

rivm

Rapport 620850001/2010

S. Bader

Leidraad risicoanalyse stralingstoepassingen

RIVM Rapport 620850001/2010

Leidraad risicoanalyse stralingstoepassingen

S. Bader

Contact:

S. Bader

Laboratorium voor Stralingsonderzoek

Sam.Bader@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, in het kader van het project SZW-REIS.

© 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'.

De oorspronkelijke omslag van dit rapport bevatte een illustratie. Deze versie van het rapport heeft een neutrale omslag. Inhoudelijk zijn de twee rapportversies identiek.

Rapport in het kort

Leidraad risicoanalyse stralingstoepassingen

Het RIVM heeft een leidraad ontwikkeld waarmee een risicoanalyse kan worden uitgevoerd voor het werken met ioniserende straling. Aanleiding is een signaal van de Arbeidsinspectie dat deze risicoanalyses die bij wet verplicht zijn, te weinig worden opgesteld. Dat komt doordat stralingsdeskundigen vaak niet weten hoe ze zoiets aan moeten pakken. Dit is zorgelijk, omdat de risicoanalyse ten grondslag ligt aan een goed begrip van de risico's van het werken met straling. Gebruik van de leidraad draagt bij aan een betere veiligheid van werknemers.

De Nederlandse wet verplicht ondernemers om voorafgaand aan een handeling met ioniserende straling een risicoanalyse uit te laten voeren. Enkele voorbeelden van dat soort handelingen zijn de controle van lasnaden in gasleidingen met gammabronnen en het maken van een röntgenfoto door een dierenarts.

De leidraad, ontwikkeld in opdracht van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, is een eerste handvat waarin de belangrijkste stappen voor een risicoanalyse staan beschreven. Van de relevante branches en beroepsgroepen wordt verwacht dat deze stappen worden uitgewerkt en toegespitst op de omstandigheden van hun werkzaamheden.

Trefwoorden

risicoanalyse, straling, risico-evaluatie, kwaliteitssystemen, incidenten

Abstract

Risk analysis guideline for working with radiation

The RIVM has developed a guideline for carrying out ionizing radiation risk analyses. Dutch law requires that radiation risk analyses be carried out, but the Dutch Labour Inspectorate has signalled that compliance is low, primarily because many health physicists lack the necessary knowledge. Noncompliance is a reason for concern, as the risk analysis provides the basis for a proper understanding of the risks of working with radiation. Worker safety is enhanced when the guideline is followed.

Dutch law dictates that a risk analysis must be carried out before any individual starts working with radiation. Examples of activities falling under the auspices of this law are the detection of welding defects in gas pipes and the taking of X-rays by veterinarians.

The guideline, which was commissioned by the Dutch Ministry of Social Affairs and Employment, is a roadmap in which the most important steps for performing a risk analysis are described. Those responsible for radiation worker safety are expected to modify and apply these guidelines to the specific working conditions of their respective professional groups.

Key words: risk analysis, ionising radiation, risk evaluation, quality management systems, radiation incidents,

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Doelstelling	9
1.3 Afbakening	10
1.4 Werkwijze	10
1.5 Leeswijzer	10
2 Stappenplan leidraad risicoanalyse	11
2.1 Algemeen	11
2.2 Terminologie	11
2.3 Stappenplan	13
3 Achtergrond risicoanalyse	17
3.1 Algemeen	17
3.2 Risico-identificatie	17
3.2.1 Partijen bij de risicoanalyse	17
3.2.2 Bijzondere handelingen	17
3.2.3 Reguliere en potentiële blootstelling	18
3.2.4 Maatregelen	19
3.3 Risicoberekening	19
3.3.1 Rekenregels dosis bij voorziene blootstelling	19
3.3.2 Verkorte risicoanalyse	20
3.3.3 Rekenregels risico's van voorziene onbedoelde gebeurtenissen	20
3.4 Risico-evaluatie	22
3.4.1 Indeling werknemers	23
3.4.2 Indeling zones	24
3.4.3 ALARA	24
3.5 Verbeterplan	25
3.6 Periodieke evaluatie	25
4 Conclusie	27
Bijlage A	29
Bijlage B	44
Dankwoord	46
Literatuur	47

Samenvatting

Artikel 10 van het Besluit Stralingsbescherming verplicht ondernemers om voorafgaand aan een handeling met ioniserende straling een risicoanalyse uit te laten voeren. De Arbeidsinspectie heeft aangegeven dat bij veel bedrijven en instellingen de risicoanalyse ontbreekt of onvoldoende is uitgewerkt. Het sterke vermoeden bestaat dat dit komt omdat stralingsdeskundigen vaak niet weten hoe ze een dergelijke risicoanalyse moeten uitvoeren. Dit is zorgelijk te noemen, omdat de risicoanalyse niet alleen als basis dient voor de indeling van werknemers en een formele verplichting is, maar tevens de werkgever en de werknemer bewust moet maken van de risico's van het werken met ioniserende straling.

Naar aanleiding van deze bevindingen heeft het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid aan het RIVM gevraagd een leidraad te schrijven voor het uitvoeren van een risicoanalyse voor stralingstoepassingen. Dit rapport bevat een beschrijving van deze leidraad en zal worden gevolgd door een brochure waarmee de leidraad breder kan worden verspreid onder Nederlandse stralingsdeskundigen.

De leidraad geldt als handvat voor het uitvoeren van een risicoanalyse door een stralingsdeskundige en moet niet worden beschouwd als een richtlijn die eventuele bestaande risicoanalysemethoden vervangt. Voor afzonderlijke beroepsgroepen verdient het aanbeveling de leidraad specifiek in te richten. Hieraan zal de komende jaren gewerkt moeten worden.

In de leidraad is gekozen voor een indeling op basis van drie stappen: een risico-identificatie, een risicoberekening en een risico-evaluatie. Het rapport loopt deze stappen langs en gaat, waar nodig, dieper in op bepaalde aspecten ervan. Met enkele voorbeelden wordt de werking van de leidraad ten slotte geïllustreerd.

Met deze leidraad zullen stralingsdeskundigen beter in staat zijn de blootstelling en de risico's van het werken met straling vast te stellen. Dit zorgt ervoor dat de juiste maatregelen kunnen worden getroffen om de veiligheid van de werknemer te waarborgen.

1 Inleiding

Om het risico van blootstelling aan ioniserende straling voor werknemers te beperken dient voorafgaand aan werkzaamheden en handelingen met ioniserende straling een risicoanalyse te worden uitgevoerd. De risicoanalyse ligt ten grondslag aan de indeling van werknemers, maar is ook de basis van het stralingshygiënisch zorgsysteem. Dit document biedt een generieke leidraad voor een dergelijke risicoanalyse voor stralingstoepassingen. In deze introductie komen eerst de achtergrond en doelstelling van de leidraad aan bod.

1.1 Achtergrond

In artikel 10 van het Besluit Stralingsbescherming [1] staat vermeld:

‘de ondernemer zorgt ervoor dat door of onder toezicht van een deskundige, [] de plannen voor handelingen voorafgaand aan de uitvoering ervan kritisch worden bestudeerd, de risico’s ervan geïnventariseerd en geëvalueerd en toestemming verleend, voordat met de handeling wordt aangevangen.’

Dit wordt in de toelichting verder gespecificeerd:

‘met de [] <<kritische bestudering>> van de plannen, wordt bedoeld dat nagegaan wordt wat de risico’s zijn van de handeling of werkzaamheid en welke maatregelen daartegen moeten worden genomen. Dit naar analogie van de in de Arbowet genoemde risico-inventarisatie en -evaluatie en de risicobenadering voor de milieubelasting. Bij deze beoordeling wordt ook een inschatting gemaakt van de verwachte dosis ten gevolge van de blootstelling van werknemers en van de mogelijke incidentsituaties.’

Van 2002 tot 2006 heeft de Arbeidsinspectie een aantal inspectieprojecten uitgevoerd om de naleving van het Besluit Stralingsbescherming te controleren. Naast onderwerpen als deskundigheid, onderhoud en voorlichting is gekeken naar de uitvoering van de risicoanalyse zoals gespecificeerd in bovenstaand artikel en toelichting. De conclusie van de Arbeidsinspectie luidde dat de risicoanalyse nog lang niet is ingeburgerd: dat het nalevingsniveau van artikel 10 lid 1 uit het Besluit Stralingsbescherming onvoldoende is.

De indruk bestaat dat voor veel stralingsdeskundigen onduidelijk is hoe zij een risicoanalyse op moeten zetten. Dit blijkt onder meer uit het gegeven dat in de gevallen waar wel een risicoanalyse is opgesteld, dit veelal door de leverancier of een ingehuurde organisatie is uitgevoerd [2].

Vanuit het oogpunt van werknemersbescherming is dit een zorgelijke situatie, omdat de risicoanalyse de werkgever bewust moet maken van de risico’s en de basis is voor een goed stralingshygiënisch zorgsysteem.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit rapport is de presentatie van de leidraad risicoanalyse ioniserende stralingstoepassingen. Deze biedt een handvat voor stralingsdeskundigen voor het uitvoeren van

een risicoanalyse conform artikel 10 uit het Besluit Stralingsbescherming. Door de risicoanalyse uit te voeren naar voorbeeld van de leidraad kan worden voldaan aan deze wettelijke verplichting.

Met behulp van een stappenplan kan antwoord worden gegeven op de essentiële vragen in een risicoanalyse, die betrekking hebben op zowel de reguliere als de potentiële blootstelling en het pakket van te nemen maatregelen.

De uitkomst van de risicoanalyse is bepalend voor het al dan niet indelen van de werknemers als blootgestelde werknemer, de indeling van ruimten en het kiezen van noodzakelijke additionele veiligheidsmaatregelen. Op basis van de risicoanalyse en de maatregelen die daaruit voortvloeien wordt de werkinstructie nader ingevuld.

1.3 Afbakening

De leidraad risicoanalyse stralingstoepassingen heeft betrekking op de risico's van beroepsmatige blootstelling aan ioniserende straling voor werknemers. De risicoanalyse wordt uitgevoerd voor de direct betrokken en de niet-direct betrokken werknemers, en niet voor patiënten en leden van de bevolking. Buiten het kader van deze leidraad vallen ook het transport van radioactieve stoffen en handelingen en werkzaamheden in de nucleaire industrie. Ook de gevolgen voor het milieu worden buiten beschouwing gelaten.

Een risicoanalyse hoort een verplicht onderdeel te zijn van een goed stralingshygiënisch zorgsysteem. De verdere inrichting van een dergelijk systeem valt buiten het bestek van dit document.

1.4 Werkwijze

Dit document is opgesteld door het RIVM in opdracht van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid in samenspraak met de Arbeidsinspectie. Hiervoor is een projectgroep opgericht met vertegenwoordigers van deze instanties. In het project is literatuuronderzoek uitgevoerd en zijn interviews afgenomen met mensen uit het werkveld. Bovendien is een klankbordgroep met stralingsdeskundigen ingesteld. Voor deze klankbordgroep is een plenaire bijeenkomst georganiseerd, en met een selectie uit deze groep zijn ten slotte aanvullende interviews gehouden om te komen tot een definitieve versie van de leidraad.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de leidraad risicoanalyse stralingstoepassingen gepresenteerd in de vorm van een stappenplan en bijbehorend stroomschema. Voor bepaalde detailsaspecten wordt in de leidraad verwezen naar onderdelen van hoofdstuk 3, waar deze punten verder worden uitgewerkt. Hoofdstuk 4 bevat de conclusies, en in de bijlagen van dit rapport worden enkele voorbeelden uitgewerkt en is een begrippenlijst opgenomen.

2 Stappenplan leidraad risicoanalyse

Dit hoofdstuk beschrijft de opzet van de leidraad risicoanalyse stralingstoepassingen. Het hier gepresenteerde stappenplan is een handreiking voor de stralingsdeskundige die een risicoanalyse gaat uitvoeren. Hiermee kunnen de risico's van het werken met straling systematische in kaart wordt gebracht. Voor het stappenplan is globaal de indeling gevolgd van ISO 31000, de nieuwe ISO-norm voor risicomanagement. Op het moment van schrijven is deze norm nog niet officieel gepubliceerd. Informatie over deze norm is gehaald uit documenten [3] waarin een vooruitblik op de norm wordt gegeven.

In Figuur 1 is het stappenplan schematisch weergegeven. Voor meer detail over bepaalde onderdelen uit het stappenplan wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

2.1 Algemeen

In de norm ISO 31000 staat dat een volledige risico-inventarisatie en -evaluatie drie elementen bevat.

- A. Een beschrijving van de risicocontext - waarin bijvoorbeeld de gegevens en doelstellingen van het bedrijf worden vermeld.
- B. Een verslag van de risicoanalyse. De risicoanalyse bestaat zelf weer uit drie stappen:
 - Stap 1. Risico-identificatie;
 - Stap 2. Risicoberekening;
 - Stap 3. Risico-evaluatie.

In ISO 31000 wordt overigens gesproken over een risico-assessment, die uit de stappen risico-identificatie, risicoanalyse en risico-evaluatie bestaat. Om verwarring te voorkomen in de terminologie zijn deze termen voor dit rapport aangepast.

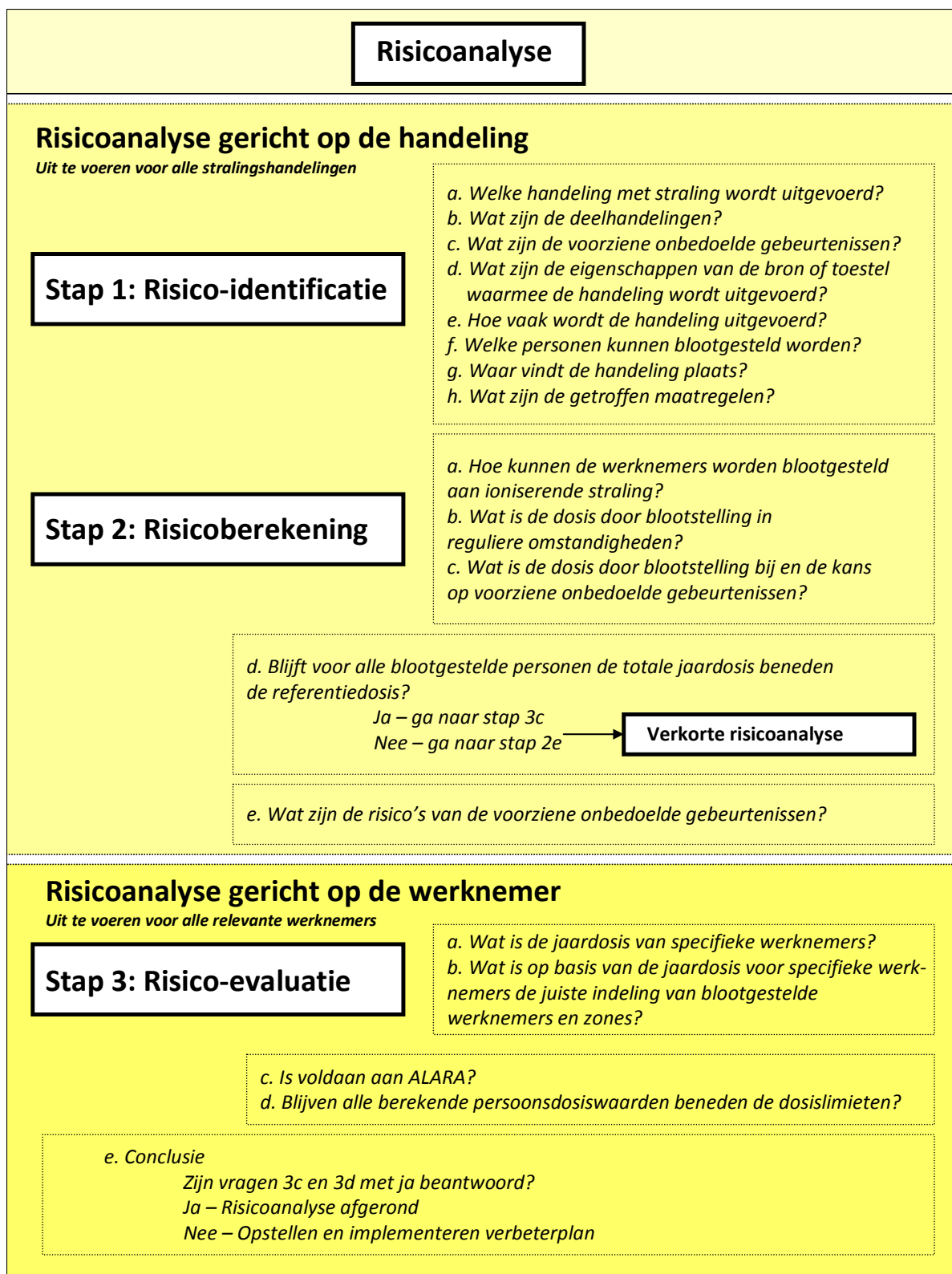
- C. Een verslag van de risicobehandeling - waarin een plan van aanpak wordt beschreven met de te nemen maatregelen die naar aanleiding van de risicoanalyse worden getroffen.

De leidraad risicoanalyse die in dit rapport wordt beschreven beperkt zich tot onderdeel B.

2.2 Terminologie

Risico en dosis

Het begrip risico kent strikt genomen een element van kans en een element van effect. Het wordt in dit rapport meestal in deze specifieke betekenis gebruikt, wanneer een gebeurtenis een kans en een effect heeft. Bij het dagelijkse gebruik van het begrip risico, zie ook het Van Dale Woordenboek [4], wordt het begrip daarentegen vaak met 'gevaar voor schade of verlies' geassocieerd. De risicoanalyse in dit document gaat daarom niet alleen over de analyse van onbedoelde gebeurtenissen - de kans hierop en de opgelopen dosis - maar ook over de analyse van de opgelopen dosis in normale werkomstandigheden.



Figuur 1. Stappenplan risicoanalyse stralingstoepassingen.

Handelingen

In de hele tekst wordt onder ‘handelingen’ verstaan: handelingen en werkzaamheden zoals bedoeld in het Besluit Stralingsbescherming. Een handeling kan zijn opgebouwd uit deelhandelingen of verrichtingen.

2.3 Stappenplan

Stap 1. Risico-identificatie

a. Welke handeling met straling wordt uitgevoerd?

In de risicoanalyse worden alle handelingen in kaart gebracht waarbij de werknemers kunnen worden blootgesteld aan ioniserende straling. Om de risico's van deze handelingen te bepalen wordt eerst per handeling een scenario opgesteld. Bij het inventariseren van de handelingen moet ook worden gedacht aan handelingen die buiten de dagelijkse praktijk vallen, zoals schoonmaak en installatie (zie paragraaf 3.1).

b. Welke deelhandelingen kunnen worden onderscheiden?

Een handeling is soms een complexe opeenvolging van deelhandelingen. Voor een geslaagde risicoanalyse is het nodig deze deelhandelingen te onderscheiden.

c. Wat zijn de voorziene onbedoelde gebeurtenissen?

Werknemers kunnen in normale bedrijfsomstandigheden blootgesteld worden aan ioniserende straling. Daarnaast kunnen zich door verschillende oorzaken onbedoelde gebeurtenissen voordoen - denk aan het op de grond vallen en breken van een reageerbuis: onbedoeld, maar men kan voorzien dat het bij, bijvoorbeeld, één op de honderd handelingen gebeurt.

Onbedoelde gebeurtenissen die voorzien kunnen worden, moeten worden meegenomen in de risicoanalyse. Onvoorziene onbedoelde gebeurtenissen vallen buiten het bestek van de risicoanalyse. Dit zijn meldingsplichtige stralingsincidenten. In paragraaf 3.2.3 wordt hier verder op ingegaan.

d. Wat zijn de eigenschappen van de bron of toestel waarmee de handeling wordt uitgevoerd?

Bijvoorbeeld: met welk type bron of toestel wordt de handeling uitgevoerd, wat is de activiteit of de maximale buisspanning en de soort straling die wordt uitgezonden?

e. Hoe vaak wordt de handeling uitgevoerd?

Als bij een handeling een dosis opgelopen kan worden moet worden bepaald hoe vaak deze handeling in een jaar wordt verricht om de jaardosis ten gevolge van deze handeling te kunnen bepalen.

f. Welke personen kunnen bij de handeling blootgesteld worden?

Belangrijk is om te onderkennen dat niet alleen de werknemers die direct betrokken zijn bij de handeling blootgesteld kunnen worden maar ook andere werknemers die zich in de buurt van de handeling bevinden - de niet-direct betrokken werknemers.

g. Waar vindt de handeling plaats?

Afhankelijk van de jaardosis die werknemers in een ruimte op kunnen lopen, zijn sommige ruimtes ingericht als bewaakte of gecontroleerde zone. De dosisgrenzen waarop deze indeling is gebaseerd, staan in paragraaf 3.4.2.

h. Wat zijn de getroffen maatregelen?

Bij handeling met ioniserende straling kunnen maatregelen getroffen zijn om de blootstelling te beperken. In paragraaf 3.2.4 staat opgesomd welke soorten maatregelen zijn te onderscheiden. Bij de risico-evaluatie wordt gekeken of met het genomen maatregelpakket wel in voldoende mate invulling is gegeven aan het principe van ALARA (As Low As Reasonably Achievable).

Stap 2. Risicoberekening

a. Hoe kunnen de werknemers worden blootgesteld aan ioniserende straling?

Ofwel: wat zijn de mogelijke blootstellingspaden? Voorbeelden zijn ingestie, inhalatie en externe straling.

b. Wat is de dosis door blootstelling ten gevolge van de handeling in reguliere omstandigheden?

c. Wat zijn de doses door blootstelling ten gevolge van en de kansen op voorkomen van de voorziene onbedoelde gebeurtenissen?

Om de dosis door blootstelling aan ioniserende straling in normale omstandigheden en bij voorziene onbedoelde gebeurtenissen te berekenen zijn rekenregels beschikbaar voor toestellen, open en ingekapselde bronnen. Bij de dosisberekeningen worden de totale effectieve dosis en/of equivalente dosis beschouwd. Indeling van werknemers en zones en toetsing aan dosislimieten gebeurt voor effectieve dosis en equivalente dosis afzonderlijk.

Om het risico van voorziene onbedoelde gebeurtenissen te kunnen kwantificeren is een schatting nodig van de kans of frequentie dat een gebeurtenis zich voordoet.

d. Blijft voor alle blootgestelde personen de totale jaardosis beneden de referentiedosis (100 microSv)?

In veel situaties is een volledig opgezette risicoanalyse niet nodig, als duidelijk is dat de jaardosis waar de medewerkers aan kunnen worden blootgesteld onder een referentiedosis blijft. Meestal gaat het om situaties waar slechts enkele mensen worden blootgesteld. In dat geval kan veel van het vervolg worden overgeslagen. De risicoanalyse wordt voortgezet bij Stap 3c. Als bovenstaande voorwaarde niet geldt, wordt wel een volledige risicoanalyse uitgevoerd.

e. Wat zijn de risico's van de voorziene onbedoelde gebeurtenissen?

De risico's - kans maal effect - van voorziene onbedoelde gebeurtenissen kunnen gekwantificeerd worden in risicogetallen. Er zijn verschillende methoden beschikbaar om dit aan te pakken. In paragraaf 3.3.3 wordt met de Fine-Kinneymethode een voorbeeld van een dergelijke methode gepresenteerd die als handvat kan worden gebruikt voor het kwantificeren van de risico's.

Stap 3. Risico-evaluatie

a. Wat is de jaardosis voor individuele werknemers?

In de risicoberekening zijn de doses berekend voor generieke werknemers die een handeling verrichten. Ten bate van de indeling van werknemers en zones moeten de jaardoses voor individuele werknemers worden vastgesteld.

b. Wat is op basis van de jaardosis voor individuele werknemers de juiste indeling blootgestelde werknemers en zone?

In artikelen 76 tot en met 79 in het Besluit Stralingsbescherming zijn dosisgrenzen gegeven voor werknemers enerzijds en blootgestelde (A- en B-)werknemers anderzijds. In het advies van de Gezondheidsraad uit 2008 [5] wordt voorgesteld een nieuwe categorie in te stellen, de zogeheten C-werknemer. De verschillende dosisgrenzen zijn weergegeven in Tabel 3 in paragraaf 3.4.

Door de totale berekende doses voor individuele werknemers te toetsen aan deze dosisgrenzen kan worden vastgesteld in welke categorie de werknemers moeten worden ingedeeld.

Voor de zonering van ruimtes gelden vergelijkbare regels als voor de classificatie van werknemers. In artikel 83 uit het Besluit Stralingsbescherming staat hoe de dosis die door een werknemer kan worden opgelopen ook leidt tot voorschriften voor de werkplekken. In Tabel 4 in paragraaf 3.4.2 is de indeling van zones weergegeven.

c. Is voldaan aan ALARA?

Voor zowel de doses als de risico's moet worden aangetoond dat deze zo laag als redelijkerwijs mogelijk zijn. De stand der techniek en wat gebruikelijk is in de bedrijfstak spelen hier een grote rol. Voor meer informatie, zie paragraaf 3.4.3.

d. Blijven alle berekende persoonsdosiswaarden beneden de dosislimieten?

De principes van het stralingsbeschermingsbeleid van de ICRP (International Commission on Radiological Protection) zijn: rechtvaardiging, optimalisatie en dosislimieten. Dosislimieten vervullen een vangnetfunctie: als het toepassen van rechtvaardiging en ALARA niet voldoende is om een bepaald niveau van bescherming te bereiken. De laatste stap van de risico-evaluatie is daarom altijd het toetsen van de berekende dosiswaarden aan de dosislimieten, ook al is eerder duidelijk geworden dat de dosislimieten niet worden overschreden.

e. Conclusie.

Als de vragen 3b en 3c met ja zijn beantwoord kan de risicoanalyse worden afgerond. Zo niet, dan moet een verbeterplan worden opgesteld en worden geïmplementeerd om de risico's en doses te

verlagen. Het stappenplan wordt vervolgens opnieuw doorlopen. De bevindingen van de risicoanalyse, met of zonder extra maatregelen, worden vastgelegd in een eindrapportage.

3 Achtergrond risicoanalyse

In hoofdstuk 2 is een stappenplan gepresenteerd waarmee een risicoanalyse straling uitgevoerd kan worden. In hoofdstuk 3 wordt voor verschillende onderdelen van dit stappenplan een nadere toelichting gegeven. De volgorde van de paragrafen is grofweg zoals de indeling van het stappenplan.

3.1 Algemeen

De risicoanalyse wordt eerst uitgevoerd voor alle handelingen. Hierbij wordt per handeling bepaald welke dosis *een* werknemer die deze handeling verricht, kan oplopen en welke dosis eventuele niet-direct betrokken werknemers kunnen oplopen die zich in de buurt van de plaats van handeling bevinden.

Vervolgens wordt bij de evaluatie vastgesteld welke gesommeerde dosis individuele werknemers kunnen oplopen, hetzij door hun directe betrokkenheid bij verschillende handelingen, hetzij door blootstelling aan straling bij handelingen waarbij ze niet-direct betrokken zijn. Op basis van de totale individuele jaardosiswaarden worden de werknemers dan ingedeeld.

3.2 Risico-identificatie

Deze paragraaf bevat nadere uitleg over onderdelen van de risico-identificatie: de fase in de risicoanalyse waarin de handelingen en de voorziene onbedoelde gebeurtenissen worden beschreven. Zo wordt onder meer stilgestaan bij de rolverdeling in de risicoanalyse en wordt een overzicht gegeven van soorten maatregelen die genomen kunnen worden.

3.2.1 Partijen bij de risicoanalyse

Bij het opstellen van de risicoanalyse zijn verschillende partijen betrokken.

- **Ondernemer** De ondernemer is verantwoordelijk voor de uitvoering van de risicoanalyse.
- **Stralingsdeskundige** De risicoanalyse wordt uitgevoerd door of onder toezicht van de stralingsdeskundige.
- **Direct betrokken werknemer** De risicoanalyse wordt uitgevoerd voor elke handeling met ioniserende straling. Bij de handeling zijn één of meer werknemers direct betrokken. Dit zijn in het algemeen de werknemers die de handeling verrichten. De risicoanalyse richt zich in eerste instantie op deze werknemers.
- **Niet-direct betrokken werknemer** Bij een handeling met ioniserende straling kunnen andere dan de *direct* betrokken werknemers worden blootgesteld aan ioniserende straling. Hier moet in de risicoanalyse rekening mee worden gehouden. Het gaat doorgaans om werknemers die zich in de ruimte bevinden waar de handeling wordt uitgevoerd. In bijzondere gevallen gaat het ook om werknemers in aanpalende ruimtes.

3.2.2 Bijzondere handelingen

Bij het opstellen van de risicoanalyse zal de nadruk liggen op de handelingen in normale omstandigheden en de voorziene onbedoelde gebeurtenissen die daarbij voor kunnen komen. Het

is belangrijk te onderkennen dat ook handelingen die niet zich in de gebruikelijke routine bevinden in de risicoanalyse moeten worden meegenomen.

Voorbeelden van deze bijzondere handelingen zijn:

- installatie;
- controle en afregeling;
- onderhoud en reparatie;
- schoonmaak van apparatuur of werkplekken;
- opslag en intern transport;
- ontmanteling.

Deze bijzondere handelingen kunnen ook uitgevoerd worden door gespecialiseerde bedrijven. Deze handelingen vinden dan plaats onder verantwoordelijkheid van het gespecialiseerde bedrijf, die daarvoor een eigen vergunning moet hebben. Verder dient het gespecialiseerde bedrijf daarvoor zelf een risicoanalyse te maken van de door zijn werknemers te verrichten specialistische handelingen.

3.2.3 **Reguliere en potentiële blootstelling**

Er worden in de leidraad de volgende situaties onderscheiden:

- normale werkomstandigheden,
- voorziene onbedoelde gebeurtenissen en
- stralingsincidenten.

De reguliere blootstelling is de blootstelling onder normale omstandigheden. De blootstelling door voorziene onbedoelde gebeurtenissen heet de potentiële blootstelling: dit is de blootstelling die niet met zekerheid zal optreden maar waarvan de waarschijnlijkheid van optreden en de bijbehorende dosis van tevoren kunnen worden geschat.

In ICRP 76 [6] worden vier belangrijke oorzaken van onbedoelde gebeurtenissen geïdentificeerd:

- een menselijke fout;
- systeemfalen - inclusief het systeem als 'procedure' of organisatie;
- materiaalfalen - breken, springen, exploderen;
- een externe gebeurtenis - bijvoorbeeld sabotage door de werknemer.

Dergelijke gebeurtenissen kunnen vaak in de vorm van een scenario worden beschreven. Een scenario moet wel reëel zijn. Een scenario dat vergezocht is, of waarvan de kans van voorkomen zeer klein is, wordt niet meegenomen in de risicoanalyse.

Buiten het bestek van de risicoanalyse vallen de stralingsincidenten. Een stralingsincident is een onvoorziene onbedoelde gebeurtenis. Met onvoorzien wordt hier bedoeld: niet vooraf in de risicoanalyse in kaart gebracht. Dit kan betekenen dat de gebeurtenis niet is voorzien of dat de dosis ten gevolge van de gebeurtenis hoger is dan voorzien in de risicoanalyse. In beide gevallen moet het stralingsincident worden gemeld aan de Arbeidsinspectie.

3.2.4 Maatregelen

Maatregelen zijn middelen die bij de werkplek, bron of anderszins worden ingezet om de dosis ten gevolge van blootstelling aan ioniserende straling of de kans daarop te beperken. Bij het nemen van maatregelen moet de arbeidshygiënische strategie worden gevolgd. Hierin komt eerst het beperken en afschermen van de bron aan bod. Als dit niet of onvoldoende mogelijk is, wordt naar de aanpassing van de werkplek en de beperking van de blootstellingstijd gekeken. Ten slotte komen de persoonlijke beschermingsmiddelen aan de orde.

Het Arbo-Informatieblad Ioniserende Straling [7] geeft een opsomming van maatregelen die genomen kunnen worden om blootstelling aan ioniserende straling te beperken.

3.3 Risicoberekening

De risicoberekening is de fase waarin de doses en de risico's worden berekend. In deze paragraaf worden rekenregels genoemd voor de berekening van doses en voor de analyse van risico's bij voorziene onbedoelde gebeurtenissen. Bovendien wordt hier uitgelegd in welke situaties een verkorte route door de risicoanalyse gekozen kan worden.

3.3.1 Rekenregels dosis bij voorziene blootstelling

De eerste stap in de risicoberekening is de bepaling van de dosis ten gevolge van een handeling met straling in reguliere omstandigheden en bij voorziene onbedoelde gebeurtenissen. Voor dosisberekeningen bestaan rekenregels; in de volgende paragrafen worden verwijzingen naar deze rekenregels gegeven. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen open bronnen, ingekapselde bronnen en toestellen.

3.3.1.1 Open bronnen

Een risicoberekening met open bronnen is in principe de meest complexe, gezien het feit dat alle blootstellingspaden mogelijk zijn. Een voorbeeld van een rekenmethode voor het werken met open bronnen is de in de jaren negentig ontwikkelde HARAS-methodiek [8]. Hierbij wordt de ontvangen dosis berekend door de activiteit en een dosiscoëfficiënt te vermenigvuldigen met een zogeheten transferfractie. Deze transferfractie geeft weer aan welk deel van de activiteit waarmee wordt gewerkt, de werknemer blootstaat. Voor diverse reguliere handelingen en onbedoelde gebeurtenissen zijn in de HARAS-studie transferfracties uitgerekend. In de HARAS-methodiek wordt geen rekening gehouden met externe straling van open bronnen.

3.3.1.2 Ingekapselde bronnen

Ingekapselde bronnen vormen een tussencategorie tussen radioactieve stoffen en toestellen. Het belangrijkste blootstellingspad is externe straling. In tegenstelling tot een toestel kan een ingekapselde bron niet worden uitgezet. Ook als de bron niet wordt gebruikt, kan zij een risico voor de werknemer vormen.

De berekening van de dosis in reguliere omstandigheden bij ingekapselde bronnen is meestal niet erg complex. Als de ingekapselde bronnen zijn ingebouwd in een apparaat of bronhouder, geeft de fabrikant in de handleiding vaak de informatie ten behoeve van de dosisberekeningen. In situaties waar deze informatie ontbreekt, is het effectieve dosistempo door externe bestraling van een ingekapselde bron te berekenen via standaardformules, zoals te vinden zijn in het handboek Inleiding tot de Stralingshygiëne [9].

3.3.1.3 Toestellen

Bij toestellen zorgt alleen de externe straling voor blootstelling. Bovendien geldt meestal dat de blootstelling nul is wanneer het apparaat uit staat. Gegevens over het dosistempoprofiel van een toestel staan vaak vermeld in de handleiding of specificatie van het toestel, evenals informatie over lek- en strooistraling, de zogeheten secundaire straling. Ook tijdens controle- en kwaliteitsmetingen verzamelde strooistralingsgegevens kunnen worden gebruikt voor een verantwoorde schatting van de blootstelling aan secundaire straling. De reguliere blootstelling wordt vaak in belangrijke mate bepaald door de dosisbijdrage van de secundaire straling.

3.3.2 Verkorte risicoanalyse

In veel gevallen werken slechts één of enkele personen met ioniserende straling en wordt er slechts één type handeling verricht. Als aangetoond kan worden dat de jaardosis voor individuele werknemers onder een bepaalde referentiewaarde blijft, kan worden volstaan met de dosisberekening en een verslag over de invulling van ALARA. Deze jaardosis is de som van de doses door reguliere en potentiële blootstelling.

De referentiewaarde voor de effectieve dosis bedraagt 100 microSv in een jaar, ofwel 10% van de ondergrens voor B-werknemers. Bij de equivalente dosis wordt een vergelijkbare grens gehanteerd: voor de ooglen 1,5 mSv en voor de huid (per cm²) en extremiteiten 5 mSv.

3.3.3 Rekenregels risico's van voorziene onbedoelde gebeurtenissen

Bij een handeling met ioniserende straling kunnen zich voorziene onbedoelde gebeurtenissen voordoen door bijvoorbeeld materiaalfalen of het niet opvolgen van procedures. Zoals aangegeven in paragraaf 3.2.3 worden hier enkel vooraf in te schatten gebeurtenissen beschouwd. De gevolgen hiervan zijn uit te drukken in twee componenten: de dosis ten gevolge van, en de kans op onbedoelde gebeurtenissen.

Voor de invulling van ALARA bij voorziene onbedoelde gebeurtenissen wordt gekeken naar zowel de beperking van de dosis als de beperking van de kans op deze gebeurtenissen. Het product van kans en effect wordt weergegeven door het risico. Het toepassen van het ALARA-beginsel bij potentiële blootstelling komt dus neer op het minimaliseren van het risico.

Risico's kunnen worden gekwantificeerd in een formele risicoberekening toegepast op voorziene onbedoelde gebeurtenissen. Er bestaan verschillende methoden om een dergelijke risicoberekening uit te voeren. Eén van die methoden, de Fine-Kinneymethode [10], is in een artikel van Verbakel en Ebben [11] uitgebreid om toegepast te kunnen worden op handelingen met ioniserende straling. Meer informatie over de Fine-Kinneymethode, én alternatieve methoden, kan onder meer worden gevonden in het Arbo-Informatieblad Risicobeheersing [12].

In deze leidraad wordt de Fine-Kinneymethode gebruikt als een handvat voor het uitvoeren van een risicoberekening. Andere methoden kunnen voor specifieke situaties net zo geschikt zijn, of misschien zelfs beter. Het doel van dit stuk is dan ook de illustratie van één methode om de risico's van voorziene onbedoelde gebeurtenissen te bepalen en te verwerken in de risicoanalyse.

In de Fine-Kinneymethode geeft het risicogetal dat bij een voorziene onbedoelde gebeurtenis hoort een getalsmatige indruk van het risico. De risico's van verschillende gebeurtenissen kunnen hiermee met elkaar worden vergeleken.

Bovendien kan, als vanuit het oogpunt van ALARA een keuze gemaakt moet worden tussen twee maatregelen, het effect hiervan op voorziene onbedoelde gebeurtenissen eenvoudig worden onderzocht met behulp van het risicogetal dat met de Fine-Kinneymethode wordt berekend.

3.3.3.1 Fine-Kinneymethode

De dosis ten gevolge van een voorziene onbedoelde gebeurtenis en de kans op een dergelijke gebeurtenis worden in deze methode naar een numerieke vorm geconverteerd zodat uit hun product een risicogetal berekend kan worden. Deze procedure wordt beschreven in de onderstaande risicoberekening.

I. Wat is de effectfactor?

De dosis ten gevolge van blootstelling bij voorziene onbedoelde gebeurtenissen kan worden omgerekend in een effectfactor. Voor de berekening van de effectfactor worden de gegevens uit Tabel 1 gebruikt:

Tabel 1. Effectfactoren.

Eff	Effectieve dosis	Equivalente dosis (oog lens)	Equivalente dosis (huid (per cm ²) en extremiteiten)
1	< 0,02 mSv	< 0,2 mSv	< 1 mSv
3	0,02-0,1 mSv	0,2-1 mSv	1-5 mSv
5	0,1-0,5 mSv	1-7 mSv	5-25 mSv
7	0,5-1 mSv	7-15 mSv	25-50 mSv
10	1-2 mSv	15-30 mSv	50-100 mSv
15	2-6 mSv	30-50 mSv	100-150 mSv
40	6-20 mSv	50-150 mSv	150-500 mSv
100	> 20 mSv	> 150 mSv	> 500 mSv

De indeling in Tabel 1 is gebaseerd op de dosisgrenzen uit het Besluit Stralingsbescherming en publicaties in vakliteratuur [11], [13]. Voorbeeld: als de equivalente dosis voor de oog lens door een gebeurtenis 10 mSv bedraagt geldt een effectfactor van E=7.

II. Wat zijn de belastingsfactor en waarschijnlijkheidsfactor?

Bepaal de belastingsfactor B en de waarschijnlijkheidsfactor W met de gegevens uit Tabel 2. Hiermee wordt respectievelijk uitgedrukt hoe vaak de handeling wordt uitgevoerd waarbij de gebeurtenis zich kan voordoen en hoe vaak de gebeurtenis zich zelf voor kan doen bij de handeling. Voorbeeld: als een gebeurtenis zich eens op de honderd keer voordoet bij een handeling die dagelijks wordt uitgevoerd gelden: B=6 en W=3.

Tabel 2. Belastingsfactoren en waarschijnlijkheidsfactoren.

B	Frequentie	W	Kwalitatieve omschrijving	Kwantitatieve vertaling in kans
0,5	< 1 keer per jaar	10	te verwachten	> 0,5
1	jaarlijks	6	zeer wel mogelijk	0,1-0,5
2	maandelijks	3	ongewoon	10 ⁻² (1 op de honderd keer)
3	wekelijks	1	onwaarschijnlijk	10 ⁻³
6	dagelijks	0,5	denkbaar	10 ⁻⁴
10	continu	0,2	praktisch onmogelijk	10 ⁻⁵
		0,1	bijna niet denkbaar	10 ⁻⁶

Eén van de lastige aspecten van een risicoberekening is het bepalen van de kans op een voorziene onbedoelde gebeurtenis. Hierbij worden enkele situaties onderscheiden:

- De gebeurtenis - inclusief de kans van optreden - is goed beschreven in de wetenschappelijke literatuur of bijvoorbeeld de handleiding van het toestel. De inschatting van deze kans is dan (meestal) gebaseerd op bevindingen uit wetenschappelijk of praktijkonderzoek.
- De gebeurtenis heeft plaatsgevonden, en dit blijkt uit de verificatie van dosisresultaten. Naar aanleiding hiervan wordt een verantwoorde schatting gemaakt van de dosis die opgelopen kan worden.
- Als van de gebeurtenis geen gegevens te vinden zijn en zij is nog nooit voorgekomen, moet worden ingeschat - met *expert judgement* - hoe waarschijnlijk het voorkomen van de gebeurtenis is.

III. Wat is het risicogetal R?

Het risico van de onbedoelde gebeurtenis wordt nu berekend met het risicogetal R, gegeven door

$$R = \text{Eff} \cdot B \cdot W.$$

met Eff de effectfactor, B de belastingsfactor en W de waarschijnlijkheidsfactor.

Dit risicogetal wordt in de hieropvolgende risico-evaluatie gebruikt om vast te stellen welke gebeurtenissen de grootste risico's vertegenwoordigen.

Vaak wordt het risicogetal toegepast in een soort maatregeltabel: '*als het risicogetal tussen de 100 en 140 is, moet er onmiddellijk actie worden ondernomen*'. In deze leidraad wordt afgezien van het idee dat het risicogetal een absolute waarde heeft, te meer omdat het bepalen van een risicogetal zeer subjectief is. In deze leidraad wordt het risicogetal daarom louter als instrument in een *Risk Ranking* methode toegepast, een methode om de risico's alleen onderling te vergelijken zodat een prioritering in de te nemen maatregelen aangegeven kan worden. Voor meer informatie over de toepassing van dergelijke maatregeltabellen wordt de lezer verwezen naar [10], [11], en [12].

3.4 Risico-evaluatie

De dosiswaarden die zijn uitgerekend in de risicoberekening worden in de risico-evaluatie gebruikt voor de indeling van werknemers en zones, de prioritering van maatregelen, voor de invulling van het ALARA-beginsel en het toetsen aan dosislimieten.

Bij de berekening van de dosis voor de indeling van werknemers en zones mag geen rekening worden gehouden met de aanwezigheid van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) zoals loodschorten, loodhandschoenen en schildklierkragen. De toepassing van PBM's is de laatste stap van de arbeidshygiënische strategie. In de risicoanalyse moet het effect van het wel of niet dragen van PBM's duidelijk gemaakt worden.

Bij het opstellen van de leidraad is gebleken dat het wel of niet in rekening brengen van PBM's bij het bepalen van de dosis voor de indeling van werknemers een omstrepen punt is. Nader onderzoek moet uitwijzen wat de effecten en de consequenties zijn van het wel in rekening brengen van PBM's bij het bepalen van de dosis voor indeling. Bij dit onderzoek kan tevens in kaart worden gebracht wat het beleid hieromtrent is in andere EU-landen. Het resultaat kan leiden tot aanpassing van deze leidraad.

3.4.1 Indeling werknemers

In de risicoberekening zijn de doses en de risico's van handelingen en daarbij voorkomende voorziene onbedoelde gebeurtenissen berekend voor werknemers. In de risico-evaluatie wordt, bijvoorbeeld in een kruistabel, voor individuele werknemers opgetekend welke dosis zij ontvangen en met welke risico's zij te maken hebben. De dosiswaarden worden gebruikt om werknemers in te delen als blootgesteld werknemer.

In het Besluit Stralingsbescherming wordt onderscheid gemaakt tussen werknemers en blootgestelde werknemers. Voor blootgestelde werknemers gelden dosislimieten conform artikel 77 van het Besluit Stralingsbescherming. Binnen de categorie van blootgestelde werknemers wordt het onderscheid gemaakt tussen A- en B-werknemers. Een A-werknemer is een blootgestelde werknemer, die een effectieve dosis kan ontvangen die groter is dan 6 mSv in een kalenderjaar, of een equivalente dosis die groter is dan drie tiende van de in artikel 77 genoemde dosislimieten. Een B-werknemer is een blootgestelde werknemer die geen A-werknemer is. In praktijk mag een B-werknemer een effectieve dosis ontvangen van meer dan 1 mSv per jaar en minder dan 6 mSv per jaar. Deze informatie is samengevat in Tabel 3.

Tabel 3. Classificatie van werknemers.

Orgaan/categorie	A-werknemer	B-werknemer	C-werknemer*
Effectieve dosis	6 tot 20 mSv	1 tot 6 mSv	< 0,2 mSv/kwartaal regulier < 0,2 mSv/keer abnormaal
Equivalente dosis - ooglens	50 tot 150 mSv	15 tot 50 mSv	-
Equivalente dosis - huid (per cm ²)	150 tot 500 mSv	50 tot 150 mSv	-
Equivalente dosis - handen, voeten, onderarmen en enkels	150 tot 500 mSv	50 tot 150 mSv	-

*In het advies van de Gezondheidsraad [5] wordt voorgesteld hiervoor een nieuwe categorie werknemer in te stellen, de zogeheten C-werknemer. Voor deze groep geldt een maximale dosis van 0,2 mSv per kwartaal door reguliere blootstelling en 0,2 mSv per keer ten gevolge van abnormale (of onbedoelde) gebeurtenissen.

Voor deze indeling worden de gesommeerde jaardoses in reguliere omstandigheden en bij voorziene onbedoelde gebeurtenissen getoetst aan de dosiswaarden uit het Besluit Stralingsbescherming.

Als een voorziene onbedoelde gebeurtenis zich bijvoorbeeld eens per twee jaar voordoet telt de dosis behorende bij die gebeurtenis mee voor elk jaar. De dosis van zeer zeldzame gebeurtenissen hoeft echter niet te worden meegenomen in de dosisberekening voor de indeling van werknemers. Dit soort zeldzame gebeurtenissen wordt wel beschouwd in de risicoberekening ten behoeve van de toetsing aan ALARA. Er is bewust niet aangegeven wanneer een gebeurtenis als zeer zeldzaam moet worden beschouwd; deze inschatting wordt overgelaten aan de stralingsdeskundige.

Overigens gelden voor zwangere werknemers afwijkende voorschriften. In artikel 80 van het Besluit Stralingsbescherming is het volgende vastgelegd: de ondernemer moet ervoor zorgen dat de arbeidsomstandigheden voor een zwangere werknemer zodanig zijn dat de equivalente dosis ten gevolge van het werk voor het ongeboren kind zo laag is als redelijkerwijs mogelijk is en dat het onwaarschijnlijk is dat deze dosis vanaf het moment van melding van de zwangerschap aan de ondernemer tot aan het einde van de zwangerschap 1 mSv zal overschrijden.

3.4.2 Indeling zones

De tekst in artikel 83 uit het Besluit Stralingsbescherming geeft aan hoe de doses die door werknemers kunnen worden ontvangen leiden tot classificatie in zones. In Tabel 4 is deze indeling weergegeven. De persoonlijke beschermingsmiddelen worden niet meegenomen bij het berekenen van de dosis voor de zone-indeling.

Tabel 4. Classificatie zones.

Zone	Gecontroleerde zone	Bewaakte zone
Effectieve dosis	> 6 mSv	1 tot 6 mSv
Equivalente dosis - ooglenzen	> 50 mSv	15 tot 50 mSv
Equivalente dosis - huid (per cm ²)	> 150 mSv	50 tot 150 mSv
Equivalente dosis - handen, onderarmen, voeten, enkels	> 150 mSv	-

3.4.3 ALARA

In het Besluit Stralingsbescherming betreft artikel 5 de invulling van het ALARA-beginsel:

Artikel 5

1. De ondernemer zorgt ervoor dat de effectieve of equivalente doses van individuele personen, in samenhang met het aantal blootgestelde personen, ten gevolge van een handeling zo laag zijn als redelijkerwijs mogelijk is.

2. De ondernemer zorgt ervoor dat met betrekking tot potentiële blootstellingen zowel de dosis bij een blootstelling als de kans op een blootstelling zo laag als redelijkerwijs mogelijk is.

Met inachtneming van sociale en economische factoren, heeft de ondernemer de verplichting de blootstelling aan ioniserende straling zo laag als redelijkerwijs mogelijk te houden.

Om invulling aan het ALARA-beginsel geven, moet de ondernemer in de risicoanalyse aantonen dat er voldoende maatregelen zijn getroffen om de dosis en het risico zo laag als redelijkerwijs mogelijk te houden. Hiertoe demonstreert de ondernemer dat hij een voorgeschreven pakket aan maatregelen heeft genomen. Branches en beroepsgroepen kunnen dit voorgeschreven pakket van minimale maatregelen vastleggen, rekening houdend met de stand van de techniek en hetgeen gebruikelijk is in de bedrijfstak.

Het risicogetal, zoals berekend met de Fine-Kinneymethode, kan worden gebruikt om invulling te geven aan ALARA voor het risico van voorziene onbedoelde gebeurtenissen. Met de risicogetallen kunnen de voorziene onbedoelde gebeurtenissen met de grootste risico's worden geïdentificeerd. De Fine-Kinneymethode wordt hiermee gebruikt als zogeheten *Risk Ranking* methode. Door de risico's op een rij te zetten wordt duidelijk welke de belangrijkste zijn: hiermee kan een duidelijke prioritering worden toegekend in de aanpak van de risico's.

3.5 Verbeterplan

De risicoanalyse kan aanleiding geven tot extra maatregelen. Dit is het geval als de berekende jaardosis van werknemers niet in overeenstemming is met een bestaande classificatie van werknemers of als niet voldaan is aan ALARA. Zelfs kan uit de risicoanalyse volgen dat dosislimieten overschreden worden.

In een verbeterplan moet worden opgetekend welke additionele maatregelen worden getroffen en welke effecten deze maatregelen beogen.

3.6 Periodieke evaluatie

De risicoanalyse maakt onderdeel uit van een dynamisch stralingszorgsysteem en moet daarom regelmatig worden geëvalueerd. De omstandigheden kunnen veranderen - denk aan de ingebruikstelling van een nieuw toestel - en dosisuitslagen van persoonsdosimeters kunnen aanleiding geven tot het herzien van de risicoanalyse.

Verder moet jaarlijks - conform Artikel 10 lid 1 van het Besluit Stralingsbescherming - de doelmatigheid van beveiligingsmiddelen worden geverifieerd. Dit houdt onder meer in dat de uitgangspunten waarop de risicoanalyse is gebaseerd op actualiteit worden gecontroleerd.

Op deze manier wordt gewerkt aan continue kwaliteitsverbetering waarmee de veiligheid van de blootgestelde werknemers gewaarborgd kan worden.

4 Conclusie

Met dit rapport wordt een leidraad gepresenteerd voor het uitvoeren van een risicoanalyse conform de Nederlandse wetgeving. Door het volgen van de leidraad kan worden voldaan aan de wettelijke verplichtingen zoals vastgelegd in het Besluit Stralingsbescherming. In het stappenplan van de leidraad is globaal de indeling gevolgd van de nog te verschijnen norm ISO 31000 voor risicomangement.

In de eerste stap - de risico-identificatie - worden de handelingen beschreven en moet worden nagegaan wat er mis kan gaan bij deze handelingen. Bovendien moet worden vastgesteld waar de handelingen worden uitgevoerd, door wie en hoe vaak. Ook moeten de reeds genomen maatregelen worden vastgelegd, zodat in een later stadium kan worden besloten over additionele maatregelen.

Bij de tweede stap, de risicoberekening, worden de dosis door reguliere en potentiële blootstelling en de risico's van voorziene onbedoelde gebeurtenissen bepaald.

In de derde stap - de risico-evaluatie - worden deze gegevens gebruikt om werknemers en zones in te delen en om invulling te geven aan het ALARA-beginsel.

Deze leidraad kan stralingsdeskundigen bijstaan in het uitvoeren van een risicoanalyse voor stralingstoepassingen. De leidraad is geen richtlijn en moet niet worden gezien als vervanging van bestaande systemen, maar kan dienen als handvat om te voldoen aan de eisen zoals gesteld in het Besluit Stralingsbescherming.

De leidraad is opgezet als een generiek instrument voor het uitvoeren van een risicoanalyse, en moet gezien worden als onderdeel van een breder stralingshygiënisch zorgsysteem.

Deze leidraad is een eerste stap in een traject om in Nederland het inzicht in de risico's van het werken met ioniserende straling te verbeteren. Voor afzonderlijke branches en beroepsgroepen verdient het aanbeveling de leidraad specifiek in te richten en daaraan zal de komende jaren gewerkt moeten worden.

Bijlage A

In deze bijlage worden twee voorbeelden gepresenteerd waarin de leidraad wordt toegepast. Het gaat om de risicoanalyse voor het werken in een fabriek waar meet- en regelbronnen aanwezig zijn en het maken van een röntgenfoto door een dierenarts. Deze voorbeelden hebben slechts tot doel de leidraad te illustreren, de geschetste situaties kunnen sterk afwijken van de werkelijke praktijk. Er kunnen daarom aan deze uitwerkingen geen rechten ontleend worden.

De voorbeelden zijn opgesteld door of in nauwe samenspraak met de Arbeidsinspectie.

Voorbeeld Meet- en regelbron

Context:

In een chemische fabriek worden ingekapselde bronnen, geplaatst in vaste meetopstellingen, ingezet voor meet- en regeltechnische doeleinden. In totaal zijn er tien meetbronnen aanwezig.

De meetopstellingen worden gebruikt voor het continu meten van niveaus (vloeistof of vaste stof) in vaten en stroming in leidingen.

De vaste meetopstelling bestaat uit een radioactieve bron, die is gemonteerd in een standaard-bronhouder, en een stralingsdetector. De bronhouder heeft een stralingsopening waaruit de ioniserende straling van de bron (effectieve bundel) naar buiten kan treden. De straling passeert de wanden van het vat/leiding en het daarin aanwezige medium. De reststraling wordt gedetecteerd door een stralingsdetector.

De toegepaste nucliden zijn Cs-137 en Co-60. Beide nucliden zenden gammastraling uit met een energie van 662 keV respectievelijk 1330 keV. In de meetopstellingen van transportleidingen zijn Cs-137-bronnen aangebracht. In de meetopstellingen op de vaten zijn Co-60-bronnen geplaatst.

Het nuclide Cs-137 heeft een halfwaardetijd van 30 jaar met een overeenkomstig meettechnische levensduur. Vervangen van dit nuclide uit oogpunt van bronverval zal niet aan de orde zijn. Dit in tegenstelling tot het nuclide Co-60, met een halveringstijd van 5,27 jaar. Deze Co-60-bronnen hebben een meettechnische levensduur van ongeveer 5 tot maximaal 10 jaar. Vervanging gedurende de levensduur van de kobaltbron vindt daarom regelmatig plaats. Het vervangen van de bronnen en onderhoud aan de bronhouder en meetopstelling gebeurt door de leverancier van de meetopstelling. Dit bedrijf heeft hiervoor een vergunning en een eigen risicoanalyse opgesteld. Ook de lektesten (besmettingscontroles) aan bronnen respectievelijk bronhouders worden door een extern bedrijf uitgevoerd.

Er wordt hier een hypothetische situatie beschreven, en sommige beschrijvingen zijn versimpelingen van de werkelijkheid.

Stap 1. Risico-identificatie

Stap 1a. Welke handeling met straling wordt uitgevoerd?

Handeling H1: het werken in de fabriek waar meetopstellingen aanwezig zijn, gedurende het productieproces van de fabriek.

Handeling H2: overige handelingen, onder meer tijdens onderhoudsstops van de fabriek, in de directe nabijheid van de bronhouders.

Stap 1b. Welke deelhandelingen kunnen worden onderscheiden?

Handeling H1: Als gevolg van het dagelijkse verblijf in de fabriek waar de radioactieve bronnen worden toegepast (bronhouders staan open) zullen de *productiemedewerkers* blootstaan aan ioniserende straling.

H1a: De *productiemedewerkers* zullen, voor het uitoefenen van hun taken, de meetopstelling regelmatig passeren.

H1b: De *productiemedewerkers* zullen het sluitmechanisme van de bronhouder regelmatig bedienen (openen en sluiten venster).

Handeling H2: Tijdens de onderhoudsstops van de procesinstallatie zullen de leidingen toegankelijk gemaakt en de vaten geopend moeten worden voor reiniging, herstel en inspectiewerkzaamheden. Uitgangspunt is dat daarbij de radioactieve bronnen eerst zijn veiliggesteld (venster van bronhouders gesloten of bronnen verwijderd uit de installatie) voordat de onderhoudsmonteur met zijn werkzaamheden begint.

Stap 1c. Wat zijn de voorziene onbedoelde gebeurtenissen?

Gebeurtenis (G1): Zich onnodig ophouden in de directe nabijheid van de geopende bronhouder.

Gebeurtenis (G2): Betreden vat bij geopende bronhouders.

Gebeurtenis (G3): Het verwijderen van de isolatie van een leiding nabij een geopende bronhouder. De handen/ledematen van de werknemer kunnen daarbij in de primaire bundel komen.

Andere onbedoelde gebeurtenissen zoals lekkage van de bron en brand worden gezien als incident. De kans van optreden van deze gebeurtenissen is zeer klein (te vergezocht) gezien de al genomen maatregelen (zie stap 1h). Incidenten worden gemeld aan de Inspectiediensten.

Stap 1d. Wat zijn de eigenschappen van de bron of toestel waarmee de handeling wordt uitgevoerd?

Als meet- en regelbronnen worden gebruikt:

- ingekapselde cesium-137 bronnen met:
maximale activiteit 37 GBq; bronconstante $h = 0,093 \text{ microSv.m}^2.\text{MBq}^{-1}.\text{h}^{-1}$
- ingekapselde kobalt-60 bronnen met:
maximale activiteit 11,1 GBq; bronconstante $h = 0,36 \text{ microSv.m}^2.\text{MBq}^{-1}.\text{h}^{-1}$

Het maximale dosistempo op 20 cm afstand van een bron is $7,5 \text{ } \mu\text{Sv.h}^{-1}$. Dit is de ontwerpnorm voor alle meetopstellingen.

Stap 1e en 1f. Hoe vaak wordt de handeling uitgevoerd en door welke personen?

Handeling H1a:

In de fabriek, waar **10** meetopstellingen met radioactieve bronnen aanwezig zijn wordt in continudienst gewerkt. Een *productiemedewerker* werkt 200 dagen per jaar en maakt diensten van 8 uur per dag. Per dienst loopt hij/zij 4 controleronden van maximaal 0,5 uur. Tijdens de controleronde is de minimale afstand tot de bronnen 2 meter.

Handeling H1b:

Iedere *productiemedewerker* opent of sluit per dienst maximaal 2 bronnen. Deze handeling duurt maximaal 2 minuten. De gemiddelde afstand tot de bron is daarbij 0,5 meter.

Handeling H2:

Twee keer per jaar vinden er onderhoudswerkzaamheden plaats in de directe nabijheid van de bronnen. De duur van de onderhoudswerkzaamheden is maximaal 2 uur per bron per keer. De minimale afstand tot de bron is 0,5 meter. Aangenomen wordt dat al het onderhoud door één *onderhoudsmonteur* wordt uitgevoerd.

Stap 1g. Waar vindt de handeling plaats?

De handelingen vinden plaats in de fabriekshal. Deze ruimte is niet ingedeeld als bewaakte of gecontroleerde ruimte.

Stap 1h. Wat zijn de getroffen maatregelen?

Maatregelen gericht op de bron:

- Er is een indicatie op het sluitmechanisme aanwezig om te zien of het venster van de bronhouder open of dicht staat.
- De constructie van alle ingekapselde bronnen voldoet aan de eisen gesteld in de internationale norm ISO 2919:1999.
- Verder worden de bronnen gemonteerd in zogeheten bronstelen die een extra barrière vormen tegen verspreiding van radioactiviteit. Een potentieel lek zal, gezien de constructie, worden beperkt tot het inwendige van de bronsteel. Hierdoor zal er geen dosisbelasting (inwendige besmetting) ontstaan voor de medewerkers.
- Door het uitvoeren van jaarlijkse lekcontroles zal het begin van een potentiële besmetting “snel” worden opgemerkt en in omvang worden beperkt. Indien een besmetting aan de buitenzijde van de bronhouder wordt opgemerkt (kans op voorkomen bijna uitgesloten) zal dit als incident gemeld worden.

Maatregelen gericht op de werkplek:

- Op of in de directe nabijheid van de bron zijn waarschuwingssymbolen aangebracht.

Maatregelen gericht op de persoon:

- Geen

(Bijzondere) organisatorische maatregelen:

- Er is een interne instructie opgesteld waarin is geregeld hoe en wanneer de bronhouder moet worden gesloten.
- Voor onderhoudswerkzaamheden bestaat er een systeem van werkvergunningen. In deze werkvergunning wordt rekening gehouden met de aanwezigheid van radioactieve bronnen zodat wordt geborgd dat onderhoudswerkzaamheden nabij de bron veilig uitgevoerd kunnen worden.
- Het betreedbaar maken van vaten geschiedt, conform de werkvergunning, via een afloopschema dat strikt gevolgd moet worden. Het veiligstellen van radioactieve bronnen vormt een onderdeel hiervan. Iedere genomen stap (of groep van stappen) in het schema wordt bovendien gecontroleerd (en geparafeerd). Pas als het gehele schema is afgewerkt wordt het vat vrijgegeven om te betreden.
- Bij iedere ingang tot het inwendige van een vat zijn waarschuwborden geplaatst, die wijzen op de risico's van het werken in "besloten ruimte" en de aanwezigheid van een radioactieve bron.

Stap 2. Risicoberekening

Stap 2a. Hoe kunnen de werknemers worden blootgesteld aan ioniserende straling?

- Voor de *productiemedewerkers* is het enige blootstellingspad externe straling.
- Bij onderhoudswerkzaamheden kunnen naast blootstelling van het gehele lichaam aan externe straling (door de bronhouder afgeschermd bundel) ook de handen en onderarmen van een *onderhoudsmedewerker* blootgesteld worden aan de effectieve bundel indien deze niet is veilig gesteld.
- Indien de bron lekt kan er inwendige blootstelling plaatsvinden.

Stap 2b. Wat is de dosis door blootstelling ten gevolge van de handeling in reguliere omstandigheden?

Productiemedewerker

Handeling H1a.

De maximale verblijftijd van productiemedewerkers in de buurt van een bron is:
 $200 \text{ dagen} * 4 \text{ controles/dag} * 0,5 \text{ h/controle} = 400 \text{ h}$.

Jaardosis per productiemedewerker ten gevolge van lopen controleronden is:

$$400 \text{ h/jaar} * 7,5 \text{ microSv/h} * 0,2^2/2^2 \text{ m}^2/\text{m}^2 = \mathbf{0,030 \text{ mSv/jaar}}$$

$$(\text{Dosis per controleronde: } 0,5 \text{ h/controle} * 7,5 \text{ microSv/h} * 0,2^2/2^2 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 0,038 \text{ microSv})$$

Handeling H1b.

Jaardosis per productiemedewerker bij openen/sluiten bronnen is:

$$200 \text{ dagen/jaar} * 2 \text{ bronnen/dag} * 2 \text{ min/bron} * 1/60 \text{ h/min} * 7,5 \text{ microSv/h} * 0,2^2/0,5^2 \text{ m}^2/\text{m}^2 = \mathbf{0,016 \text{ mSv/jaar}}$$

*(Dosis per open/sluiten bron: 2 min/bron * 1/60 h/min * 7,5 microSv/h * 0,2²/0,5² m²/m² = 0,04 microSv)*

Onderhoudsmonteur

Handeling H2.

In reguliere omstandigheden is de bron veiliggesteld. Aan de tien bronnen vindt twee keer per jaar onderhoud plaats.

Jaardosis van een *onderhoudsmonteur* bij onderhoud is:
 2 keer/jaar * 10 bronnen/keer * 2 h/bron * 7,5 microSv/h * 0,2²/0,5² m²/m² =
0,048 mSv/jaar.

*(Dosis/onderhoud: 10 bronnen/keer*2 h/bron*7,5 microSv/h*0,2²/0,5² m²/m²=24 microSv/onderhoud)*

Stap 2c.

Wat zijn de doses door blootstelling ten gevolge van en de kansen op voorkomen van de voorziene onbedoelde gebeurtenissen?

Gebeurtenis G1

De ongewenste gebeurtenis is dat een productiemedewerker zich per dag 1 uur langer dan voorzien ophoudt in de nabijheid van de bron. Een productiemedewerker overkomt dit ongeveer één keer in 50 dagen.

De dosis door potentiële blootstelling is:
 4 dagen/jaar * 1 h/dag * 7,5 microSv/h * 0,2²/2² m²/m² = **0,3 microSv/jaar**

*(Dosis per gebeurtenis G1: 1 h * 7,5 microSv/h * 0,2²/2² m²/m² = 0,075 microSv/keer)*

Gebeurtenis G2

Aangenomen wordt dat één keer per jaar een onderhoudsmonteur het vat binnegaat terwijl de bronhouder openstaat. Het duurt maximaal 5 minuten voordat door de toezichthouder - die volgens werkprocedure, continu aanwezig moet zijn bij werken in een "besloten ruimte" - dit opgemerkt heeft. De gemiddelde afstand waarop een onderhoudsmonteur zich bevindt ten opzichte van de bron is 1 meter. Er wordt uitgegaan van de bron met de grootste activiteit (11,1 GBq).

De dosis door potentiële blootstelling is:
 11,1*10³ MBq*0,36 microSv.m².MBq⁻¹.h⁻¹*1/1² 1/m²*5 min*1/60 h/min= **0,33 mSv/jaar**

*(Dosis per gebeurtenis G2: 11,1*10³ MBq*0,36 microSv.m².MBq⁻¹.h⁻¹*1/1² 1/m²*5 min*1/60 h/min=0,33 mSv)*

Gebeurtenis G3

Gebeurtenis G3 is het verwijderen van de isolatie van een leiding nabij een geopende bronhouder. Een *onderhoudsmonteur* kan met zijn handen/onderarmen in de primaire stralingsbundel terecht komen. De afstand van de onderarmen tot aan de bron is daarbij gemiddeld 0,25 meter. De maximale blootstellingstijd wordt

geschat op 1 minuut. De maximale activiteit van de in de meetopstelling geplaatste Cs-137 bron is 37 GBq.

Aangenomen wordt dat deze gebeurtenis zich bij één op de 10 controles voordoet. Een onderhoudsmonteur controleert in een jaar 20 bronnen, bij controle van 2 van die bronnen speelt gebeurtenis G3 zich af.

De equivalente jaardosis op de onderarmen door potentiële blootstelling is:

$2 \text{ keer/jaar} * 37 * 10^3 \text{ MBq} * 0,093 \text{ microSv.m}^2.\text{MBq}^{-1}.\text{h}^{-1} * 1/0,25^2 \text{ 1/m}^2 * 1 \text{ min} * 1/60 \text{ h/min} = 1,8 \text{ mSv/jaar.}$

*(Dosis per gebeurtenis G3: $37 * 10^3 \text{ MBq} * 0,093 \text{ microSv.m}^2.\text{MBq}^{-1}.\text{h}^{-1} * 1/0,25^2 \text{ 1/m}^2 * 1 \text{ min} * 1/60 \text{ h/min} = 0,92 \text{ mSv}$)*

Stap 2d. Blijft voor alle blootgestelde personen de totale jaardosis beneden de referentiedosis (100 microSv)?

Nee: een onderhoudsmonteur kan een dosis oplopen die hoger is dan de referentiedosis. De risicoanalyse zal nader uitgewerkt moeten worden. Hiervoor wordt de Fine-Kinneymethode gebruikt, zoals beschreven in de leidraad.

Stap 2e. Wat zijn de risico's van de voorziene onbedoelde gebeurtenissen?

I. Wat is de effectfactor (Eff)?

Voor gebeurtenis G1 (effectieve dosis is 0,015 mSv) is de effectfactor: Eff = 1.

Voor gebeurtenis G2 (effectieve dosis is 0,33 mSv) is de effectfactor: Eff = 5.

Voor gebeurtenis G3 (equivalente dosis is 0,92 mSv) is de effectfactor: Eff = 1.

II. Wat zijn de belastingfactor (B) en de waarschijnlijkheidsfactor (W)?

Gebeurtenis G1 hoort bij Handeling H1a, die continu wordt uitgevoerd.

De belastingfactor van G1 is daarom: B=10. De waarschijnlijkheid van G1 wordt als ongewoon (kans 1 op 100) in geschat, de waarschijnlijkheidsfactor is daarom W=3.

Gebeurtenis G2 hoort bij Handeling H2, die twee keer per jaar wordt uitgevoerd:

daarom geldt de belastingfactor B=1. Gebeurtenis G2 komt eens per jaar voor, ofwel ongeveer de helft van de keren dat de handeling wordt uitgevoerd: W=6.

Gebeurtenis G3 hoort bij Handeling H2, die twee keer per jaar wordt uitgevoerd: daarom geldt de belastingfactor B=1. Gebeurtenis G3 komt ongeveer één op de tien keer voor, daarom geldt: W=6.

III. Bereken van het risicogetal $R = \text{Eff} * B * W$

Gebeurtenis G1: $R_{G1} = 1 * 10 * 3 = 30$

Gebeurtenis G2: $R_{G2} = 5 * 2 * 6 = 60$

Gebeurtenis G3: $R_{G3} = 1 * 1 * 6 = 6$

Stap 3. Risico-evaluatie

Stap 3a. Wat is de jaardosis voor individuele werknemers?

In Tabel 5 is voor individuele werknemers gegeven welke jaardoses ze oplopen. Er werkt één onderhoudsmonteur en verscheidene productiemedewerkers; de dosisschatting is voor alle afzonderlijke productiemedewerkers identiek.

Tabel 5. Dosisbepalingen van productiemedewerkers en onderhoudsmonteur

	Effectieve dosis (mSv/jaar)		Equivalente dosis (mSv/jaar)	
	Productiemedewerkers*	Onderhoudsmonteur	Productiemedewerkers*	Onderhoudsmonteur
H1a	0,030	-	-	-
H1b	0,016	-	-	-
H2	-	0,048	-	-
G1	0,0003	-	-	-
G2	-	0,33	-	-
G3	-	-	-	1,8
totaal	0,046	0,378	-	1,8

* dosis geldt voor alle productiemedewerkers

Stap 3b. Wat is op basis van de jaardosis voor individuele werknemers de juiste indeling blootgestelde werknemers en zone?

De dosiswaarden, van zowel reguliere als potentiële blootstelling, van de blootgestelde werknemers zijn bepaald en vastgelegd in Tabel 5.

Indeling werknemers:

De werknemers hoeven niet te worden ingedeeld als blootgestelde werknemers.

Indeling zone:

De fabriekshal hoeft niet als bewaakte of gecontroleerde zone ingedeeld te worden.

Stap 3c. Is voldaan aan ALARA?

Gezien de lage dosiswaarden en de reeds genomen maatregelen en veiligheidsprocedures is voldoende invulling gegeven aan ALARA. Uit de risicoberekening blijkt het grootste risico verbonden te zijn aan gebeurtenis G2. Eventuele additionele maatregelen zouden, op basis van deze analyse, gericht moeten zijn op het voorkomen van deze gebeurtenis.

Stap 3d. Blijven alle berekende persoonsdosiswaarden beneden de dosislimieten?

De uitkomst van de dosisberekeningen laat zien dat de dosislimieten uit het Besluit Stralingsbescherming niet worden overschreden. Dit geldt zowel voor de effectieve lichaamsdosis als ook de equivalente (extremiteten) dosis van zowel de productiemedewerkers als onderhoudspersoneel.

Stap 3e. Conclusie

Er is voldaan aan ALARA en de persoonsdosiswaarden blijven onder de dosislimieten. De risicoanalyse kan worden afgesloten.

Voorbeeld dierenarts

Context:

In een kliniek voor gezelschapsdieren worden door de dierenarts (een veterinaire radioloog) röntgenopnames gemaakt van honden en katten. Een belangrijk verschil met röntgendiagnostiek bij mensen is dat de arts niet aan de patiënt kan vragen om stil te blijven liggen. Daarom komt het in Nederland vaak voor dat dieren tijdens opnames worden vastgehouden door een assistent. Soms worden dieren vastgebonden of verdoofd.

In onderstaande case wordt een risicoanalyse uitgevoerd van de handeling: het maken van een veterinaire röntgenfoto.

Er wordt hier een hypothetische situatie beschreven, sommige beschrijvingen zijn versimpelingen van de werkelijkheid.

Stap 1. Risico-identificatie

Stap 1a. Welke handeling met straling wordt uitgevoerd?

Handeling H1: het maken van een röntgenfoto van een huisdier.

Stap 1b. Welke deelhandelingen kunnen worden onderscheiden?

De reguliere handeling is duidelijk te beschrijven zonder haar op te delen in deelhandelingen. De dierenarts bedient het röntgetoestel op een afstand van 0,75 meter van de röntgenbundel, de dierenartsassistent houdt het dier vast en staat op de kop van de tafel op 0,6 meter van de bundel. Zowel de dierenarts als de dierenartsassistent dragen een loodschoort.

Dit is een rondomloodschoort met een loodequivalent van 0,25 mm.

Stap 1c. Wat zijn de voorziene onbedoelde gebeurtenissen?

Gebeurtenis 1 (G1): omdat het dier wordt vastgehouden kan het onverwachte bewegingen maken. Hierbij kunnen de (beschermd) handen van de assistent, die het dier vasthoudt, in de primaire bundel komen.

Gebeurtenis 2 (G2): omdat het dier wordt vastgehouden kan het wegspringen. Hierbij kunnen de (onbeschermd) armen van de assistent die het dier vasthoudt in de primaire bundel komen.

Gebeurtenis 3 (G3): een assistent vergeet een loodschoort aan te trekken.

Stap 1d. Wat zijn de eigenschappen van de bron of toestel waarmee de handeling wordt uitgevoerd?

De handeling wordt uitgevoerd met een röntgenapparaat. Het toestel is al ongeveer 35 jaar in gebruik. De effectieve stralenbundel is verticaal. De focus-film-afstand is vast (90 cm). De maximale buisspanning is 99 kV. Meer dan 90 %

van de opnamen wordt gemaakt met een buisinstelling van 60 kV en 20 mAs. De röntgenbuis is voorzien van een diafragma met lichtvizier. Er wordt tijdens de opnamen gebruik gemaakt van een bundelfiltering van 2,5 mm Al. De bediening van het toestel gebeurt met een handschakelaar aan een spiraalkabel. Het röntgentoestel is voorzien van een los van het toestel staande bedieningskast met generator.

Stap 1e. Hoe vaak wordt de handeling uitgevoerd?

Er worden in een jaar ongeveer 2000 röntgenfoto's gemaakt. Er werken één dierenarts en twee assistenten. De assistenten verdelen het werk in de verhouding 3 staat tot 1. De dierenarts is daarmee bij 2000 opnames betrokken, assistent 1 bij 1500 opnames en assistent 2 bij 500 opnames.

Stap 1f. Welke personen kunnen bij de handeling blootgesteld worden?

Bij de handeling zijn twee personen betrokken. De dierenarts bedient het röntgenapparaat, een dierenartsassistent(e) houdt het dier vast. Het dier wordt op de röntgentafel gezet/gelegd. Het komt nooit voor dat een derde persoon zich tijdens opnames in de ruimte bevindt.

Stap 1g. Waar vindt de handeling plaats?

De handeling vindt plaats in een speciale ingerichte röntgenruimte.

Stap 1h. Wat zijn de getroffen maatregelen?

Maatregelen gericht op de bron:

Het toestel wordt eens per jaar gecontroleerd door de leverancier van het röntgentoestel. Hierbij wordt het goed functioneren van het toestel zelf en de beveiligingsmiddelen aangebracht op het toestel geverifieerd. De resultaten hiervan worden vastgelegd door de leverancier in een rapportage. Afwijkingen worden direct hersteld.

Maatregelen gericht op de werkplek:

- Op de toegangsdeur tot de ruimte is het waarschuwingssymbool "ioniserende straling" aangebracht en verder is er een zogeheten "beletlamp" boven de deur aanwezig.
- De enige handeling die in de ruimte wordt verricht is de beschreven handeling: de ruimte wordt niet voor andere doeleinden gebruikt. De opslagruimte ernaast is alleen toegankelijk via de bestralingsruimte. Hoewel de situatie zich niet voordoet dat personeel tijdens opnames door de bestralingsruimte loopt (aanwezigheid beletlamp), blijft dit in principe een onwenselijke situatie.

Maatregelen gericht op de persoon

- Bij een opname dragen de arts en assistenten een rondom loodschoort (dikte: 0,25 mm), de persoon die het dier vasthoudt draagt bovendien loodhandschoenen. Er is een jaarlijkse controle van de kwaliteit van de

loodhandschoenen en de loodschorten. Op deze manier wordt de kwaliteit en doelmatigheid van deze persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) gewaarborgd.

(Andere) organisatorische maatregelen:

- De arts en de assistenten dragen allen een persoonlijk dosiscontrolemiddel (TLD), waarvan periodiek de dosis wordt uitgelezen.
- Voor bediening van het toestel zijn instructies opgesteld, waarin naast de algemene principes van stralingsbescherming ook het juiste gebruik van de voorzieningen en de beschermingsmaatregelen zijn beschreven.

Stap 2. Risicoberekening

Stap 2a. Hoe kunnen de werknemers worden blootgesteld aan ioniserende straling?

Het enige blootstellingspad is externe straling. Bij een röntgentoestel is sprake van de primaire bundel, en de secundaire bundel die bestaat uit lek- en stroostraling. De primaire bundel wordt verstrooid door het dier. In [14] wordt betoogd dat in de meeste gevallen de lekstraling ten hoogste 10% bedraagt van de stroostraling. De bijdrage van lekstraling ten opzichte van stroostraling wordt daarom verwaarloosd. Naast blootstelling van het gehele lichaam aan stroostraling kunnen de handen en onderarmen van de dierenartsassistenten ook blootgesteld worden aan de primaire bundel.

Stap 2b. Wat is de dosis door blootstelling ten gevolge van de handeling in reguliere omstandigheden?

In reguliere omstandigheden komen de werknemers niet in de primaire bundel. Uit metingen is gebleken dat de dosis, ten gevolge van stroostraling op 1 meter afstand, gemiddeld 1,0 microSv per opname is.

Dierenarts

De persoon die het apparaat bedient, bevindt zich op een afstand van 0,75 meter gemeten vanaf de centrale as van de primaire bundel.

De effectieve dosis in een jaar is:

$$1,0 \text{ microSv/opname} * 1/0,75^2 \text{ m}^2/\text{m}^2 * 2000 \text{ opnamen/jaar} = \mathbf{3,6 \text{ mSv/jaar}}$$

*(per opname: $1,0 \text{ microSv/opname} * 1/0,75^2 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 1,78 \text{ microSv/opname}$)*

Assistenten

De assistenten die het dier vasthouden bevinden zich op 0,6 meter van de centrale as van de primaire bundel.

De effectieve dosis in een jaar is voor een **Assistent** die zich bij alle handelingen zou bevinden:

$$1,0 \text{ microSv/opname} * 1/0,6^2 \text{ m}^2/\text{m}^2 * 2000 \text{ opnamen/jaar} = \mathbf{5,6 \text{ mSv/jaar}}$$

*(per opname=1,0*1/0,6² m²/m² = 2,8 microSv/opname)*

Effect dragen PBM's

Het dragen van een rondom-loodschort van 0,25 mm bij een buisspanning van 60 kV en een gemengde blootstellingsgeometrie, biedt een beschermingsrendement van 83% (zie formule uit [15]).

Als rekening wordt gehouden met het dragen van loodschort, dan veranderen bovenstaande dosiswaarden als volgt

Dierenarts

De effectieve dosis in een jaar is:

0,3 microSv/opname*2000 opnamen/jaar = **0,60 mSv/jaar**

*(per opname: (1-0,83)*1,78 microSv/opname=0,30 microSv/opname)*

Assistenten

De effectieve dosis in een jaar is voor een **Assistent** die zich bij alle handelingen zou bevinden:

0,48 microSv/opname*2000 opnamen/jaar = **0,96 mSv/jaar**

*(per opname: (1-0,83)*2,8 microSv/opname=0,48 microSv/opname)*

Stap 2c.

Wat zijn de doses door blootstelling ten gevolge van en de kansen op voorkomen van de voorziene onbedoelde gebeurtenissen?

We onderscheiden (zie uitgangspunten uit stap 1) drie voorziene onbedoelde gebeurtenissen: G1, G2 en G3.

Gebeurtenis G1: Uit metingen, bij instelling van de röntgenbuis van 60 kV en 20 mAs is gebleken dat de equivalente dosis voor de handen, door blootstelling aan de primaire bundel op 0,6 m vanaf het focus van de röntgenbuis, 0,5 mSv per opname bedraagt.

Aangenomen wordt dat deze gebeurtenis zich bij 1 op de 10 opnames voordoet

De equivalente jaardosis op de handen is voor een **Assistent** die zich bij alle handelingen zou bevinden:

2000 opnamen/jaar*1/(10 opnamen)*0,5 mSv = **100 mSv/jaar**.

Als rekening wordt gehouden met het dragen van loodhandschoenen, dan veranderen bovenstaande dosiswaarden als volgt, waarbij opgemerkt moet worden dat loodhandschoenen niet zijn ontworpen ter bescherming tegen de primaire röntgenstraling en de leverancier voor de loodhandschoenen een transmissie aangeeft van 40%:

Met loodhandschoenen is de equivalente jaardosis op de handen voor een **Assistent** die zich bij alle handelingen zou bevinden:

$2000 \text{ opnamen/jaar} * 1 / (10 \text{ opnamen}) * 0,5 \text{ mSv} * 0,4 = 40 \text{ mSv/jaar}$.

Gebeurtenis 2: Ook de equivalente dosis voor de armen, door blootstelling aan de primaire bundel, bedraagt op 0,6 m vanaf het focus 0,5 mSv per opname.

Aangenomen wordt dat deze gebeurtenis zich bij 1 op de 50 opnames voordoet.

De equivalente jaardosis op de armen is voor een **Assistent** die zich bij alle handelingen zou bevinden:

$2000 \text{ opnamen/jaar} * 1 / (50 \text{ opnamen}) * 0,5 \text{ mSv} = 20 \text{ mSv/jaar}$.

Gebeurtenis 3: Het komt voor dat een assistent vergeet een loodschort aan te trekken. Aangenomen wordt dat bij een dergelijke gebeurtenis vijf opnames worden gemaakt voordat de assistent op het niet dragen van het loodschort wordt gewezen.

Een **Assistent** overkomt dit ongeveer 10 keer per jaar.

De opgelopen dosis per gebeurtenis is dan:

$5 \text{ opnamen} * 1,0 \text{ microSv/opname} = 5 \text{ microSv/gebeurtenis}$.

De effectieve dosis in een jaar is voor een Assistent:

$5 \text{ microSv/gebeurtenis} * 10 \text{ gebeurtenissen/jaar} = 50 \text{ microSv/jaar}$

Stap 2d. Blijft voor alle blootgestelde personen de totale jaardosis beneden de referentiedosis (100 microSv)?

Nee, er zijn verschillende manieren waarop de werknemers worden blootgesteld, en de jaardoses kunnen boven deze referentiewaarde uitkomen. De risico's van blootstelling moeten nader geanalyseerd worden voor de invulling van ALARA en het nemen van additionele maatregelen.

Opmerkingen:

- De PBM's kunnen hierin meegenomen worden als laatste stap van de arbeidshygiënische strategie.
- We gebruiken hiervoor de Fine-Kinneymethode zoals beschreven in de leidraad.

Stap 2e. Inschatting van de risico's

I. Wat is de effectfactor (Eff)?

Voor gebeurtenis G1 (equivalente dosis is 0,5 mSv) is de effectfactor: **Eff = 1**.

Voor gebeurtenis G2 (equivalente dosis is 0,5 mSv) is de effectfactor: **Eff = 1**.

Voor gebeurtenis G3 (effectieve dosis is 5 microSv) is de effectfactor: **Eff = 1**.

II. Wat zijn de belastingfactor (B) en de waarschijnlijkheidsfactor (W)?

Alle gebeurtenissen horen bij Handeling H1, die continu wordt uitgevoerd.

De belastingsfactoren van G1, G2 en G3 zijn daarom: **B=10**.

Voor gebeurtenis G1 (kans 1 op 10) is de waarschijnlijkheidsfactor: **W = 6**.

Voor gebeurtenis G2 (kans 1 op 50) is de waarschijnlijkheidsfactor: **W = 3**.

Voor gebeurtenis G3 (kans 1 op 100) is de waarschijnlijkheidsfactor: **W = 3**.

III. Wat is het risicogetal R?

De risicogetallen zijn hiermee:

Gebeurtenis G1: $R_{G1} = 1 * 10 * 6 = 60$

Gebeurtenis G2: $R_{G2} = 1 * 10 * 3 = 30$

Gebeurtenis G3: $R_{G3} = 1 * 10 * 3 = 30$

Stap 3. Risico-evaluatie

Stap 3a. Wat is de jaardosis voor individuele werknemers?

In Tabel 6 is voor de individuele werknemers gegeven welke jaardoses ze oplopen. Er werkt één dierenarts die bij alle handelingen betrokken is en twee assistenten die bij respectievelijk 1500 (assistent 1) en 500 (assistent 2) handelingen betrokken zijn.

Tabel 6. Tabel met jaardosiswaarden dierenarts en assistenten.

	Effectieve dosis						Equivalente dosis			
	dierenarts		assistent 1		assistent 2		assistent 1		assistent 2	
		<i>met PBM</i>		<i>met PBM</i>		<i>met PBM</i>		<i>met PBM</i>		<i>met PBM</i>
H1	3,6	<i>0,6</i>	4,2	<i>1,02</i>	1,4	<i>0,34</i>	-	-	-	-
G1	-	-	-	-	-	-	75	<i>30</i>	25	<i>10</i>
G2	-	-	-	-	-	-	15	<i>15</i>	5	<i>5</i>
G3	-	-	0,05	-	0,05	-	-	-	-	-
totaal	3,6	<i>0,6</i>	4,2	<i>1,02</i>	1,5	<i>0,34</i>	90	<i>45</i>	30	<i>15</i>

Stap 3b. Wat is op basis van de jaardosis voor individuele werknemers de juiste indeling blootgestelde werknemers en zone?

De dosiswaarden van de individuele werknemers zijn vastgelegd in Tabel 6. Voor de indeling van blootgestelde werknemers en zone geldt dat persoonlijke beschermingsmiddelen buiten beschouwing gelaten dienen te worden.

Indeling werknemers.

Uit Tabel 6 blijkt dat zowel de dierenarts als de beide assistenten ingedeeld moeten worden als Blootgestelde werknemer B.

Indeling zone.

Omdat de effectieve jaardosis beneden de 6 mSv ligt wordt de röntgenkamer ingedeeld als Bewaakte zone.

Stap 3b. Is voldaan aan ALARA?

Bij het beoordelen van ALARA spelen naast de arbeidshygiënische strategie ook de stand van de techniek en wat gebruikelijk is in de branche een grote rol. Bij het nemen van additionele maatregelen moet de arbeidshygiënische strategie gevolgd worden. Eerst wordt gekeken naar de bronmaatregelen, vervolgens naar de overdrachtsmaatregelen (collectieve afschermingen) en als laatste maatregel de persoonlijke beschermingsmiddelen.

Voor het beperken van de dosis bij reguliere handeling komen de volgende maatregelen in aanmerking:

- **aanbrengen loodschot**
Door het plaatsen van loodschot kan de dosis zeer sterk gereduceerd worden. Bij het bedienen van het toestel kan de dierenarts hierachter plaatsnemen. In de gevallen waarbij het dier niet vastgehouden hoeft te worden (zie maatregel onder stap 3b) kunnen ook de assistenten hier achter plaatsnemen (in ziekenhuizen is dit gebruikelijk).
- **afstand vergroten**
Door het mogelijk te maken het toestel op een grotere afstand te bedienen (andere plaats lessenaar en/of langere snoer aan handschakelaar) en de opstelplaats van de assistent te definiëren op ruime afstand van de tafel, tijdens een onderzoek waarbij het dier niet vastgehouden hoeft te worden kan de dosis kwadratisch met de afstand verminderd worden.
- **schildklierkraag**
Met het dragen van een loodschort wordt de blootstelling met een afschermingsrendement van 80% verminderd. Dit rendement kan verhoogd worden tot 90 % door het dragen van een schildklierkraag.

De waarden van de risicogetallen geven aan dat van de voorziene onbedoelde gebeurtenissen, G1 het grootste risico's oplevert. Additionele maatregelen moeten dan ook in eerste instantie gericht zijn op het beperken van de dosis van en kans op deze gebeurtenis.

Het vastbinden of verdoven van het dier is een optie om dit risico te beperken maar dit kan om medische redenen niet altijd wenselijk zijn. Een wenselijke organisatorische maatregel is dat bij iedere opname de afweging gemaakt moet worden of het dier wel of niet moet worden vastgehouden. Dit valt onder de competentie van de dierenarts. De blootstellingstijd van de dierenartsassistent aan de tafel wordt hierdoor ook verder beperkt.

Stap 3c. Blijven alle berekende persoonsdosiswaarden beneden de dosislimieten?

De uitkomst van de dosisberekeningen laat zien dat de dosislimieten uit het Besluit Stralingsbescherming niet worden overschreden.

Stap 3d.

Conclusie.

- Alle personen betrokken bij de handeling moeten ingedeeld worden als **blootgestelde werknemer B**. Alle betrokken werknemers moeten een TLD beschikbaar gesteld krijgen en deze gebruiken. Deze maatregel is reeds ingevuld.
- De röntgenkamer moet ingedeeld worden als **Bewaakte zone**. Op de toegangsdeur van de röntgenkamer moet onder het waarschuwingssymbool “ioniserende straling” het onderbord “Bewaakte zone” aangebracht worden.
- De invulling van ALARA is onvoldoende uitgewerkt.
- Dosisbeperkende maatregelen zijn onvoldoende geïmplementeerd.
 1. De mogelijkheid tot het aanbrengen van een loodschot, waarachter het maken van een foto kan plaats vinden, is onvoldoende uitgewerkt.
 2. Er zijn nog geen afspraken gemaakt over de plaats waar de assistenten mogen staan bij het maken van een foto, waarbij het dier niet vastgehouden hoeft te worden.
 3. In de werkinstructie is onvoldoende aandacht besteed aan het beschermingsprincipe van afstandvergroting
 4. Het gebruik van een schildklierkraag moet voorgeschreven worden zeker bij handelingen aan de tafel (vasthouden en fixeren van dier).
 5. De schriftelijke instructies moeten concreter uitgewerkt te worden op bovenstaande onderwerpen.
- Alle berekende persoonsdosiswaarden blijven beneden de dosislimieten.
- Er moet een plan van aanpak opgesteld worden voor het nemen van additionele maatregelen om een goede invulling te geven aan het ALARA .
- Na het implementeren van deze maatregelen moet de risicoanalyse worden aangepast.

Bijlage B

Definities van enkele gebruikte begrippen

- ALARA

Acroniem voor: As Low As Reasonably Achievable. Essentieel onderdeel van de stralingsbescherming, waarmee wordt aangegeven dat de doses en de risico's bij het werken met straling zo laag als redelijkerwijs mogelijk moeten worden gehouden, economische en maatschappelijke factoren in aanmerking genomen.

- Handeling

Een handeling komt, conform het Besluit Stralingsbescherming, neer op het bereiden, voorhanden hebben, toepassen of zich ontdoen van een kunstmatige bron of van een natuurlijke bron, voor zover deze natuurlijke bron is of wordt bewerkt met het oog op zijn radioactieve eigenschappen dan wel het gebruiken of voorhanden hebben van een toestel, uitgezonderd bij een interventie, een ongeval of een radiologische noodsituatie. Een handeling bestaat doorgaans uit de opeenvolging van deelhandelingen of verrichtingen

- ICRP

ICRP staat voor International Commission on Radiological Protection. Deze commissie stelt aanbevelingen op over de normen en regels voor stralingsbescherming die in vele landen tot wettelijke voorschriften zijn verwerkt.

- Maatregelen

Onder maatregelen worden hier verstaan: middelen die bij de werkplek, bron of werknemer worden ingezet om de dosis en het risico ten gevolge van blootstelling aan ioniserende straling te beperken. Dit kunnen zowel technische als organisatorische maatregelen zijn.

- Potentiële blootstelling

De potentiële blootstelling is de blootstelling die niet met zekerheid zal optreden maar waarvan de waarschijnlijkheid van optreden en de grootte van de daarbij eventueel optredende blootstelling van tevoren kunnen worden geschat. De potentiële blootstelling is de blootstelling door voorziene onbedoelde gebeurtenissen. Deze wordt voorafgaand aan een handeling bepaald met een risicoanalyse conform artikel 10 lid 1 uit het Besluit Stralingsbescherming.

- Reguliere blootstelling

De reguliere blootstelling is de blootstelling onder normale omstandigheden. Deze wordt voorafgaand aan een handeling bepaald met een risicoanalyse conform artikel 10 lid 1 uit het Besluit Stralingsbescherming.

- Risicoanalyse

De risicoanalyse bestaat uit een risico-identificatie, risicoberekening en een risico-evaluatie.

- Risicoberekening

Het begrip risicoberekening verwijst naar de bepaling van de dosis door reguliere en potentiële blootstelling en het risico van voorziene onbedoelde gebeurtenissen.

- **Risico-evaluatie**

De risico-evaluatie is een onderdeel van de risicoanalyse. In deze stap worden de risico's geëvalueerd. Voor deze leidraad betekent dit dat de resultaten van de risico-identificatie en risicoanalyse worden gebruikt om werknemers en zones in te delen en invulling te geven aan het ALARA-principe.

- **Risico-identificatie**

De risico-identificatie is de eerste stap van de risicoanalyse. Voor deze leidraad betekent dit dat de handelingen en voorziene onbedoelde gebeurtenissen worden geïdentificeerd. Bovendien wordt vastgelegd wie de handelingen uitvoert, waar en hoe vaak, en welke andere werknemers worden blootgesteld aan ioniserende straling ten gevolge van deze handelingen. Ook worden de genomen maatregelen geïnventariseerd.

- **Stralingsincident**

Een stralingsincident is een ongewenste en onvoorziene gebeurtenis, waarbij gevaar bestaat voor blootstelling aan ioniserende straling. Met onvoorzien wordt hier bedoeld: niet vooraf in de risicoanalyse in kaart gebracht.

- **Voorziene onbedoelde gebeurtenis**

Onder een voorziene onbedoelde gebeurtenis wordt hier verstaan een onbedoelde gebeurtenis die voorzien is en daarom wordt meegenomen in de risicoanalyse.

Dankwoord

De leidraad is opgesteld in een project van het RIVM, uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en in samenspraak met de Arbeidsinspectie. De projectgroep had de volgende samenstelling: Ton Vermeulen (MinSZW), Paul Schuurmann (MinSZW), Henk Muller (Arbeidsinspectie), Sam Bader (RIVM) en Harry Slaper (RIVM).

De leden van de projectgroep, in het bijzonder de auteur van dit rapport, zijn dank verschuldigd aan de vele stralingsdeskundigen, wier expertise van grote invloed is geweest op de totstandkoming van de leidraad. Een aantal van hen had zitting in een klankbordgroep bij het project, waarvan we met name willen noemen: Theo Adriaensen, Leo Ebben, Paul Jonkergouw, Pierre Kicken, Paul van Rooijen en Lex van der Star.

Ten slotte willen we bedanken: Cor van der Wulp, Manfred van der Vlies, Gertjan Knetsch en de NVS-afdeling Grote Vergunninghouders.

Literatuur

1. Besluit van 16 juli 2001, houdende vaststelling aan het Besluit Stralingsbescherming. Staatsblad 2001, nr 397.
2. Muller H, Schellekens T, Wijkamp H. Arbeidsinspectie inspecteert KEW-toepassingen NVS-Nieuws 2007/3. 2007
3. Hortensius D. ISO 31000: raamwerk risicomanagement. Kwaliteit in bedrijf, Januari 2009 p 14-18.
4. Van Dale Groot Woordenboek van de Nederlandse Taal, 14e Editie, 2005, 's-Hertogenbosch
5. Gezondheidsraad. Persoonsdosimetrie bij beroepsmatige blootstelling aan ioniserende straling. 2008
6. ICRP 76 Protection from Potential Exposure: Application to Selected Radiation Sources 1997
7. Grimbergen TWM. Arbo-Informatieblad 27 Ioniserende straling. 2003
8. Klaver T, Huyskens ChrJ, Franken Y. HARAS. Beschrijving en resultaten van een analysemethode voor risico-evaluatie van het werken met radioactieve stoffen. Rapportnummer SBD 14092. 1997
9. Bos AJJ, Draaisma FS, Okx WJC. Inleiding tot de Stralingshygiene. Elsevier 2007
10. Fine WT. Mathematical evaluation for controlling hazards. Journal of Safety Research Vol 3(4) 157-166, 1971.
11. Verbakel WHG, Ebben LTM. Risico-evaluatie op radiologische werkplekken. NVS-Nieuws 1999/2, 1999.
12. Slager S. Arbo-Informatieblad 45 Risicobeheersing. 2007
13. Visser EP. Risico's en veiligheidsaspecten van de bereiding en toediening van radiofarmaca in de nucleaire geneeskunde. Scriptie augustus 2007, UMC St Radboud Nijmegen

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl