 2: Soorten blootstelling na radiologische incidenten

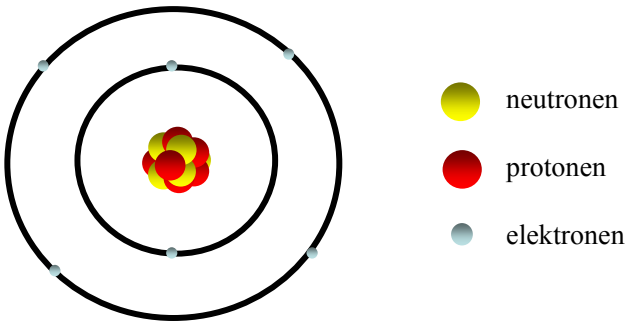
Bijlage 3: Achtergrondinformatie bij het vuile bomscenario

Bijlage 1 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'[11] en 'Inleiding tot de stralingshygiëne'.[12] Nuttige achtergrondinformatie kan eveneens worden gevonden op de REMM-website[10] en in het Radiologisch handboek hulpverleningsdiensten.[7]

Radionucliden
Een atoom is opgebouwd uit een positief geladen kern met daaromheen een aantal negatief geladen elektronen (zie Figuur 4). 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 4. Opbouw van een atoom
Afbeeldingen afkomstig van: http://www.remm.nlm.gov/

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 actieve kernen van het betreffende nuclide te halveren is voor een bepaald nuclide constant en wordt de halveringstijd of halfwaardetijd genoemd (T½). 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 vanwege 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.

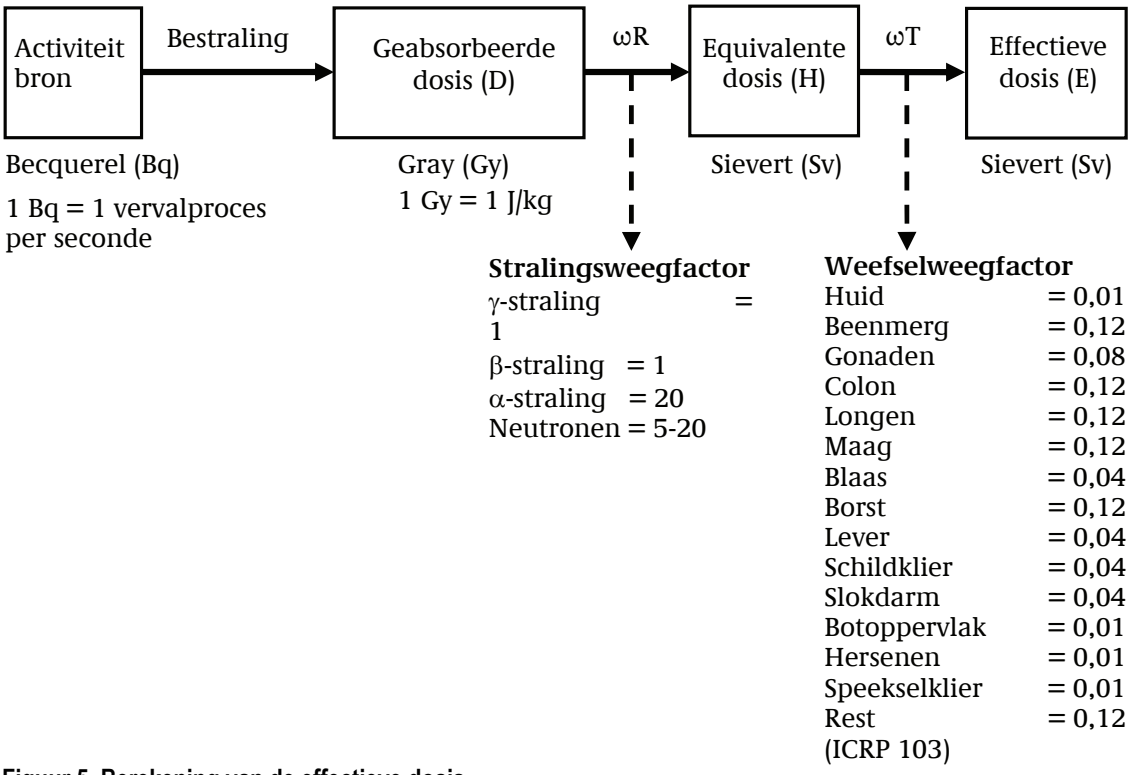
Geabsorbeerde dosis (D)

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 stralingsschade. Het aantal ionisaties is evenredig aan de overgedragen stralingsenergie. De geabsorbeerde stralingsenergie per massa-eenheid wordt de geabsorbeerde dosis (D) genoemd (zie Figuur 5). Als eenheid wordt de gray (Gy) gebruikt. 1 Gy = 1 J/kg. De grootheid is gedefinieerd voor materie.

Deze zuiver fysische grootheid 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 stralingsweegfactor (ωR), waarmee het relatieve biologische effect van de stralingssoort in rekening wordt gebracht (zie Figuur 5). De equivalente dosis is gedefinieerd voor een orgaan of weefsel. Voor fotonen en elektronen (bètadeeltjes) is de weegfactor 1, voor neutronen hangt deze af van de energie van de neutronen (weegfactor 5 tot 20) en voor alfadeeltjes is deze 20. Dit heeft ermee 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 grootheid 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 (in Gy) x ωR = H (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 (zie Figuur 5). 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 (ωT). 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) x ωT = E (in Sv). Bij bestraling van het gehele lichaam is de equivalente dosis gelijk aan de effectieve dosis omdat de weefselweegfactor 1 is.



Figuur 5. Berekening van de effectieve dosis

Limieten en referentieniveaus
In Tabel 5 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 (2,5 mSv/jaar) en de opgelopen doses na enkele radiodiagnostische onderzoeken opgenomen (bijvoorbeeld het maken van 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.

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.

Stralingsziekte
Het optreden van stralingsziekte is een deterministisch effect. Stralingsziekte kan ontstaan na het ontvangen van een 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 bij incidenten met radioactieve bronnen voor sterilisatie van voedsel. Zie voor een korte beschrijving van stralingsziekte Bijlage 2.

Tabel 5. Limieten en referentieniveaus

	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). **Bevolkingsgemiddelde**	 **< 1 mSv** **1-10 mSv** **> 10 mSv** **0,5 mSv/jaar**
Natuurlijke achtergrondstraling in Nederland (vanuit bodem en kosmos)	**2,4 mSv/jaar**
Belasting van gemiddelde Nederlander (achtergrondstraling en kunstmatige stralingsbelasting waaronder medische toepassing).	**2,5 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**
IN GEVAL VAN CALAMITEIT	
Limiet voor hulpverleners (kernongeval) **Levensreddend werk;** **Redden materiële belangen;** **Ondersteuning.**	 **750 mSv** **250 mSv** **100 mSv**
Limiet regulier brandweer optreden	**25 µSv/uur**

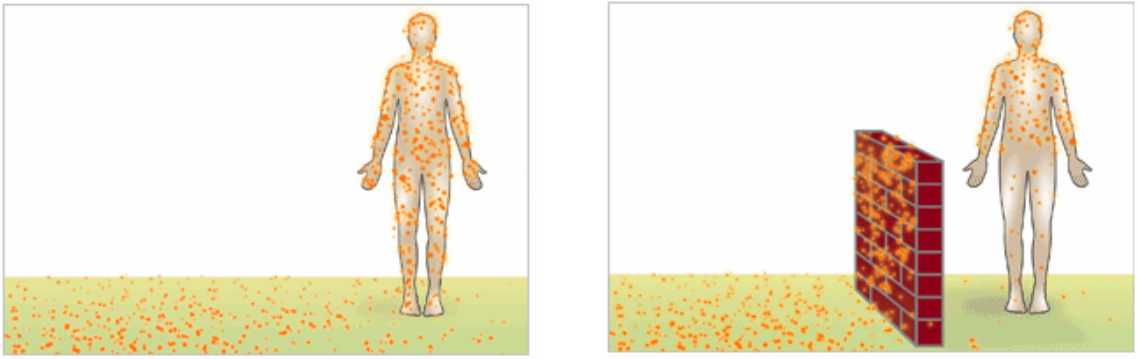
Bijlage 2 Soorten blootstelling na radiologische incidenten

In onderstaand overzicht wordt uitleg gegeven over de volgende blootstellingen:
- levensbedreigend trauma;
- uitwendige besmetting;
- inwendige besmetting;
- externe bestraling;
- acute stralingsziekte;
- lokale stralingsschade.

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). Uitwendige besmettingen zijn niet direct levensbedreigend voor het slachtoffer en slechts een gering risico voor de hulpverlener (bij gebruik van de normale beschermingsmaatregelen zoals latex handschoenen en werkkleding): decontaminatie mag pas plaatsvinden na stabilisatie van een instabiele patiënt! Wel moet zo veel mogelijk worden voorkomen dat het radioactief materiaal zich verspreid en dat hulpverleners en de omgeving (bijvoorbeeld het ziekenhuis) besmet raken.

Uitwendige besmetting
Uitwendige besmetting vindt plaats wanneer het radioactief materiaal op de huid of in de ogen terecht is gekomen (zie Figuur 6). De blootstelling aan ioniserende straling duurt mogelijk langer omdat de besmetting wordt meegedragen. Bij de hulpverlening moet erop gelet worden dat de besmetting niet verspreid wordt naar onbesmette delen van het slachtoffers lichaam, naar de hulpverleners zelf of naar de omgeving. Decontaminatie van de besmette lichaamsdelen is noodzakelijk, waarbij wondbesmettingen specifieke aandacht vereisen.

Na uitwendige besmetting met radioactieve stoffen zijn meestal geen directe levensbedreigende situaties te verwachten, zeker niet als het slachtoffer zich ontdoet van besmette kleding en wordt gewassen/gedoucht. Een ernstige blootstelling aan ioniserende straling en het optreden van stralingsziekte zijn niet te verwachten.

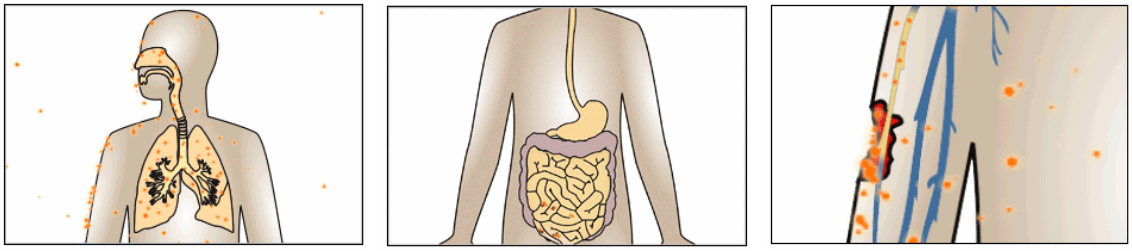


Figuur 6. Uitwendige besmetting
Afbeeldingen afkomstig van: http://www.remm.nlm.gov/

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 (zie Figuur 7). Het radionuclide zal zich gedeeltelijk in het lichaam nestelen en na een eenmalige inname wordt het slachtoffer dus gedurende langere tijd intern bestraald. Het hangt van de doordringendheid van de straling (het soort straling) af of deze besmetting buiten het lichaam meetbaar is en of de patiënt 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.

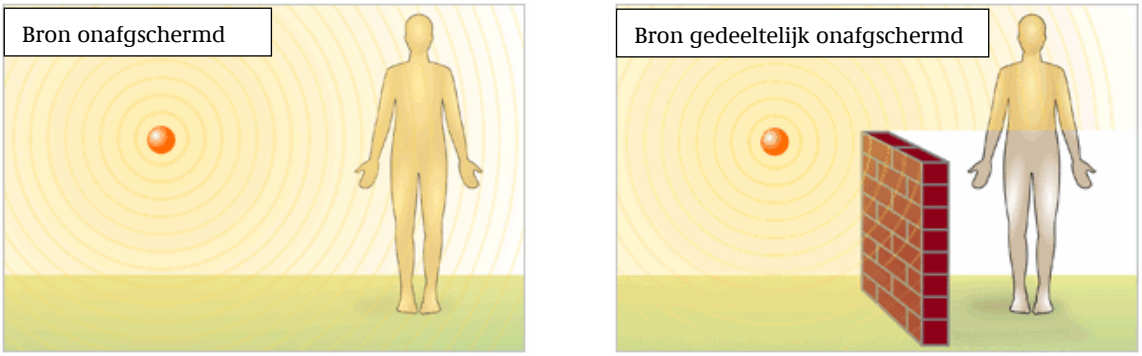
Na inwendige besmetting met radioactieve stoffen ontstaat stralingsziekte alleen in zeer zeldzame gevallen. De vergiftiging van Litvinenko, die een zeer hoge dosis polonium-210 moedwillig kreeg toegediend, is zeer uitzonderlijk.

Inwendig besmette patiënten zijn voor omstanders ook vrijwel nooit een gevaar voor besmetting. Het radioactief materiaal kan alleen worden verspreid via lichaamsvloeistoffen. 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 4 weken zelfs niet duidelijk was dat er radioactief materiaal in het spel was).



Figuur 7. Inwendige besmetting
Afbeeldingen afkomstig van: http://www.remm.nlm.gov/

Externe bestraling
Bij externe bestraling komt het radioactief materiaal niet in aanraking met het lichaam (zie Figuur 8). 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. Het slachtoffer zendt geen straling uit (is dus geen secundaire bron) en vormt dan ook geen gevaar voor hulpverleners. Na hoge blootstelling kan acute stralingsziekte en/of lokale stralingsschade ontstaan (zie de afbeelding hieronder).



Figuur 8. Externe bestraling
Afbeeldingen afkomstig van: http://www.remm.nlm.gov/

Acute stralingsziekte
Stralingsziekte kan ontstaan na het ontvangen van een zeer hoge stralingsdosis (zie Tabel 6). 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 na een zeer hoge blootstelling kunnen een aantal fasen en een aantal syndromen (kenmerkende ziektebeelden) met bijbehorende symptomen worden onderscheiden:

- 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 enkele maanden duren.

Tabel 6. Kenmerkende syndromen in geval van stralingsziekte na het ontvangen van een zeer hoge dosis

Dosis na bestraling gehele lichaam (Gy)	Effect
0,25 - 0,3	Tijdelijke vermindering van het aantal witte bloedcellen. Geen ziekteverschijnselen.
> 0,5-1	*Beenmergsyndroom* 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 erytrocyten 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.
10	*Maagdarmsyndroom* 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.
50	*Centraal zenuwstelselsyndroom* 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.

- 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 langdurig 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 lichte 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.
- Herstel duurt maanden tot jaren.

Bijlage 3 Achtergrondinformatie bij het vuile bomscenario

Een vuile bom is een conventioneel explosief dat bij ontploffing radioactief materiaal verspreid. Hierbij moet worden gedacht aan gebruik van radioactief materiaal dat straling met een hoog doordringend vermogen uitzendt (gammastraling). Welk radionuclide is gebruikt zal bij een incident niet direct duidelijk zijn, maar zal door metingen kunnen worden vastgesteld.

Levensbedreigend trauma
Mogelijk levensbedreigend trauma is te verwachten door de explosie zelf en niet door de blootstelling aan het verspreide radioactieve materiaal.

Uitwendige besmetting
Uitwendige besmetting met radioactief materiaal van lichaam en kleding van een grote groep mensen in de buurt van de explosie is te verwachten. Na uitwendige besmetting met radioactieve stoffen zijn geen direct levensbedreigende situaties te verwachten voor de persoon zelf en het risico voor de hulpverleners is gering bij gebruik van beschermingsmaatregelen zoals bij infectiepreventie. Decontaminatie is belangrijk om verdere blootstelling aan ioniserende straling en verspreiding van het radioactieve materiaal te voorkomen.

Het optreden van stralingsziekte na uitwendige besmetting is niet waarschijnlijk. Lokale stralingsschade is eveneens niet te verwachten wanneer decontaminatie is uitgevoerd. Extra aandacht is vereist wanneer scherven of splinters van de radioactieve bron door de explosie in de huid terecht zijn gekomen (lokale stralingsschade).

Inwendige besmetting
Inwendige besmetting kan voornamelijk plaatsvinden door inademing van radioactief materiaal of via besmetting van wonden (mogelijk veroorzaakt door de explosie). Ingestie door bijvoorbeeld contact met besmette vingers is ook mogelijk.

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.

De opgelopen stralingsdosis door inwendige besmetting zal over het algemeen laag zijn (niet voldoende voor het ontwikkelen van stralingsziekte). Extra aandacht in geval van besmettingen van wonden en zeer uitgebreide uitwendige besmetting van bovenlichaam. Na inwendige besmetting is specifieke behandeling noodzakelijk.

Externe bestraling
Externe bestraling door verspreid radioactief materiaal (dat als stof is neergeslagen) kan plaatsvinden, maar zal beperkt zijn. 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 externe bestraling en hierdoor een hoge stralingsdosis wordt voorkomen.

Samenvatting

Samengevat moet in geval van een incident met een vuile bom rekening worden gehouden met slachtoffers met mogelijk ernstig (conventioneel) trauma in combinatie met besmetting aan radioactief materiaal. Een hoge stralingsdosis door uitwendige en/of inwendige besmetting en externe bestraling is over het algemeen niet te verwachten. Extra aandacht is vereist wanneer scherven of splinters van de radioactieve bron door de explosie in de huid terecht zijn gekomen (lokale stralingsschade).

Maatregelen zijn gericht op behandeling van trauma, decontaminatie van uitwendige besmetting en eventueel specifieke behandeling na inwendige besmetting.

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl