

# Ioniserende straling

Opgesteld door:  
Albert Keverling Buisman  
Guus Hoorenman  
Eric van Rongen  
Gerard Kars

27 februari 2008

# Inhoudsopgave

<b>1. Effect van risicofactor</b> .....	4
1.1 Beschrijving risico's .....	4
1.1a Radioactieve stoffen .....	4
1.1b Toestellen .....	5
1.1c Kosmische straling .....	5
1.1d Biologische effecten .....	5
1.2 Omvang problematiek .....	8
<b>2. Relevante werksituaties</b> .....	9
2.1 Relevante branches .....	9
2.2 Relevante beroepen .....	9
<b>3. Inventarisatie- en evaluatie</b> .....	10
3.1 Risico-inventarisatie .....	10
3.2 Meten .....	11
3.3 Blootstellingsmeting .....	12
3.4 Effectmeting .....	13
<b>4. Wetgeving</b> .....	13
4.1 Arbowet .....	13
4.2 Arbobesluit .....	13
4.3 Arboregelingen .....	13
4.4 Overige nationale wetgeving .....	13
4.5 Europese wetgeving .....	15
<b>5. Beleid</b> .....	16
5.1 Arboconvenanten .....	16
5.2 CAO-afspraken .....	16
5.3 Brancheafspraken .....	16
5.4 Standaardisatie en normen .....	16
<b>6. Beheersmaatregelen</b> .....	17
6.1 Arbeidshygiënische strategie .....	17
6.2 Bronmaatregelen .....	19
6.3 Organisatorische maatregelen .....	19
6.4 Technische maatregelen .....	20
6.5 Persoonlijke beschermingsmiddelen .....	21
<b>7. Medisch onderzoek</b> .....	22
7.1 Gezondheidseffecten en beroepsziekten .....	22
7.2 Diagnostiek en behandeling/begeleiding .....	22
7.3 Kwetsbare groepen en medisch toezicht .....	22
7.4 Preventief medisch onderzoek inclusief vroegdiagnostiek .....	23
<b>8. Werkgeversverplichtingen</b> .....	23
<b>9. Werknemersverplichtingen</b> .....	24
<b>10. Werknemersrechten</b> .....	24
10.1 Rechten individuele werknemers .....	24
10.2 Rechten medezeggenschapsorgaan .....	24

<b>11. Praktijkverhalen</b> .....	25
<b>12. Referenties</b> .....	25
<b>13. Referentie auteur</b> .....	26
<b>14. Peer Review</b> .....	26

# 1. Effect van risicofactor

## 1.1 Beschrijving risico's

Deze paragraaf geeft een beschrijving van de bronnen van ioniserende straling en biologische effecten hiervan op de mens. Dankzij een eeuw ervaring is het risico van blootstelling aan ioniserende straling nauwkeurig bekend.

### Wat is ioniserende straling?

Onder ioniserende straling wordt verstaan de soorten straling die in staat zijn ionisaties te veroorzaken in materialen, dat wil zeggen elektronen los te slaan uit dat materiaal. Voor het ioniseren is een minimum hoeveelheid energie nodig, de ionisatie-energie. De ionisatie-energie van een atoom of molecuul wordt uitgedrukt in elektronvolt (eV). Een elektronvolt is de energie die een elektron krijgt of afstaat als een elektron een spanningsverschil van 1 volt doorloopt. Ionisatie-energieën van verschillende materialen liggen in de orde van 10 eV. De energie van ioniserende straling is noodzakelijkerwijs vele malen groter dan 10 eV, bijvoorbeeld 1000 eV (= 1 keV) of nog groter. Ioniserende straling bestaat zodoende uit deeltjes met een bewegingsenergie met deze energie of groter. Maar ook elektromagnetische straling kan voldoende energie bevatten om ionisatie te veroorzaken.

### Elektromagnetische straling

De energie van elektromagnetische straling hangt af van de frequentie in Hz. Voor een energie van 10 eV is de bijbehorende frequentie 3 PHz ( $3 \times 10^{15}$  Hz). Alleen elektromagnetische straling met een hogere energie of frequentie is in staat ionisaties te veroorzaken. In het elektromagnetische spectrum vinden we de ioniserende straling voorbij het ultraviolet. Zichtbaar licht heeft een energie in de orde van 2 eV (geel): deze straling is niet in staat te ioniseren.

### Stralingsbronnen

Ioniserende straling wordt uitgezonden door radioactieve stoffen en bepaalde toestellen, en kan daarnaast afkomstig zijn van de kosmos. Radioactieve stoffen zijn stoffen waarvan de atoomkernen spontaan uiteenvallen. Tijdens dit desintegratieproces worden deeltjes en/of elektromagnetische straling uitgezonden.

#### 1.1a Radioactieve stoffen

##### Activiteit

De activiteit van een radioactieve stof is het aantal desintegraties per seconde. De eenheid van activiteit is de becquerel, met als symbool Bq. Vaak worden kBq (10<sup>3</sup> Bq), MBq (10<sup>6</sup> Bq), etc. toegepast. In bijgaande tabel zijn enkele toepassingen aangegeven waarbij deze veelvouden voorkomen.

Typische activiteitseenheden	
mBq	Ecologie, urineanalyse
Bq	Vrijstellingsgrenzen, natuurlijke activiteit
kBq	IJkbronnetjes, brandmelders
MBq	Nucleaire geneeskunde, radionuclidenlaboratorium
GBq	Radiografie, radionuclidengenerator
TBq	Productie van radionucliden, lozing opwerkingsfabriek
PBq	Atoomexplosies, Tsjernobyl

##### Halveringstijd

De activiteit van een radioactieve stof neemt af in de loop van de tijd. Voor elke radioactieve stof is de halveringstijd karakteristiek. De halveringstijd is de tijd die verloopt totdat de activiteit tot de helft is afgenomen. Halveringstijden variëren van microseconden tot miljarden jaren.

##### Alfastraling

Alfastraling bestaat uit dubbelgeladen hoogenergetische heliumkernen ( $4\text{He}^{++}$ ), alfadeeltjes. De energie van deze deeltjes varieert van 3 tot 9 MeV. Alfadeeltjes hebben in materie een zeer korte dracht: enkele tientallen micrometers. Over deze afstand veroorzaken zij een groot aantal ionisaties, en dus veel schade. Anderzijds worden alfadeeltjes door een dunne laag materiaal (bv papier of de dode opperhuid) volledig tegengehouden.

## **Bètastraling**

Bètastraling bestaat uit snelle elektronen afkomstig uit de kern van het vervallende atoom. De energie van deze bètadeeltjes loopt van enkele keV tot enkele MeV. De dracht van deze elektronen varieert van enkele millimeters in vaste stof tot enkele tientallen meters in lucht. Langs de baan van het bètadeeltje vinden ionisaties plaats, waardoor het deeltje langzaam afremt. De ionisatiedichtheid langs de baan is veel kleiner dan die van alfastraling.

Bij het verval van een kern kunnen ook positief geladen elektronen worden uitgezonden. Dit zijn positronen. Het gedrag van deze deeltjes is gelijk aan dat van (negatief geladen) elektronen. Alleen als zo'n positron aan het eind van de baan tot stilstand is gekomen gebeurt er iets bijzonders: het positron smelt samen met een elektron (uit het materiaal), de beide deeltjes verdwijnen en er ontstaat hoogenergetische elektromagnetische straling. De eigenschappen van deze zogenoemde annihilatiestraling zijn verder gelijk aan die van gammastraling.

Naast bètastraling kunnen ook elektronen van andere oorsprong bij het verval van een kern worden uitgezonden. Dit zijn Auger- en conversie-elektronen. De eigenschappen van deze elektronen zijn vergelijkbaar met die van bètadeeltjes.

Elektronen worden afgeschermd door enkele millimeters metaal of een centimeter plastic.

## **Gammastraling**

Gammastraling is elektromagnetische straling afkomstig uit de kern van het vervallende atoom. De energie van de uitgezonden gammastraling ligt tussen 10 keV en 10 MeV. Langs de baan van de gammastraling vindt interactie plaats met het materiaal, waarbij elektronen uit dit materiaal worden losgeslagen. Deze elektronen remmen af in het materiaal op dezelfde manier als bètadeeltjes. De afstanden die gammastraling kan afleggen zijn groot: van meters in vaste stof tot kilometers in lucht. Voor een goede afscherming zijn zware materialen nodig, zoals lood of beton.

### **1.1b Toestellen**

#### **Röntgentoestel**

Een toestel is een elektrisch apparaat, waarin deeltjes versneld worden. Het meest gebruikt is het röntgentoestel. In een vacuümbuis zijn twee elektroden aangebracht, waartussen een spanningsverschil bestaat van 30-300 kV. Elektronen versnellen zich over dit spanningsverschil tot een energie van 30-300 keV. Als zo'n elektron de elektrode treft remt dit daarin af. Tijdens dit afremmingsproces ontstaan niet alleen ionisaties in het materiaal, maar ook elektromagnetische straling: röntgenstraling. De maximale energie van röntgenstraling is gelijk aan de maximale elektronenergie. De eigenschappen van röntgenstraling zijn gelijk aan die van gammastraling, alleen de afkomst is anders.

Een speciale uitvoering van het röntgentoestel is de CT-scanner. Hierin draait een röntgenbuis rond de patiënt, waardoor een gedetailleerd beeld van de inwendige organen verkregen kan worden.

#### **Lineaire versneller**

Een ander toestel is de lineaire (elektron)versneller, zoals gebruikt bij radiotherapie. Ook hierin worden elektronen versneld, maar tot veel hogere energie dan bij een röntgentoestel. De elektromagnetische straling die ontstaat bij het afremmen van deze elektronen ligt in de orde van enkele tientallen MeV. De eigenschappen van deze elektromagnetische straling zijn gelijk aan die van gammastraling.

In een cyclotron worden andere deeltjes dan elektronen versneld, bijvoorbeeld protonen voor de productie van radioactieve stoffen.

Tenslotte zij opgemerkt dat een kernreactor geen toestel is. In een kernreactor worden op grote schaal radioactieve stoffen geproduceerd door het splijten van kernen en door activering. Het zijn deze radioactieve splijststoffen die uiteindelijk het stralingsrisico bepalen.

### **1.1c Kosmische straling**

#### **Galactische straling**

Kosmische straling is voornamelijk afkomstig van het melkwegstelsel en neemt sterk toe met de hoogte boven het aardoppervlak. Het bestaat uit zeer hoogenergetische deeltjes, die bij intrede in de atmosfeer een lawine van andere deeltjes produceren. In zo'n lawine komen snelle neutronen voor, die ionisaties kunnen veroorzaken. Neutronenstraling is dus ook een soort ioniserende straling.

### **1.1d Biologische effecten**

#### **Geabsorbeerde dosis**

Het blijkt dat ionisaties in levend weefsel het meeste effect hebben als het DNA getroffen wordt.

Schade aan het DNA is dan ook het belangrijkste beginpunt voor biologische effecten. De mate van

schade is afhankelijk van het aantal ionisaties in een cel. Elke ionisatie kost een zekere energie en elke cel heeft een zekere massa. Het aantal ionisaties in een cel is dus evenredig met de geabsorbeerde energie per kg weefsel. Het is dan ook de grootte "geabsorbeerde dosis"  $D$  met als eenheid J/kg die ten grondslag ligt aan de beschrijving van de biologische effecten van ioniserende straling. De eenheid van geabsorbeerde dosis heeft de speciale naam gray (Gy) toegewezen gekregen. In de stralingsbescherming wordt veelal de orgaandosis toegepast, dat wil zeggen de geabsorbeerde energie in het getroffen orgaan  $T$  gedeeld door de massa van dat orgaan. Deze grootte wordt aangeduid met  $D_T$ .

### Stralingsweegfactor

Het biologisch effect van straling hangt sterk samen met de ionisatiedichtheid. Hoe groter deze is, des te dichter liggen de ionisaties dicht bij elkaar, en des te groter is de kans op DNA-schade. Het biologische effect is zodoende groter. Dit feit wordt in rekening gebracht door de invoering van een stralingsweegfactor  $w_R$ . Bèta- en gammastraling vormen de norm, hiervoor geldt per definitie  $w_R = 1$ . Voor alfastraling geldt  $w_R = 20$ , terwijl voor neutronen de stralingsweegfactor uiteenloopt van 2 tot 20, afhankelijk van de energie.

### Equivalente orgaandosis $H_T$

Voor de beschrijving van het biologische effect op een orgaan  $T$  is het nodig de orgaandosis  $D_T$  te vermenigvuldigen met de stralingsweegfactor  $w_R$ . Dit product wordt de equivalente dosis  $H_T$  genoemd:  $H_T = w_R D_T$ . Voor deze grootte is een speciale eenheid in het leven geroepen: de sievert, met als symbool Sv. Voor bèta- en gammastraling zijn geabsorbeerde dosis  $D_T$  in Gy en equivalente dosis in  $H_T$  Sv numeriek aan elkaar gelijk. Voor alfastraling moet wegens de korte dracht de bron in het orgaan  $T$  zelf aanwezig zijn. Dan geldt  $H_T = 20 D_T$ .

### Effectieve dosis $E$

Het biologisch effect van blootstelling van het gehele menselijk lichaam aan ioniserende straling hangt echter niet alleen van de stralingssoort af, maar ook van de gevoeligheid van de getroffen organen. Met gevoeligheid wordt hier bedoeld de gevoeligheid voor de inductie van kanker in het orgaan, afgeleid uit epidemiologische gegevens. De relatieve stralingsgevoeligheid van elk orgaan wordt in rekening gebracht middels de weefselweegfactor  $w_T$ . De som over alle organen  $T$  van het product van equivalente orgaandosis  $H_T$  en weefselweegfactor  $w_T$  wordt de effectieve dosis  $E$  genoemd: in formule  $E = \sum w_T H_T$ . De eenheid van de effectieve dosis is de Sv. De effectieve dosis  $E$  is een maat voor het kankerrisico, waarbij als norm is gekozen voor een uniforme blootstelling van alle organen. Zijn slechts enkele organen blootgesteld dan is het risico hiervan kleiner, afhankelijk van de weefselweegfactor. In bijgaande tabel zijn de weefselweegfactoren bijeengebracht. De tabel van 1991 blijft van kracht totdat de jongste waarden van 2007 in de wet zijn opgenomen.

#### Weefselweegfactoren

Orgaan of weefsel	$w_T$ (1991)	$w_T$ (2007)
Gonaden*	0,20	0,08
Rood beenmerg	0,12	0,12
Dikke darm	0,12	0,12
Longen	0,12	0,12
Maag	0,12	0,12
Borstklier	0,05	0,12
Blaas	0,05	0,04
Lever	0,05	0,04
Slokdarm	0,05	0,04
Schildklier	0,05	0,04
Huid	0,01	0,01
Botoppervlak	0,01	0,01
Hersenen	-	0,01
Speekselklieren	-	0,01
Overige weefsels/organen	0,05	0,12
Gehele lichaam	1	1

\* Voor gonaden is de weefselweegfactor ook afgeleid van de kans op aangeboren afwijkingen bij het nageslacht.

Stel een alfastralende radioactieve stof geeft een longdosis van  $D_{LONG} = 1$  mGy en geen aanmerkelijke dosis op andere organen. Dan is de equivalente longdosis  $H_{LONG} = 20$  mSv ( $w_R = 20$  voor alfa's). De effectieve dosis wordt dan  $E = w_{LONG} H_{LONG} = 0,12 \times 20 = 2,4$  mSv. Deze effectieve dosis geeft hetzelfde risico op inductie van kanker als een blootstelling van het gehele lichaam aan 2,4 mSv.

### Dosis ten gevolge van inwendige besmetting

Elke radioactieve stof kan in het lichaam worden opgenomen. Dit kan door inslikken, inademen, injectie of diffusie door de huid. Als zo'n stof zich in het lichaam bevindt bestraalt deze de verschillende organen en veroorzaakt zodoende een dosis in die organen. De bestraling gaat door totdat de radioactieve stof vervallen is of uit het lichaam is uitgescheiden. Voor stoffen die hardnekkig in organen worden vastgehouden wordt een maximale blootstellingsduur van 50 jaar na inname verondersteld. Er kan worden berekend hoe groot de totale orgaandosis is die over deze periode van maximaal 50 jaar wordt opgelopen. Met behulp van de stralings- en weefselweegfactoren kan zodoende ook de effectieve dosis bepaald worden: de effectieve volgdosis. Voor alle radioactieve stoffen zijn de conversiecoëfficiënten bepaald die het verband aangeven tussen inname (in Bq) en effectieve volgdosis in Sv/Bq. Deze coëfficiënten zijn gepubliceerd in het Besluit stralingsbescherming.

### Onderverdeling van risico's

De risico's van blootstelling aan straling kunnen worden onderverdeeld in

- weefselreacties
- stochastische effecten.

### Weefselreacties

Bij hoge doses ( $> 0,1$  Gy) is er zoveel schade aan het getroffen orgaan dat dit orgaan minder gaat functioneren. In bijgaande tabel is een overzicht gegeven van de drempeldosis waarbij de genoemde weefselreactie wordt verwacht (overgenomen uit Gezondheidsraad 2007/03).

Effect	Orgaan/weefsel	Ontwikkelingstijd	Drempeldosis (Gy)
Tijdelijke steriliteit	Testis	3-9 weken	0,1
Permanente steriliteit	Testis	3 weken	6
Permanente steriliteit	Ovaria	< 1 week	3
Afname bloedvorming	Beenmerg	3-7 dagen	0,5
Erytheem	Huid	1-4 weken	< 3-6
Huidverbranding	Huid	2-3 weken	5-10
Tijdelijke ontharing	Huid	2-3 weken	4
Cataract	Oog	jaren	1,5
Overlijden aan beenmergsyndroom	Beenmerg	30-60 dagen	1
Idem met goede zorg	Beenmerg	30-60 dagen	2-3
Overlijden aan darmsyndroom	Dunne darm	6-9 dagen	6
Idem met goede zorg	Dunne darm	6-9 dagen	>6
Pneumonitis	Long	1-7 maanden	6

### Stochastisch effect: Kankerinductie

Bij lagere dosis treden er geen merkbare weefselreacties op, maar kan er wel schade worden toegebracht aan het DNA in de cel. In het overgrote deel van de gevallen wordt deze schade gerepareerd of is de schade zo groot dat de cel zich niet meer kan delen. In beide gevallen is er uiteindelijk geen effect op het menselijk lichaam. Treedt de schade echter precies op in een essentieel deel van het DNA en gaat de cel niet dood, dan kan op den duur uit deze ene cel kanker ontstaan. Er is een kleine maar niet verwaarloosbare kans dat dit proces zich voordoet. De ernst van het effect (kanker) is niet afhankelijk van de dosis, wel de kans op dit effect. Dit heet een stochastisch effect. Verder is er sprake van een lange latente periode tussen de bestraling en het tot uiting komen van de kanker. Deze periode loopt uiteen van 2 jaar voor leukemie tot vele tientallen jaren voor andere vormen van kanker.

### Stochastisch effect: Genetische afwijkingen

Een ander stochastisch effect is genetisch van aard: de schade vindt plaats in het DNA van een zaad- of eicel. Als een van deze beschadigde cellen bij de conceptie met een andere samensmelt tot een embryo dan kan een aangeboren afwijking optreden bij het kind. Dit effect is weliswaar bij de mens

nog nooit waargenomen, maar uit dierproeven wordt afgeleid dat er toch rekening mee moet worden gehouden. Dit effect moet niet worden verward met de gebeurtenissen die kunnen optreden bij bestraling van de ongeboren vrucht.'

### Schade aan het ongeboren kind

Bij bestraling van de ongeboren vrucht is de kans op kanker in het latere leven aanzienlijk groter dan bij de volwassen mens. Er zijn daarom extra maatregelen nodig om zwangere werknemers te beschermen. Bij hoge doses (groter dan 1 Gy) zijn er bij proefdieren effecten waargenomen die sterk afhangen van het stadium van de groei van de vrucht. In de periode waarin de organen worden aangelegd (3-15 weken na conceptie) is de vrucht het meest gevoelig voor stralingschade.

### Numerieke waarden voor het risico

Bij de bescherming van werknemers tegen de gevolgen van ioniserende straling wordt aangenomen dat de kans op inductie van kanker evenredig toeneemt met de stralingsdosis. Volgens de International Commission on Radiological Protection (ICRP) is de kans op kankerinductie bij werknemers 4,1% per Sv effectieve dosis. Deze schatting is gebaseerd op epidemiologische gegevens over kankerincidentie, gewogen voor de kans op overlijden, de aantasting van de kwaliteit van het leven en het aantal verloren levensjaren.

Dit getal kan als volgt worden toegepast: bij blootstelling van 100 personen ieder aan 1 Sv zullen hiervan er 4,1 later in hun leven last krijgen van kanker. Wegens het veronderstelde lineaire karakter van de dosis-effectrelatie geldt dit ook voor 1000 personen die aan 0,1 Sv zijn blootgesteld en voor 10.000 personen die 0,01 Sv (10 mSv) hebben ontvangen. In al deze gevallen is de collectieve dosis gelijk aan 100 mens.Sv. Dergelijke beschouwingen kunnen worden toegepast om een risico-evaluatie getalsmatig te onderbouwen.

Voor genetische effecten voor werknemers is een kans van 0,1% per Sv afgeleid. Dit getal ligt aanzienlijk lager dan vroeger werd aangenomen.

### Literatuur over biologische effecten

Een in het Nederlands gesteld overzicht van de biologische effecten is te vinden in [publicatie 2007/03](#) van de Gezondheidsraad. Voor een gedetailleerde beschouwing in het Engels omtrent de effecten van ioniserende straling op de mens kan worden verwezen naar het [basisdocument](#) van de International Commission on Radiological Protection(ICRP).

## 1.2 Omvang problematiek

De stralingsdosis van werknemers wordt op individueel niveau vastgesteld, ofwel door dosimetrie ofwel door berekening. Dit maakt dat nauwkeurig bekend is welke stralingsdosis in de verschillende beroepsgroepen wordt ontvangen.

### Collectieve dosis

Om vast te stellen welke beroepsgroepen het meest in aanraking komen met ioniserende straling is de collectieve dosis een indicator. De collectieve dosis is de som van de individuele doses die in de betrokken branche worden ontvangen. Wegens de veronderstelde lineaire dosis-effectrelatie is het risico voor een groep werknemers evenredig met de totale ontvangen dosis door deze groep. De collectieve dosis wordt uitgedrukt in mens.sievert (mens.Sv). Uit de collectieve dosis volgt de gemiddelde dosis door deze te delen door het aantal medewerkers.

### Overzicht gemiddelde en collectieve dosis

In bijgaande tabel zijn de meest relevante beroepsgroepen die aan ioniserende straling zijn blootgesteld bijeengebracht met aantallen, collectieve en gemiddelde dosis over 2002.

Toepassing	Aantal werknemers	Collectieve dosis (mens.Sv)	Gemiddelde dosis (mSv)
Alle toepassingen	47439	24,42	0,51
Luchtvaart	12499	16,77	1,34
Gezondheidszorg	26768	4,90	0,18
Industriële toepassingen	3746	1,82	0,49
Nucleaire toepassingen	1284	0,50	0,39

Diergeneeskunde	2913	0,19	0,06
Overige toepassingen	3139	0,42	0,13

Opvallend is de grote bijdrage aan de collectieve dosis van werknemers in de luchtvaart. Dit komt geheel voor rekening van blootstelling aan kosmische straling op hoogtes groter dan 8 km. De gezondheidszorg telt het grootste aantal blootgestelde werknemers, maar de gemiddelde dosis is bijna een orde van grootte kleiner dan die van het vliegend personeel.

De gemiddelde dosis bij industriële toepassingen komt grotendeels voor rekening van het niet-destructief onderzoek met mobiele opstellingen, gevolgd door isotopenproductie.

De bijdrage van de nucleaire sector is gering, zowel in aantallen werknemers als in collectieve dosis.

De overige toepassingen omvatten ook het werken met natuurlijke radioactieve stoffen, zoals voorkomt bij delfstofwinning en verwerking.

Lijst van toepassingen

Een uitputtende lijst van toepassingen waarbij personen aan ioniserende straling kunnen worden blootgesteld is te vinden in de [Regeling rechtvaardiging gebruik ioniserende straling](#).

## 2. Relevante werksituaties

### 2.1 Relevante branches

Voor een overzicht van relevante branches wordt verwezen naar hoofdstuk 2.2. Onder overige werkzaamheden valt in het bijzonder de omgang met natuurlijke radioactieve stoffen. Dit soort werkzaamheden vindt plaats bij het verwerken van grote hoeveelheden delfstoffen, zoals in de olie- en gaswinning, bij hoogovens en in de fosfaatindustrie. Ook sommige zanden die in de keramische industrie worden gebruikt zijn licht radioactief.

### 2.2 Relevante beroepen

In bijgaand overzicht zijn de meest voorkomende beroepen van blootgestelde werknemers aangegeven.

Sector	Beroepen	Blootstelling aan
Luchtvaart	Vlieger, cabinepersoneel	Kosmische straling
Gezondheidszorg	Specialist, tandarts, dierenarts, verpleegkundige, radiologisch laborant, technicus, klinisch fysicus	Röntgenstraling
	Medisch nucleair werker, laboratoriummedewerker, cyclotronoperator	Bèta/gammastraling
Industriële toepassingen	Medewerker niet-destructief onderzoek	Röntgenstraling, gammastraling
	Medewerkers isotopenproductie, cyclotronoperator	Bèta/gammastraling Neutronenstraling
	Medewerker bagagedoorlichting	Röntgenstraling
Nucleaire toepassingen	Reactoroperator, stralingstechnicus, analist radionuclidenlaboratorium	Alle vormen van straling
Diergeneeskunde	Dierenarts, radiologisch laborant	Röntgenstraling
Overige toepassingen	Wetenschappelijk onderwijs, onderzoeker, student	Alle vormen van straling
	Medewerker delfstofindustrie	Alfa/bèta/gammastraling

## 3. Inventarisatie- en evaluatie

### 3.1 Risico-inventarisatie

Een beproefd en wettelijk voorschreven methode om tot beheersing van risico's te komen is de risico-inventarisatie en –evaluatie. Een systematische risico-inventarisatie per categorie zorgt ervoor dat er geen risico's over het hoofd worden gezien. De evaluatie beschouwt de grootte van het risico en de maatregelen die genomen moeten worden om tot vermindering van dit risico te komen. In de stralingsbescherming zijn risico en stralingsdosis direct met elkaar verbonden.

#### Risico-inventarisatie en -evaluatie

In artikel 10 van het [Besluit stralingsbescherming](#) wordt de ondernemer opgedragen bij nieuwe toepassingen een risico-inventarisatie en –evaluatie uit te voeren en de bevindingen vast te leggen, waarbij verwezen wordt naar artikel 5 van de Arbeidsomstandighedenwet.

Er is in dit verband een grote rol weggelegd voor de stralingsdeskundige. Deze zorgt ervoor dat “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”. Bijzonder is hierbij de noodzaak voor het verlenen van toestemming voorafgaand aan de handeling. Dit blijkt ook uit lid 2 van het artikel 10: “De ondernemer zorgt ervoor dat een nieuwe of gewijzigde bron niet in gebruik wordt genomen dan na een acceptatietest door de deskundige, gevolgd door diens toestemming om de bron in gebruik te nemen”.

#### Algemene RI&E-vragen

De volgende vragen komen bij een risico-inventarisatie en -evaluatie van ioniserende straling aan de orde:

- Welke bronnen zijn er in het bedrijf aanwezig?
- Welke stralingsdosis loopt een medewerker op bij de omgang met deze bronnen onder normale omstandigheden?
- En bij onregelmatigheden in de bedrijfsvoering (potentiële blootstelling)?
- Hoe kunnen deze risico's worden beheerst?
- Is het risico zo laag als redelijkerwijs mogelijk (ALARA)?

De risico-inventarisatie heeft ook betrekking op blootstelling van de bevolking, maar in dit dossier wordt alleen de werknemers in de beschouwing betrokken. In bijzondere gevallen is er echter sprake van een uitruil van bevolkingdosis tegen die van de werknemers. Zo kan bijvoorbeeld een lozing van een radioactieve stof worden voorkomen door insluiting: dit verlaagd de bevolkingsdosis, maar verhoogd die van werknemers. Het is dus zaak niet alleen naar werknemersdoses te kijken.

#### Inventarisatie van bronnen

Voor de omgang met ioniserende straling is een vergunning van de (rijks)overheid vereist. Bij minder risicovolle toepassingen kan er volstaan worden met een melding. In de melding of de vergunningsaanvraag behoort te worden opgegeven welke toestellen of radioactieve stoffen er aanwezig zullen zijn bij het bedrijf. Inventarisatie is daarom vanaf het begin van de toepassing verplicht. Tijdens bedrijf behoort er voortdurend administratie te worden gevoerd van de aanwezige toestellen en radioactieve stoffen.

#### Schatting van de stralingsdosis

Voor elke bron moet worden vastgesteld welke dosis werknemers kunnen ontvangen. Voor toestellen (röntgentoestel, CT-scanner, diffractieapparaat, cyclotron, etc) is de maximale hoogspanning of de maximale deeltjesenergie een maat voor het mogelijk te ontvangen stralingsdosis. Voor radioactieve stoffen is de maximaal te hanteren activiteit van belang voor het schatten van de dosis. In het laatste geval dient ook rekening te worden gehouden met mogelijke inwendige bestraling.

Voor externe straling kan de werknemersdosis geschat worden door het gemeten dosistempo op werkafstand te vermenigvuldigen met de verblijftijd ter plaatse. Let erop dat deze berekening niet alleen wordt gemaakt voor de werknemer die de werkzaamheden uitvoert, maar ook voor andere werknemers die in de buurt van de bron kunnen verblijven, eventueel zelfs in een aangrenzende ruimte (ook op verdiepingen boven of onder de werkruimte).

Voor de dosis ten gevolge inwendige besmetting met radioactieve stoffen, is het nodig een schatting te maken van het verspreidingsrisico. Voor laboratoria is deze schatting in brede zin uitgevoerd in het rapport [Beheersing van risico's bij handelingen met open bronnen in laboratoria](#). In dit rapport is berekend welke hoeveelheden radioactieve stof in een laboratorium gehanteerd kunnen worden

zonder onnodig grote risico's voor werknemers. In de praktijk worden de belangrijkste delen van dit rapport aan de vergunning toegevoegd. Voor toepassingen buiten het laboratorium moeten aparte analyses worden gemaakt.

In de praktijk kan met vrucht gebruik worden gemaakt van de individuele dosisgegevens, zoals deze met persoonlijke dosimeters gemeten zijn. Deze meetgegevens geven directe informatie over de daadwerkelijk ontvangen dosis van elke werknemer en daarmee ook de collectieve dosis van groepen werknemers.

### **Onregelmatigheden**

Bij de inventarisatie van mogelijke stralingsdoses behoort ook rekening gehouden te worden met onregelmatigheden tijdens de werkzaamheden. Dit is vooral het geval bij onderhoud en reparatie. Wat kan er gebeuren als iemand ongewild een toestel aanzet tijdens onderhoud? Wat als een radioactieve stof uit de omhulling komt? Hoe groot zou de dosis kunnen zijn als een afsluiter niet naar behoren functioneert? Welke dosis loopt een werknemer op als een beveiliging overbrugd is?

### **Beheersing van risico's**

Specifieke beheersmaatregelen bij de omgang met bronnen zijn aangegeven in hoofdstuk 6. Bij externe straling zijn beperking van de bronsterkte, afscherming, afstand houden en beperking van de blootstellingduur de meest aangewezen middelen. Voor het voorkómen van inwendige besmettingen zijn daarnaast insluiting, ventilatie en tenslotte ademhalingsbescherming van belang.

### **Evaluatie**

De evaluatie van de ontvangen werknemersdosis geschiedt op meerdere niveaus. Wettelijk gezien is het noodzakelijk dat er geen limieten zijn overschreden. Maar dat is niet voldoende. Een belangrijk aspect van de evaluatie is de vraag of de dosis wel zo laag als redelijkerwijs mogelijk is (*As Low As Reasonably Achievable*, ALARA). Dit ALARA-beginsel is verreweg het meest doorslaggevend bij de beheersing van stralingsrisico's. Een middel hierbij is de collectieve dosis van een groep werknemers met vergelijkbare taken in de loop van de tijd te volgen, zodat kan worden nagegaan of dosisreducerende maatregelen effect sorteren of dat er een sluipende verhoging van de dosis is opgetreden.

## **3.2 Meten**

Ioniserende straling heeft als nadeel dat het niet zintuiglijk waarneembaar is. Maar er bestaan wel uitermate gevoelige instrumenten, die de straling of besmetting meten. Een voorbeeld hiervan is de dosistempometer, die met een grote gevoeligheid het dosistempo in een ruimte vaststelt.

### **Omgevingsmeting gamma/röntgenstraling**

Voor het meten van de gammastralingsintensiteit is de dosistempometer het meest aangewezen. Deze geeft een schatting van het effectieve-dosistempo ter plaatse van het instrument in millisievert of microsievert per uur (mSv/h,  $\mu$ Sv/h). Van belang bij de keuze van een dosistempometer zijn de volgende punten:

- Voldoend groot meetbereik. Hierbij behoort zeer duidelijk te zijn welk bereik is ingeschakeld. De moderne apparaten zijn uitgerust met een zogenaamde "autoscaling"-schakeling. Deze zorgt ervoor dat het bereik automatisch goed wordt gekozen.
- Eenvoudige bediening. Niet al te veel knoppen.
- Directe aanwijzing van het dosistempo. Het is soms een probleem dat de aanwijzing pas na enige tijd stabiel wordt, vooral als het dosistempo erg laag ligt.
- Voldoende nauwkeurigheid. Over het algemeen is 20% voor stralingshygiënische doeleinden voldoende. De energieafhankelijkheid behoort ook niet meer dan deze 20% te variëren. Als het goed is wordt het energiebereik waarvoor de aanwijzing geldt op het instrument vermeld.
- Behoud van aanwijzing bij een zeer hoog dosistempo. Bij sommige typen kan het gebeuren dat de aanwijzing terugvalt naar nul als het instrument in een hoog stralingsveld wordt gehouden.
- Eenvoudige mogelijkheid om de goede werking van het instrument te kunnen testen. Meestal is het voldoende om een klein gammastralend bronnetje op een aangegeven plaats voor het apparaat te plaatsen.

Voor het meten op plaatsen waar een hoog dosistempo heerst zijn speciale uitvoeringen ontworpen waarbij de opnemer aan het einde van een uitschuifbare hengel is gemonteerd. Op werkplekken waar de mogelijkheid bestaat dat er plotseling een hoog dosistempo optreedt is de plaatsing van een vaste alarmmonitor aangewezen. Zo'n monitor meet voortdurend het stralingsniveau ten gevolge van röntgen- of gammastraling in de betrokken ruimte.

#### **Omgevingsmeting bètastraling**

Er zijn instrumenten in de handel die het dosistempo ten gevolge van bètadeeltjes bepalen. Deze worden echter in de dagelijkse praktijk vrijwel niet gebruikt. Voor het vaststellen van de aanwezigheid van radioactieve stoffen die bètastraling uitzenden is men aangewezen op besmettingsmeters. Hetzelfde geldt voor de aanwezigheid van alfastralende radioactieve stoffen.

#### **Omgevingsmeting besmetting met radioactieve stoffen**

Voor het meten van de hoeveelheid radioactieve stoffen op een oppervlak is de besmettingsmeter ontworpen. Deze meter heeft een platte meetkop die gevoelig is voor bèta- en/of alfastraling. Meestal is de gevoeligheid van zo'n instrument voor gammastraling gering. De besmettingsmeter geeft geen indicatie van het dosistempo, alleen van de aantallen uitgezonden bèta- en/of alfadeeltjes.

Besmettingsmeters worden overal toegepast waar radioactieve stoffen verspreid kunnen worden. Een bijzondere besmettingsmeter is de portaalmonitor. Bij het verlaten van een gecontroleerd gebied staat de werknemer enige tijd in een portaal, waarin detectoren met een groot oppervlak zijn aangebracht. Deze monitor detecteert met name bètastralende radioactieve stoffen met een grote gevoeligheid.

Een andere beproefde methode om vast te stellen in hoeverre een werkomgeving besmet is met radioactieve stoffen is de veegproef. Hierbij wordt het betrokken oppervlak (labtafel, vloer) afgeveegd met een papertje of glasvezelfilter. De verzamelde radioactieve stoffen worden vervolgens gemeten. Uit de uitslag kan de afwrijfbare oppervlaktebesmetting worden berekend.

#### **Omgevingsmeting luchtconcentratie**

Op werkplekken waar de mogelijkheid bestaat dat er plotseling een hoge concentratie radioactieve stoffen optreedt is de plaatsing van een luchtmonitor aangewezen. Zo'n monitor bestaat uit een pomp waarmee lucht door een filter wordt gezogen. Een detector meet voortdurend de verzamelde activiteit en geeft alarm bij overschrijding van een vooraf ingesteld niveau. Ook kan het filter uit het apparaat genomen worden voor meting achteraf.

### **3.3 Blootstellingsmeting**

Omgevingsmetingen geven een indicatie over de ontvangen effectieve dosis. Hoe groot de blootstelling van een werknemer werkelijk is geweest kan worden bepaald met een persoonlijke dosismeter.

#### **Persoonlijke dosismeters**

Voor de meeste blootgestelde werknemers is het dragen van een persoonsdosismeter verplicht. Een persoonsdosismeter is een meetinstrument waarmee over een gegeven periode het persoonsdosisequivalent wordt bepaald. Het persoonsdosisequivalent is een maat voor de ontvangen effectieve dosis. De uitslag van de persoonsdosismeter is kan gebruikt worden om vast stellen of een limiet is overschreden. Maar ook kan deze uitslag getoetst worden aan de uitgangspunten van RI&E en het ALARA-beginsel.

Persoonsdosismeters moeten worden betrokken van erkende dosimetrische diensten. Erkende diensten zijn gevestigd in Arnhem (NRG), Eindhoven (TU) en Amsterdam (VU).

#### **Meting aan de persoon**

Als vermoed wordt dat een werknemer inwendig besmet is met radioactieve stoffen kan een meting aan de persoon zelf uitsluitel geven. Bij gammastralende radionucliden is een zogenaamde totale-lichaams-telling aangewezen. In een totale-lichaamssteller meet men de door het lichaam uitgezonden gammastraling. Hiermee kan het nuclide worden geïdentificeerd en gekwantificeerd. Voor nucliden die geen gammastraling uitzenden is men aangewezen op de meting van de concentratie in uitscheidingsproducten, zoals de urine. Met behulp van tabellen, bijvoorbeeld zoals gepubliceerd in [Handboek Radionucliden](#), kan uit deze metingen de inname (hoeveelheid radioactieve stof die de werknemer heeft ingeademd of ingeslikt) worden afgeleid en daarmee de dosis met behulp van de dosisconversiecoëfficiënten zoals gepubliceerd in het Besluit stralingsbescherming.

## 3.4 Effectmeting

De effecten van blootstelling aan ioniserende straling komen meestal na een zeer lange tijd (tientallen jaren) aan het licht. Alleen bij blootstelling aan hoge doses is er een direct effect te meten.

### Meting aan de individuele werknemer

Het meten van het effect van ioniserende straling op de werknemer heeft alleen zin bij hoge doses (groter dan 1 Gy). Dergelijke doses komen uitsluitend voor bij ongevallen. Voor meting en behandeling van overbestraalde werknemers is het Leids Universitair Medisch Centrum de aangewezen instantie. Voor wat betreft kankerinductie is het niet mogelijk vast te stellen of een ontstane kanker het gevolg is van blootstelling aan ioniserende straling. Dit komt omdat stralingsgeïnduceerde kankers geen bijzondere kenmerken hebben, omdat er een lange latente periode is en omdat het effect een kansproces is.

### Epidemiologie

De effecten van blootstelling aan ioniserende straling op de mens bij lage doses worden verkregen uit epidemiologische onderzoeken aan grote groepen blootgestelden. Van doorslaggevend belang is hierbij de groep overlevenden van de atoombomexplosies in Japan in 1945. De bij een bepaalde blootstelling behorende kans op het krijgen van kanker zoals vermeld in hoofdstuk 3.3 is hieruit afgeleid voor personen van alle leeftijden en geslachten. Voor werknemers is de groep van 18-65 jaar apart beschouwd. Daarnaast zijn er onderzoeken uitgevoerd onder blootgestelde werknemers in de nucleaire industrie. Deze onderzoeken leiden tot kansgroottes die in overeenstemming zijn met die uit Japan.

## 4. Wetgeving

### 4.1 Arbowet

De algemene voorschriften uit de [Arbeidsomstandighedenwet](#) zijn van toepassing bij beroepsmatige blootstelling aan ioniserende straling. Zo moet er bij toepassingen met ioniserende straling altijd een RI&E worden gemaakt, zoals voorgeschreven in artikel 5. Ook gelden de algemene voorschriften uit de Arbowet met betrekking tot het weigeren of stilleggen van gevaarlijk werk.

Alle voorschriften over de bescherming van werknemers tegen de gevaren van ioniserende straling zijn bijeengebracht in het [Besluit stralingsbescherming](#), dat gebaseerd is op de [Kernenergiewet](#).

### 4.2 Arbobesluit

Het Arbeidsomstandighedenbesluit is niet van toepassing.

### 4.3 Arboregelingen

Er zijn geen Arboregelingen die betrekking hebben op ioniserende straling.

### 4.4 Overige nationale wetgeving

De ontdekking van kernenergie heeft al in een vroeg stadium (1957) geleid tot een Europees verdrag dat tot doel heeft de introductie van kernenergie in goede banen te leiden, het Euratom-verdrag. De bescherming van werknemers is ook in dit verdrag geregeld, in het bijzonder de harmonisatie binnen de lidstaten van de Europese Unie. De bepalingen van het Euratom-verdrag zijn in Nederland geïmplementeerd door middel van de Kernenergiewet. Dit heeft ertoe geleid dat de Kernenergiewet in eerste aanleg van toepassing is op de stralingsbescherming. De algemene bepalingen van de Arbowet zijn van wel toepassing, maar de details worden via de Kernenergiewet geregeld. De Kernenergiewet is een *lex specialis*, hetgeen inhoudt dat in geval van een conflict met andere wetten, de bepalingen van de Kernenergiewet voor gaan.

### Kernenergiewet

Alle voorschriften over de bescherming van werknemers tegen de gevaren van ioniserende straling zijn bijeengebracht in het [Besluit stralingsbescherming](#), dat gebaseerd is op de [Kernenergiewet](#). In het [Euratomverdrag](#) is expliciet vastgelegd dat er basisnormen bestaan voor de bescherming van mensen, dieren en planten tegen de gevaren van ioniserende straling, die in alle lidstaten van de EU van kracht zijn.

### **Kernenergiewet: Meldings- of vergunningsplicht**

Het grondbeginsel van de Kernenergiewet is het verbod op de omgang met ioniserende straling uitzendende toestellen en radioactieve stoffen zonder melding of vergunning. Bij de melding en de vergunningsaanvraag behoren een groot aantal gegevens te worden verstrekt, waaronder een schatting van de verwachte werknemersdoses. Verder worden er eisen gesteld aan de deskundigheid van diegene de werkzaamheden uitvoert of daarop toezicht uitoefent. Deze nadere invulling van meldings- of vergunningsvoorwaarden is geregeld in het Besluit stralingsbescherming.

### **Besluit stralingsbescherming (Bs)**

Het Besluit stralingsbescherming regelt de bescherming tegen ioniserende straling van bevolking, werknemers en van patiënten. In dit dossier is alleen de bescherming van werknemers aan de orde. Rechtvaardiging van toepassingen en het ALARA-beginsel zijn expliciet in het Besluit opgenomen (art. 4 en 5 Bs).

### **Deskundigheid**

Het Besluit kent twee soorten deskundigen: de stralingsarts en de (stralings)deskundige.

De stralingsarts verzorgt het medisch toezicht.

Alle handelingen waarbij stralingsrisico bestaat moeten door een stralingsdeskundige zelf of onder diens toezicht worden uitgevoerd. Het is deze deskundige die alle werkzaamheden vooraf beoordeelt op het stralingsrisico en op grond hiervan al dan niet toestemming verleent voor deze werkzaamheden. Ook de ingebruikname van nieuwe toestellen of van radioactieve bronnen vergt voorafgaande toestemming van de stralingsdeskundige.

Deze bevoegdheden van deskundigen maken dat er een bijzonder artikel is dat in werking treedt als er een conflict is ontstaan tussen directie en deskundige. In zo'n geval moet de inspectie worden ingelicht. De omstreden handeling kan pas worden hervat als de deskundige of de inspectie daarvoor toestemming verleent (art. 10-14 Bs).

### **Opleidingsniveaus**

De opleiding tot stralingsdeskundige is onderverdeeld in vijf niveaus, die genummerd zijn van 1 (het hoogste niveau) tot 5 (het laagste niveau). Welke opleiding vereist wordt hangt af van de soort apparaten of de gehanteerde activiteit van radioactieve stoffen en van de aantallen bronnen:

Niveau	Risico	Voorbeelden
5	Gering	Röntgentoestel met hoogspanning tot 30 kV Ingekapselde radioactieve bronnen voor dikte of hoogtemeting
4	Middelmatig	Röntgentoestel met hoogspanning tot 100 kV Radioactieve stoffen tot MBq-niveau
3	Groter	Radionuclidenlaboratorium, alle röntgentoestellen, CT-scanners, medische versnellers, delfstoffen
2	Zeer groot	Cyclotron, grote radionuclidenlaboratoria, nucleaire toepassingen
1		Niet ingevuld

In de vergunning wordt aangegeven welke niveau van deskundigheid vereist is.

### **Voorlichting en instructie**

Werknemers behoren voldoende te worden ingelicht over de risico's van blootstelling aan ioniserende straling en het belang van de beschermende maatregelen. Dit geldt in het bijzonder voor vrouwelijke werknemers voor het tijdig melden van een eventuele zwangerschap, aangevuld met kennis omtrent de risico's van straling voor de ongeboren vrucht en bij het zogen van jongen kinderen als inwendige besmetting met radioactieve stoffen niet kan worden uitgesloten (art. 15-17 Bs).

### **Indeling van werkplekken**

Voor de praktische uitvoering van stralingsbeschermingsmaatregelen is een systeem van werkplekindeling ingevoerd (art. 83-85 Bs). Er zijn gecontroleerde en bewaakte werkplekken. De

strengste regels gelden voor gecontroleerde werkplekken. Dit zijn plaatsen waar werknemers een dosis groter dan 6 mSv per jaar kunnen ontvangen of waar een zeker verspreidingsrisico van radioactieve stoffen naar de omgeving bestaat. De toegang tot zo'n gebied is voorbehouden aan diegenen die voor het werk aldaar bevoegd zijn. Deze personen hebben hiertoe schriftelijke instructie ontvangen. Anderen mogen alleen onder begeleiding van een bevoegd persoon het gecontroleerde gebied betreden.

Bewaakte werkplekken zijn plaatsen waar werknemers op jaarbasis een effectieve dosis groter dan 1 mSv, maar kleiner dan 6 mSv kunnen ontvangen. De regels voor toegang tot deze ruimtes zijn minder stringent dan bij gecontroleerde gebieden.

### Indeling van werknemers

Afhankelijk van de verwachte of mogelijke doses die een werknemer in een jaar kan ontvangen wordt hij ingedeeld in categorie A of B (art. 79 Bs). Werknemers worden in categorie A ingedeeld als zij meer dan 6 mSv in een jaar kunnen ontvangen. Categorie-B werknemers zijn zij die een dosis tussen 1 mSv en 6 mSv in een jaar kunnen ontvangen. Er is een relatie tot de indeling van werkplekken in gecontroleerde en bewaakte gebieden, maar die is niet geheel één op één. Werknemers in categorie B kunnen in gecontroleerde gebieden werken als deze indeling is gebaseerd op het verspreidingsrisico van radioactieve stoffen.

### Dosislimieten

De limieten voor de effectieve dosis voor werknemers zijn vermeld in het Besluit stralingsbescherming, art. 76-80. Verder zijn er limieten voor de equivalente dosis bij blootstelling van de huid, de ogen en van extremiteiten, bijeengebracht in bijgaande tabel. Extremiteiten zijn hand, onderarm, voet en enkel.

Limieten in mSv per kalenderjaar voor de effectieve en de equivalente dosis

	Effectief	Equivalent		
		Huid	Extremiteiten	Ooglens
Gewone werknemer	1	50	nvt	15
Blootgestelde werknemer	20	500	500	150
Leerling	6	150	150	50
Ongeboren vrucht	1			

### Medisch toezicht

Voor werknemers in categorie A is een intreekeuring vereist naar de geschiktheid, aangevuld met een jaarlijks onderzoek om vast stellen of deze geschiktheid nog bestaat. De keuringen moeten worden uitgevoerd door een stralingsarts die geregistreerd is bij het Ministerie van SZW. De lijst van geregistreerde stralingsartsen is [hier](#) te vinden.

De keuringen moeten geschieden op basis van de [Wet op de Medische Keuringen](#). Ook na verhoogde blootstelling (bijvoorbeeld bij overschrijding van een dosislimiet of na een noodsituatie) kan een keuring zijn aangewezen (Bs, art. 99).

Werknemers in categorie B behoeven niet te worden gekeurd, voor hen geldt de normale medische begeleiding die voor alle werknemers geldt.

## 4.5 Europese wetgeving

De International Commission on Radiological Protection (ICRP) geeft periodiek aanbevelingen uit over de wijze waarop bescherming tegen de risico's ioniserende straling kan worden gerealiseerd. Deze aanbevelingen worden wereldwijd geaccepteerd. Het Euratomverdrag bepaalt dat de bescherming van werknemers, bevolking en patiënten voor alle inwoners van de Europese Unie geharmoniseerd behoort te zijn. Het ligt voor de hand dat de EU de ICRP-aanbevelingen als grondslag heeft gekozen.

### ICRP

De Europese basisnormen, vastgelegd in de Richtlijn 96/26/Euratom, zijn afgeleid van de aanbevelingen van de ICRP die in 1991 zijn gepubliceerd in [publicatie 60](#). In maart 2007 zijn er nieuwe aanbevelingen verschenen, die echter nog niet tot aanpassing van wetgeving hebben geleid. In de nieuwe aanbevelingen zijn geen grote wijzigingen voorgesteld.

### Europese richtlijn

Op grond van [artikel 30](#) van het [Euratom-verdrag](#) van 1957 zijn basisnormen voor stralingsbescherming vastgesteld. Deze zijn vastgelegd in de [Richtlijn 96/29/Euratom](#) van mei 1996. Deze richtlijn heeft als titel: "Richtlijn 96/29/Euratom van de Raad van 13 mei 1996 tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming van de gezondheid der bevolking en der werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren".

De voorschriften van de Richtlijn 96/29/Euratom zijn in de Nederlandse wetgeving overgenomen, vooral in het Besluit stralingsbescherming van de Kernenergiewet.

## 5. Beleid

### 5.1 Arboconvenanten

Er zijn geen convenanten omtrent de bescherming van werkers tegen ioniserende straling.

### 5.2 CAO-afspraken

Er zijn geen Cao-afspraken omtrent de bescherming van werkers tegen ioniserende straling.

### 5.3 Brancheafspraken

Er zijn geen brancheafspraken omtrent de bescherming van werkers tegen ioniserende straling.

### 5.4 Standaardisatie en normen

De eerste toepassingen van ioniserende straling waren medisch van aard: röntgentoestellen en radiumnaalden. Nadat gebleken is dat straling ook schade aan de mens kan aanrichten zijn de radiologen op zoek gegaan naar grootheden om de risico's van ioniserende straling te beschrijven. Hiervoor is in 1926 een bijzonder commissie opgericht, de International Commission on Radiological Protection (ICRP), die tot op heden werk verricht.

#### Standaardisatie

Speciaal voor stralingsbeschermingsdoeleinden zijn internationaal erkende grootheden en eenheden ontwikkeld. Het instituut dat zich hiermee bezighoudt is de International Commission on Radiation Units en Measurements, [ICRU](#). De ontwikkeling van de grootheden en bijbehorende eenheden heeft ertoe bijgedragen dat er geen misverstanden bestaan over wat er precies gemeten wordt en hoe dat moet gebeuren. Deze grootheden zijn letterlijk in het [Besluit stralingsbescherming](#) overgenomen. Er zijn speciale grootheden in het leven geroepen omdat de orgaandosis en daarmee de effectieve dosis niet direct meetbaar zijn. Deze grootheden zijn gedefinieerd op een bepaalde diepte in mm in een bolvormig weefseequivalent fantoom. De diepte in dit fantoom wordt bij de grootheid tussen haakjes aangegeven: 10 mm voor het gehele lichaam, 0,07 mm voor de huid en 3 mm voor de ooglenzen. De volgende bijzondere dosimetrische grootheden zijn gedefinieerd:

- Omgevingsdosisequivalent  $H^*(10)$ , operationele grootheid voor het schatten van de effectieve dosis van een persoon ter plaatse van het meetinstrument
- Huiddosisequivalent  $H^*(0,07)$ , operationele grootheid voor het schatten van de dosis op de huid
- Ooglenzen dosisequivalent  $H^*(3)$ , operationele grootheid voor het schatten van de dosis op de ooglenzen
- Persoonsdosisequivalent  $H_p(10)$ : operationele grootheid voor het schatten van de individuele effectieve dosis van een persoon
- Persoonsdosisequivalent  $H_p(0,07)$ : operationele grootheid voor het schatten van de individuele huiddosis van een persoon

#### Normen

Er zijn vele tientallen normen op het gebied van (het meten van) ioniserende straling, radioactiviteit en stralingsdoses. Deze normen zijn te vinden bij het [Nederlands Normalisatie Instituut](#). De inhoud van deze normen is uitsluitend tegen betaling benaderbaar. In de praktijk van de stralingsdeskundige spelen normen een ondergeschikte rol. Voor referentiedoelstellingen volgt hier een overzicht van normen die verband houden met de bescherming van werknemers.

Norm	Jaar	Omschrijving
ISO 20553	2006	Het toezicht houden op werkenden die beroepsmatig een risico lopen op blootstelling aan inwendige besmetting met radioactief materiaal
ISO 20785	2006	Dosimetrie voor blootstelling aan kosmische straling in burgervliegtuigen
NEN-EN 421	2007	Beschermende handschoenen tegen ioniserende straling en radioactieve besmetting
NEN-ISO 3999	2005	Instrumenten voor industriële gammaradiografie – Specificaties voor gebruik, ontwerp en beproevingen
ISO 12794	2000	Individuele thermoluminescentiedosimeters voor bloedvaten en ogen
IEC 62387	2007	Passive integrating dosimetry systems for environmental and personal monitoring
NEN-EN-IEC 61098	2007	Installed personnel surface contamination assemblies
NEN-EN-IEC 60601	2007	Medische elektrische toestellen -Bijzondere eisen voor de veiligheid van medische elektronenversnellers in het gebied van 1 MEV tot 50 MeV
NEN-EN 1073	2002	Beschermende kleding tegen radioactieve besmetting
IEC 61344	1996	Monitoring equipment – Personal warning devices for X and gamma radiations
NEN-IEC 61066	2006	Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring
NEN-EN-IEC 61005	2004	Radiation protection instrumentation – Neutron ambient dose equivalent (rate) meters
NEN-IEC 61584	2001	Radiation protection instrumentation – Installed, portable or transportable assemblies – Measurement of air kerma
NEN-ISO 21909	2005	Passieve persoonsdosimeters voor neutronen- Prestatie- en beproevingseisen
NEN-EN-IEC 61582	2006	Radiation protection instrumentation – In vivo counters - Classification, general requirements and test procedures for portable, transportable and installed equipment
NEN-EN-IEC 61331	2002	Beschermingsmiddelen tegen diagnostische medische röntgenstraling
ISO 17874	2007	Op afstand bedienbare instrumenten voor radioactieve materialen

## 6. Beheersmaatregelen

### 6.1 Arbeidshygiënische strategie

De grondbeginselen van de bescherming tegen de risico's van ioniserende straling zijn ontwikkeld over een lange periode. De eerste aanbevelingen dateren uit 1934. Deze aanbevelingen zijn in de loop van de jaren bijgesteld en uitgegroeid tot een goed hanteerbaar systeem.

#### Grondbeginselen

De grondbeginselen van de bescherming tegen ioniserende straling zijn:

- Rechtvaardiging
- Optimalisatie/ALARA
- Limieten

Deze drie worden achtereenvolgens toegepast op elke activiteit waarbij personen aan straling kunnen worden blootgesteld.

#### Rechtvaardiging

Elke toepassing moet gerechtvaardigd zijn, dat wil zeggen dat er meer nut dan nadeel behoort te zijn. Het nut van de stralingstoepassing kan zowel gelden voor het individu als voor de maatschappij als geheel. Het nadeel betreft de gezondheidsschade. Is er geen nut dan is de toepassing niet toegelaten, er wordt geen vergunning verstrekt.

Voorbeelden van toepassingen die niet gerechtvaardigd zijn:

- Gebruik van radioactieve dobbers: het voordeel (vissen in het donker) weegt niet op tegen het nadeel van productie en afvalverwerking van de radioactieve stof.

- Röntgentoestel voor het doorlichten van de voet in de schoen: dergelijke apparaten zijn jarenlang in gebruik geweest, maar het voordeel (objectieve meting van pasvorm) weegt niet op tegen de mogelijke gezondheidsschade van personeel en klant.

Om aan twijfel of een toepassing al dan niet gerechtvaardigd is een einde te maken zijn door de overheid twee lijsten gepubliceerd: één met alle gerechtvaardigde toepassingen en één met alle niet-gerechtvaardigde toepassingen zijn. Deze lijsten zijn te vinden in de [Regeling rechtvaardiging gebruik ioniserende straling](#). Bij nieuwe toepassingen die niet op een van beide lijsten voorkomen moet de vergunningaanvrager zelf een rechtvaardiging opstellen.

### **Optimalisatie**

Is een toepassing gerechtvaardigd (dat wil zeggen: heeft meer nut dan nadeel) dan volgt de optimalisatie, die ook wel wordt aangeduid met het Engelse acroniem ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Het streven is dan het doel van de toepassing te bereiken met redelijkerwijs een zo gering mogelijke dosis voor mensen, waarbij rekening wordt gehouden met economische en sociale factoren. Er vindt een afweging plaats waarbij de extra kosten of moeite die gemaakt moeten worden voor een reductie van de dosis worden afgewogen tegen de daardoor bereikte afname van de gezondheidsschade. Dit ALARA-beginsel is expliciet in het [Besluit stralingsbescherming](#) opgenomen (art. 5). In de praktijk is ALARA doorslaggevend voor de daadwerkelijk ontvangen dosis.

### **Limieten**

Zelfs na toepassing van het ALARA-beginsel zou het mogelijk kunnen zijn dat een werknemer toch een onaanvaardbaar hoge dosis zou kunnen ontvangen. Daarom zijn limieten in het leven geroepen. De limieten voor de effectieve dosis van werknemers zijn vermeld in het Besluit stralingsbescherming, art. 76-80, zie hoofdstuk 6.4. In de praktijk spelen deze limieten een onderschikte rol, omdat toepassing van het ALARA-beginsel vrijwel altijd in een lagere dosis resulteert.

### **Stralingshygiënische strategie**

Bij de ingebruikname van een bron van straling (radioactieve stof, toestel) verzorgt de stralingsdeskundige de beoordeling, conform artikel 10 van het Besluit stralingsbescherming. Hierin staat dat hij ervoor zorgt dat “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”. Bijzonder is hierbij de noodzaak voor het verlenen van toestemming door de stralingsdeskundige voorafgaand aan de handeling. Dit blijkt ook uit lid 2 van het artikel 10: “De ondernemer zorgt ervoor dat een nieuwe of gewijzigde bron niet in gebruik wordt genomen dan na een acceptatietest door de deskundige, gevolgd door diens toestemming om de bron in gebruik te nemen”.

De beoordeling bestaat uit het maken van een schatting van de te verwachten dosis voor werknemers ten gevolge van de handeling, waarbij ook de collectieve dosis in de beschouwing wordt betrokken. De collectieve dosis is de som van alle individuele doses. Het gebruik van de collectieve dosis voorkomt het spreiden van doses over meerdere personen, waardoor het individuele risico weliswaar lager wordt, maar het totale risico niet.

Vervolgens volgt de toepassing van het ALARA-beginsel: hierbij stelt de stralingsdeskundige zich de vraag of er middelen zijn die redelijkerwijs kunnen worden gebruikt om de dosis te verlagen. Redelijkerwijs betekent in dit geval dat er ook rekening gehouden mag worden met de kosten, met de arbeidsomstandigheden (persoonlijke beschermingsmiddelen) en met de eventuele sociale gevolgen (onregelmatige werktijden). Voor wat betreft de kosten kan gebruik worden gemaakt van een globale omrekeningsfactor van € 1.000 per bespaarde mens.mSv.

Is de dosis eenmaal zo laag als redelijkerwijs mogelijk dan kan de bron in gebruik worden genomen. Gedurende de handelingen wordt de dosis van werknemers gemeten, hetzij via persoonsdosimetrie hetzij via ruimtewaking. De uitslagen van de metingen geven aan of de verwachte dosis inderdaad gerealiseerd wordt. Op grond hiervan volgen nadere verbeteringen in de werkwijze die leiden naar een lagere (collectieve) dosis. Ook kunnen uit de dosiswaarden trends worden afgeleid, bijvoorbeeld een sluipende dosisverhoging. Deze vraagt dan om een studie naar de oorzaak hiervan.

De stralingshygiënische strategie bestaat dus uit de voortdurende terugkoppeling tussen maatregelen en resulterende stralingsdosis van werknemers, een goed voorbeeld van de Plan-Do-Check-Act-cirkel. De beschreven werkwijze resulteert in een individuele dosis die in de meeste gevallen ruim onder de wettelijke limieten ligt.

### **Potentiële blootstelling**

In sommige gevallen is de stralingsdosis voor werknemers onder normale omstandigheden laag, maar bestaat er een kans dat er bij onregelmatigheden een grote blootstelling kan optreden. Dit is bijvoorbeeld het geval bij zeer sterke bronnen die voor doorstraling van medische apparatuur worden aangewend. Onder normale omstandigheden is de bron alleen buiten de afscherming te brengen als er geen medewerkers in de ruimte aanwezig zijn. Bij het falen van de beveiliging zou er een hoge dosis kunnen worden ontvangen. Deze blootstelling wordt aangeduid als 'potentiële blootstelling'. Bij de risico-evaluatie speelt de daadwerkelijk ontvangen dosis voor de werknemer geen rol, maar wel de kans op een hoge dosis. In de risico-evaluatie speelt de opleiding van de betrokken werknemers een grote rol, in het bijzonder bij reparatie en onderhoud van de apparatuur.

## 6.2 Bronmaatregelen

Een belangrijke maatregel ter vermindering van de stralingsdosis is het beperken van de bronsterkte.

### Beperking van activiteit

Een eenvoudig middel om bij de omgang met radioactieve stoffen de stralingsdosis te reduceren is de beperking van de hoeveelheid van deze stoffen waarmee tegelijkertijd gewerkt mag worden. Hierbij behoort niet alleen rekening te worden gehouden met directe blootstelling aan de uitgezonden straling, maar ook met het risico dat een radioactieve stof wordt verspreid en ingeademd. Dit beginsel is uitgewerkt voor radionuclidenlaboratoria in [Beheersing van risico's bij handelingen met open bronnen in laboratoria](#), opgesteld in opdracht van SZW. In dit werk wordt een dosisbeperking van 1 mSv per jaar gehanteerd.

Steeds geldt dat de minimale activiteit die nodig is om het gestelde doel te bereiken moet worden gebruikt.

### Röntgentoestellen

Voor röntgentoestellen zijn hoogspanning, buisstroom en filtering belangrijke parameters die de dosis voor de patiënt bepalen. Door verstrooiing van straling aan de patiënt is de werknemersdosis gerelateerd aan de dosis voor de patiënt. Het is zaak om een zodanige combinatie van de genoemde parameters te kiezen dat er een bruikbare afbeelding ontstaat tegenover een dosis die zo laag is als redelijkerwijs mogelijk is.

## 6.3 Organisatorische maatregelen

De classificatie van werknemers en werkplekken zijn beproefde methodes om te komen tot een hanteerbaar stralingsbeschermingsprogramma

### Indeling van werknemers

Werknemers die tijdens hun werk meer dan 1 mSv per jaar kunnen ontvangen, worden ingedeeld in categorie A of B [Besluit stralingsbescherming](#), artikel 79. Categorie A geldt voor werknemers die in een jaar een hogere dosis dan 6 mSv kunnen ontvangen. Hierbij gaat het niet om de daadwerkelijk ontvangen dosis, maar om de dosis die onder ongunstige werkomstandigheden zou kunnen worden ontvangen. Werknemers die wel 1 mSv in een jaar kunnen ontvangen, maar voor wie het uitermate onwaarschijnlijk is dat deze de 6 mSv/jaar zullen overschrijden worden ingedeeld in categorie B. Deze indeling heeft tot doel de stralingsbeschermingsvoorzieningen af te stemmen op de risico's die aan het werk zijn verbonden. Zo is voor werknemers in categorie A een intredekeuring en een jaarlijkse medische keuring verplicht.

### Indeling van werkplek

Werkplekken worden ingedeeld in gecontroleerde en bewaakte gebieden. In een gecontroleerd gebied kan een werknemer in een jaar meer dan 6 mSv ontvangen of er bestaat een bepaalde mogelijkheid dat radioactieve stoffen verspreid worden. In een bewaakt gebied blijft de werknemersdosis onder 6 mSv/jaar en is er geen groot risico op verspreiding van radioactieve stoffen.

Het onderscheid tussen een gecontroleerde zone en een bewaakte zone betreft enerzijds organisatorische aspecten en anderzijds de voorzieningen. Het is bedoeld om de praktische organisatie van een op het stralingsrisico afgestemde stralingsbescherming te vergemakkelijken, en wordt tevens gebruikt om de aandacht van de desbetreffende werknemer te vestigen op de bijzondere omstandigheden van de werkplek.

Voor een gecontroleerde zone geldt het meest stringente regime, waarbij de toegang wordt beperkt tot deskundige personen. Bij de dosisschatting voor de indeling van de zone wordt uitgegaan van de blootstelling bij de uitvoering van de reguliere werkzaamheden en van het potentieel risico. Naast de voorschriften voor toegang tot de gecontroleerde zone en voor het verlaten ervan, gelden bepalingen voor toezicht op de werkplek, voor het tegengaan van verspreiding van radioactieve stoffen, voor monitoring van de werkplek en voor het gebruik van waarschuwborden, waaronder het bord dat aangeeft dat een ruimte wordt aangemerkt als bewaakte of gecontroleerde zone. Tevens moeten schriftelijke werkinstructies worden gegeven, toegesneden op de werkplek. Voorbeelden van ruimten die onder het regime van de gecontroleerde zone vallen zijn radionuclidenlaboratoria op B-niveau en versnellerruimten.

Voor bewaakte zones geldt een minder zwaar regime, omdat de toegangscontrole minder stringent toegepast hoeft te worden en/of omdat in mindere mate verspreiding van radioactiviteit valt te verwachten.

Voorbeelden van ruimten die onder het regime van de bewaakte zone vallen zijn radionuclidenlaboratoria op C-niveau en röntgenkamers.

Bij het bepalen van de gecontroleerde- en bewaakte zones, dient de ondernemer gebruik te maken van een risico-inventarisatie en -evaluatie die wordt uitgevoerd door de stralingsdeskundige.

### **Beperking van de tijd**

Voor vliegend personeel dat aan kosmische straling is blootgesteld is beperking van de tijd het enige serieuze middel om de stralingsdosis te beheersen. De dosis wordt immers ontvangen door blootstelling aan kosmische straling. De andere middelen om de dosis te beperken (afscherming en afstand houden) zijn onwerkzaam, dus resteert het limiteren van de blootstellingsduur.

## **6.4 Technische maatregelen**

Technische middelen ter bescherming van de werknemer zijn afscherming en ventilatie. Dit laatste om inhalatie van radioactieve deeltjes te voorkomen.

### **Afscherming**

Afscherming is een efficiënt middel om de stralingsdosis tot een aanvaardbaar minimum te reduceren. Radioactieve stoffen zenden verschillende soorten straling uit: alfa- bèta- en gammastraling.

Voor alfastraling is enkele centimeters lucht al voldoende voor volledige afscherming. Ook de dode laag van de huid is voldoende dik om te voorkomen dat de straling het levende weefsel bereikt.

Voor bètastraling is een cm perspex genoeg. Als een radioactieve stof die bètastraling uitzendt zich op de huid bevindt dan kan het onderliggend weefsel wel beschadigd worden.

Gammastraling is zeer doordringend. Voor afscherming zijn dikke lagen beton of lood noodzakelijk.

Röntgenstraling laat zich tegenhouden door enkele millimeters lood zijn. Bij röntgen- of gammastraling is de afscherming nooit geheel compleet, een klein deel dringt door de afscherming heen. De voor een bepaalde toepassing vereiste dikte van de afscherming kan worden berekend.

Een overzicht van de werking en toepassing van verschillende soorten afschermingen is te vinden in [Inleiding tot de Stralingshygiëne](#). Een in het Engels gestelde inleiding over de afscherming van gammastraling is [hier](#) te vinden.

### **Toestellen**

Voor toestellen is afscherming de meest aangewezen technische maatregel. Bij röntgentoestellen spelen beeldversterkers en bundelbegrenzers eveneens een belangrijke rol. Een beeldversterker maakt het mogelijk opnames te maken met een lagere dosis voor patiënt en werknemer.

Bundelbegrenzers zorgen ervoor dat straling die niet bijdraagt aan de beeldvorming wordt afgeschermd.

Ruimtes waarin versnellers zijn opgesteld zijn voorzien van dikke afschermingsmuren. Toegang wordt uitsluitend verkregen via een labyrint of toegangsdeur. Deze toegang is voorzien van schakelaars die het betreden tijdens de werking van de versneller verhinderen. Dergelijke ruimtes zijn tevens voorzien van alarmmonitoren die waarschuwen voor een verhoogd stralingsniveau.

### **Radioactieve stoffen**

Technische maatregelen bij de omgang met radioactieve stoffen zijn insluiting en ventilatie. Deze maatregelen worden getroffen om inademing van radioactieve stoffen zoveel mogelijk tegen te gaan. (Het inslikken van radioactieve stoffen wordt voorkomen door een verbod op eten en drinken.)

De meest eenvoudige maatregel is de puntafzuiging. De lucht direct boven de werkplek wordt geforceerd afgezogen. Een beter middel is de zuurkast. Zo'n zuurkast zorgt voor een luchtbeweging die van de werknemer af is gericht. Vrijgekomen radioactieve stoffen worden zodoende afgevoerd, zodat deze geen dosis van betekenis geven. In sommige gevallen wordt ook een afscherming in diezelfde zuurkast geplaatst. Deze kan een belemmering vormen voor goede luchtdoorstroming. Voor grotere hoeveelheden open radioactieve stoffen is de handschoenenkast een aangewezen middel. Hierbij worden de handelingen in een afgesloten ruimte verricht, zodat er geen risico op inwendige besmetting bestaat. Een handschoenenkast (glovebox) is nuttig als de externe stralingsniveau's niet al te hoog zijn. Is dit wel het geval dan moet men toevlucht nemen tot een zogenaamde "hot cell". Dit is een ruimte omgeven door beton of lood, waarin de werkzaamheden uitgevoerd worden met behulp van telemanipulators. Dit soort installatie maakt het mogelijk om te werken met extreem hoge activiteiten zonder dat de werknemer een onverantwoord risico loopt.

## 6.5 Persoonlijke beschermingsmiddelen

Persoonlijke beschermingsmiddelen zoals handschoenen en bedrijfskleding zijn standaard bij de omgang met open radioactieve stoffen. In bijzondere gevallen is het noodzakelijk ademhalingsbescherming toe te passen.

Bij werk in de nabijheid van röntgentoestellen zijn draagbare afschermingsmiddelen een beproefd middel om de stralingsdosis te verlagen.

### Beschermende kleding

Bij de omgang met verspreidbare radioactieve stoffen is een laboratoriumjas of overall voorgeschreven. Deze kleding wordt op de werkplek achtergelaten. Dit vermijdt het onopgemerkt verspreiden van de stoffen naar kantoren of de buitenwereld.

### Handschoenen

Om besmetting van de huid met radioactieve stoffen te voorkomen is het gebruik van latex handschoenen verplicht bij de omgang met open bronnen. Na afloop van de werkzaamheden worden de handschoenen als afval behandeld.

### Ademhalingsbescherming

Er is een aantal technische maatregelen die inademing van radioactieve stoffen moeten voorkomen. Zoals aangegeven in hoofdstuk 8.4 zijn insluiting en ventilatie vrijwel altijd voldoende voor een goede beheersing van het inademingsrisico. Alleen in uitzonderlijke gevallen leveren deze middelen onvoldoende bescherming, bij voorbeeld bij het betreden van een hot cell. Dan is ademhalingsbescherming noodzakelijk. De volgende ademhalingsbeschermingsmiddelen worden voor dit doel gebruikt.

- Filtermasker: alleen bij lage concentraties of kort verblijf (ongevalsbestrijding)
- Persluchtkap met masker: luchtcilinder met volmasker, overdruksysteem
- Verse-luchtkap of blouse: toevoer van lucht via slang, gedeeltelijk bedekking van het lichaam
- Drukpak: toevoer via luchtslang, gehele bedekking van het lichaam.

### Loodschort

Voor de bescherming van werknemers tegen röntgenstraling is het loodschort een veelgebruikt middel. Zo'n loodschort bestaat uit een soepele stof waarin zware metalen zijn verwerkt, waardoor een reductie van de stralingsdosis bereikt wordt. In veel gevallen is een schildklierkraag als aanvulling op het loodschort in gebruik.

### Verplichting

De werknemer is verplicht de toepasselijke persoonlijke beschermingsmiddelen daadwerkelijk te gebruiken. Dit geldt ook voor de persoonsdosismeter, die de ontvangen dosis registreert. Het is derhalve van belang voor de organisatie dat de werkgever duidelijk aangeeft dat de verplichting bestaat en ook welke sanctie er toegepast zal worden bij het niet opvolgen van deze verplichting.

### Gedrag

Het al dan niet dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen heeft alles te maken met gedrag. Als binnen een organisatie geen duidelijk beleid is betreffende het gebruik van beschermingsmiddelen, zal het gebruik van deze middelen vaak ontaarden in slordigheid. Niet genoeg kan er op gewezen worden, dat het beleid duidelijk hoort te zijn en gehandhaafd moet worden. Overtredingen brengen niet alleen

de gezondheid van de overtreder in gevaar maar ook de gezondheid van zijn collega's en misschien zelfs het productieproces.

De werknemers, die niet regelmatig met ioniserende straling werken dienen in het bijzonder gecontroleerd te worden op het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen. Voor hen is het geen ingeslepen gedrag.

Vaak wordt gezegd: "Het is maar voor even, dat kan geen kwaad". Dat is volstrekt fout en het zal de betreffende werknemer heel duidelijk gemaakt moeten worden, dat het wel kwaad kan en dat het een overtreding van het veiligheidsbeleid is.

## **7. Medisch onderzoek**

### **7.1 Gezondheidseffecten en beroepsziekten**

Bij een hoge dosis ioniserende straling zijn weefselreacties van belang. In de werkomgeving komen dergelijke doses alleen voor onder ongevalsomstandigheden.

Voor lage doses is kankerinductie het belangrijkste effect. De beroepsziekte na blootstelling aan ioniserende straling is kanker. Voor een uitgebreidere beschrijving zie paragraaf 1.1.

#### **Weefselreacties**

Bij hoge doses kunnen weefselreacties optreden. De aantasting van het beenmerg is in eerste instantie het meest levensbedreigend. De afname van het aantal bloedlichaampjes maakt het slachtoffer gevoelig voor bloedingen, bloedarmoede en vele soorten infecties. Deze kunnen worden bestreden door isolatie van de patiënt, indien nodig aangevuld met beenmergtransplantatie. Het Leids Universitair Medisch Centrum is voor deze behandeling aangewezen.

#### **Kanker**

Er is een lange latente periode tussen blootstelling en het mogelijk ontstaan van kanker. Deze periode loopt uiteen van 2 jaar voor leukemie tot vele tientallen jaren voor andere kankersoorten. Bovendien is er geen kenmerk aan te wijzen voor een stralingsgeïnduceerde kanker. Dit maakt dat alleen met statistische methoden een mogelijk verband tussen blootstelling en kanker kan worden gevonden. Voor een individueel geval is het niet mogelijk een relatie te leggen tussen blootstelling aan ioniserende straling en kanker.

### **7.2 Diagnostiek en behandeling/begeleiding**

Voor een korte beschrijving van de beroepsziekte die veroorzaakt wordt door ioniserende straling wordt verwezen naar paragraaf 7.1.

### **7.3 Kwetsbare groepen en medisch toezicht**

Er zijn groepen die extra gevoelig zijn voor straling. Dit zijn de ongeboren vrucht en jonge kinderen.

#### **Kwetsbare groepen**

Kwetsbare groepen bij de blootstelling aan ioniserende straling zijn jeugdigen en de ongeboren vrucht. Voor jeugdigen geldt een algemeen verbod voor het doen van radiologisch werk op een leeftijd jonger dan 16 jaar. Voor leerlingen met een leeftijd van 16 of 17 jaar is blootstelling alleen toegestaan voor diegenen die leren of studeren voor een beroep waarin een dergelijke blootstelling gebruikelijk is. Voor hen geldt wel een aparte limiet van 6 mSv in een kalenderjaar.

De ongeboren vrucht wordt beschermd door de zwangere werknemer zodanig werk te geven dat de dosis zo laag is als redelijkerwijs mogelijk (ALARA), waarbij het onwaarschijnlijk is dat een dosis van 1 mSv gedurende de rest van de zwangerschap wordt overschreden. Deze maatregelen gaan in zodra de werknemster de zwangerschap aan de werkgever heeft gemeld.

Het pasgeboren kind dat wordt gezoogd wordt beschermd door de vrouw vrij te stellen van handelingen waarbij meer dan een gering risico bestaat op inwendige besmetting (Bs, art 80).

#### **Medisch toezicht (Bs, art 96 t/m 100)**

Voor werknemers die ingedeeld zijn in categorie A is een intredekeuring verplicht. Bovendien moet elk jaar een herkeuring worden uitgevoerd. Deze keuring heeft tot doel vast te stellen of de werknemer geschikt, ongeschikt of tijdelijk ongeschikt is voor radiologisch werk. Een overzicht van de criteria voor

deze keuring is te vinden in Arbo-informatieblad 27 (1999): "Medisch toezicht op radiologische werkers", Den Haag: Sdu Uitgevers. Naast geestelijke stabiliteit is bij de omgang met open radioactieve stoffen de decontamineerbaarheid van de huid een criterium. In geval van een huidbesmetting is decontaminatie (ontsmetting) noodzakelijk, die niet door een huidaandoening gehinderd behoort te worden.

Dit medisch toezicht moet worden uitgevoerd door een geregistreerd stralingsarts. De lijst van geregistreerde stralingsartsen is [hier](#) te vinden.

#### Andere gevoelige groepen

Het is op dit moment niet mogelijk om verhoogde gevoeligheid voor kanker ten gevolge van blootstelling aan ioniserende straling bij werknemers vast te stellen.

## 7.4 Preventief medisch onderzoek inclusief vroegdiagnostiek

Preventief medisch onderzoek naar verhoogde stralingsgevoeligheid is momenteel niet mogelijk. In [ICRP Publicatie 79](#) over "Genetic susceptibility to cancer" zijn de verschillende aspecten van genetische aanleg bijeengebracht. De conclusie is dat er momenteel geen methode bestaat om de stralingsgevoeligheid van personen vast te stellen.

Wel zijn er zeldzame ziektes, zoals [ataxia telangiectasia](#), waarbij het reparatiemechanisme van het DNA onvoldoende functioneert. Personen met deze ziekte zijn waarschijnlijk stralingsgevoelig. Maar of dit werkelijk het geval is, is niet na te gaan omdat deze patiënten meestal voor hun 20e levensjaar overlijden. Het is daarom onwaarschijnlijk dat een persoon met deze ziekte werk gaat doen met verhoogde blootstelling aan ioniserende straling.

## 8. Werkgeversverplichtingen

In het [Besluit stralingsbescherming](#) zijn vele werkgeversverplichtingen opgenomen. In de terminologie van het Besluit zijn deze verplichtingen omschreven met de formulering "de ondernemer zorgt ervoor dat". De meest belangrijke zijn hier opgesomd.

Besluit stralingsbescherming

Enkele belangrijke werkgeversverplichtingen uit het Besluit stralingsbescherming zijn:

Artikelnummer	Omschrijving
5	Werknemersdosis zo laag als redelijkerwijs mogelijk (ALARA-beginsel)
9-11	Toezicht en RI&E door stralingsdeskundige, die voldoende middelen krijgt
13	Conflictartikel: Als de deskundige vindt dat er overmatig stralingsgevaar is of dreigt legt de ondernemer het werk stil. Het werk wordt slechts hervat met toestemming van de deskundige of van de inspectie.
15	De werkgever geeft voorlichting en instructie en zorgt ervoor dat de instructie worden nageleefd. Er behoort een sanctiebeleid te zijn.
20	Plaatsen van waarschuwborden
21	Melden van toestellen
36	Minimaliseren van de hoeveelheid afval
43	Aanvragen van vergunning
48-51	Blootstelling van bevolking beheersen
76-82	Beperking van werknemersdosis tot limietwaarden
83-86	Indeling van werkplekken
87-95	Ter beschikking stellen van dosimeters, registratie van dosis
96-100	Medisch toezicht
111	Voorlichting en dosisregistratie van vliegtuigbemanningen

## 9. Werknemersverplichtingen

In het [Besluit stralingsbescherming](#) zijn werknemersverplichtingen opgenomen.

Voorlichting en instructie

In dit verband is artikel 17 van belang:

“De ondernemer zorgt ervoor dat de werknemers meewerken aan het voor hen georganiseerde onderricht en de instructies naleven die hen ingevolge dit besluit worden verstrekt”. Een onderdeel van de instructie betreft de plaats waar de dosimeter moet worden gedragen.

### Zwangeren

Artikel 16 heeft betrekking op zwangerschap: blootgestelde vrouwen krijgen voorlichting over de risico's voor het ongeboren kind en over het feit dat een eventuele zwangerschap zo spoedig mogelijk aan de werkgever moet worden gemeld. Voor vrouwen die borstvoeding geven volgt speciaal onderricht over de risico's voor het kind bij eventuele inname van radioactieve stoffen.

### Medische keuring

Een werknemer die is ingedeeld in categorie A is verplicht mee te werken aan de intreekeuring, aan de jaarlijkse herkeuringen en mogelijke vervolgonderzoekingen.

### Persoonsdosimeter en persoonlijk beschermingsmiddelen

De werknemer is verplicht de door de werkgever ter beschikking gestelde persoonsdosimeter te dragen op de door de stralingsdeskundige aangegeven plaats van het lichaam (meestal de voorzijde van de romp, aan de buitenkant van een eventueel loodschort). Verder berust op de werknemer de plicht om de voorgeschreven persoonlijke beschermingsmiddelen daadwerkelijk te gebruiken.

Persoonlijke beschermingsmiddelen zijn bijvoorbeeld de labjas, handschoenen, ademhalingsbescherming en loodschorten.

## 10. Werknemersrechten

### 10.1 Rechten individuele werknemers

In de [Arbeidsomstandighedenwet](#) is omschreven in welke situatie een werknemer heeft het recht heeft gevaarlijk werk stil te leggen. Dit recht is ook van toepassing op werkzaamheden of handelingen met radioactieve stoffen en toestellen. Een letterlijk citaat van de toepasselijke wetsartikelen staat in deze paragraaf. De tekst spreekt voor zichzelf.

#### Arbeidsomstandighedenwet, artikel 3, lid 1 onder f

Elke werknemer moet bij ernstig en onmiddellijk gevaar voor zijn eigen veiligheid of die van anderen, rekening houdend met zijn technische kennis en middelen, de nodige passende maatregelen kunnen nemen om de gevolgen van een dergelijk gevaar te voorkomen, waarbij artikel 29, eerste lid derde zin, van overeenkomstige toepassing is.

#### Arbeidsomstandighedenwet, artikel 29

Een werknemer is bevoegd het werk te onderbreken en de onderbreking voort te zetten, indien en zolang naar zijn redelijk oordeel ernstig gevaar voor personen als bedoeld in artikel 28 aanwezig is en naar zijn redelijk oordeel het gevaar zo onmiddellijk dreigt dat een toezichthouder niet tijdig kan optreden. Voor de duur van de onderbreking behoudt de werknemer zijn aanspraak op het naar tijdruimte vastgesteld loon. De werknemer mag als gevolg van de werkonderbreking niet worden benadeeld in zijn positie in het bedrijf of in de inrichting.

#### Besluit stralingsbescherming, artikel 97

Een blootgestelde werknemer die een medisch onderzoek heeft ondergaan zoals bedoeld in artikel 96 Bs, kan binnen 6 weken na ontvangst van de uitslag aan de minister van SZW een nieuw onderzoek verzoeken. Bovendien kan de werknemer tegen de uitslag in beroep gaan.

### 10.2 Rechten medezeggenschapsorgaan

In de [Arbeidsomstandighedenwet](#) is omschreven welke rechten het medezeggenschapsorgaan heeft.

### **Overleg met toezichhouders**

In artikel 12 laat toe dat leden van de ondernemingsraad of personeelsvertegenwoordiging buiten de aanwezigheid van anderen met de toezichhoudende inspectie kunnen spreken.

### **Instemming met interne regelingen**

Volgens het Besluit stralingsbescherming behoren werknemers de instructies die betrekking hebben op de bescherming tegen straling op te volgen. Deze instructies zijn interne regelingen waarvoor instemming van de ondernemingsraad vereist is.

## **11. Praktijkverhalen**

In deze paragraaf komen enkele praktijkverhalen aan de orde. De eerste handelt over de bouw van een installatie voor het afscheiden van molybdeen-99 uit een hoogradioactief mengsel van splijtingsproducten. Het tweede verhaal betreft de ontwikkelingen van de dosimetrie in de luchtvaart.

### **Mo-99 afscheidingsinstallatie**

In de nucleaire geneeskunde worden afbeeldingen van patiënten gemaakt door het inspuiten met een radioactieve stof. De meest gebruikte radioactieve stof is technetium-99m, Tc-99m. Deze radioactieve stof wordt gewonnen uit een Molybdeen/technetium-generator. Hierin zit het nuclide Mo-99 dat spontaan vervalft naar het gewenste Tc-99m. Uit deze generator kunnen een week lang porties technetium afgetapt worden. De productie van Mo-99 vindt plaats door bestraling van uranium in een kernreactor. Helaas vormen zich bij dit proces vele tientallen andere radionucliden, waaruit het Mo-99 afgescheiden moet worden. Na afloop van de bestraling duurt het 24 uur tot met deze afscheiding begonnen kan worden: het stralingsniveau is nu laag genoeg voor het transport naar de fabriek. Het stralingsniveau is dan gezakt tot ongeveer 10.000 Sv/h. Een persoon die in dit veld staat zou in enkele milliseconden zijn dosislimiet voor een jaar bereiken. Daarom vindt de afscheiding in *hot cells* plaats. Deze cellen zijn voorzien van loodmuren die de werknemer beschermen. De feitelijke chemische zuivering gebeurt in vijf aaneengeschakelde cellen in een batchgewijs proces.

Er zijn tevoren berekeningen uitgevoerd van de verwachte stralingsdosis voor de werknemers, rekening houdend met de dikte van de loodwanden, de verwachte tijdsduur en de afstand tot de stralingsbronnen. Hierbij is ook de dosis betrokken die het gevolg is van opgeslagen radioactief afval in de kelder van het gebouw. Bij elkaar leverde dit een werknemersdosis van 0,01 mSv per batch per werknemer. Voor 100 batches per jaar geeft dit een jaardosis van 1 mSv, een waarde die zo laag als redelijkerwijs mogelijk is, gezien de gehanteerde hoeveelheden. In de praktijk blijkt de werknemersdosis rond 0,5 mSv per jaar te liggen: een factor 2 lager dan de verwachte waarde.

### **Luchtvaart**

In de jaren '90 van de vorige eeuw realiseerde men zich dat vliegend personeel blootgesteld wordt aan hogere stralingsniveaus. Onderzoek toonde aan dat deze dosis niet goed meetbaar is met de gebruikelijke persoonsdosismeter. De ontvangen dosis op een vlucht kan alleen met geavanceerde apparatuur bepaald worden. De dosis blijkt af te hangen van de vlieghoogte en de breedtegraad. Het is bovendien gebleken dat het dosistempo op een gegeven hoogte en breedtegraad constant is. Met deze wetenschap is een computerprogramma ontwikkeld, dat voor elke vlucht de bemanningsdosis berekent. Dit programma is gevalideerd, zowel met de echte vluchtgegevens als met de gegevens van het vluchtplan. Sinds 2002 worden de berekende doses van vliegend personeel in het Nationaal Dosis Registratie en Informatie Systeem (NDRIS) bijgehouden. Uit deze registratie blijkt dat het vliegend personeel tot de meest stralingsbelaste werknemers van Nederland behoren: 70% van de beroepsmatige collectieve dosis wordt in de luchtvaart opgelopen.

## **12. Referenties**

In deze paragraaf zijn verwijzingen naar websites en andere informatiebronnen bijeengebracht.

Boeken, artikelen, rapporten

- Gezondheidsraad, Risico's van blootstelling aan ioniserende straling, Rapport 2007/03, Den Haag, 2007.

- International Commission on Radiological Protection, Foundation Document: Biological and Epidemiological Information on Health Risks Attributable to Ionising Radiation: A Summary of Judgements for the Purpose of Radiological Protection of Humans, 2006.
- Bos, A.J.J. et al, Inleiding tot de stralingshygiëne, Sdu, Den Haag, 2007.
- Grimbergen, T.W.M en Wiegman, M.M., Beheersing van risico's bij handelingen met open bronnen in laboratoria, SZW, Den Haag, 2006.
- Arbo-informatieblad 27: Medisch toezicht op radiologische werkers, ISBN 90-12-08601-9, SZW, Den Haag, 1999
- International Commission on Radiological Protection, Publicatie 103, Recommendations of the ICRP (2007), in druk.
- International Commission on Radiological Protection, Publicatie 75, General Principles of Radiation Protection of Workers, Annals of the ICRP 27-1 (1997)
- International Commission on Radiological Protection, Publicatie 79, Genetic Susceptibility to Cancer, Annals of the ICRP 28, vol 1-2 (1998)
- C. Thijssen en P. Jonkergouw, Jaarboek stralingsbescherming, Sdu, 2006
- A.S. Keverling Buisman, Handboek Radionucliden, Betatext Bergen, 2007.

#### Websites

- [www.nvs-straling.nl](http://www.nvs-straling.nl)
- [www.icrp.org](http://www.icrp.org)
- [www.gr.nl](http://www.gr.nl)
- [www.hps.org](http://www.hps.org)
- [www.hpa.org.uk](http://www.hpa.org.uk)

## 13. Referentie auteur

Albert Keverling Buisman (stralingsdeskundige, veiligheidskundige)  
 Guus Hoorenman (arbeids- en organisatiedeskundige)  
 Eric van Rongen (arbeidshygiënist)  
 Gerard Kars (bedrijfsarts)

## 14. Peer Review

Dit arbodossier is beoordeeld door:  
 H.F. Boersma  
 Algemeen coördinerend stralingsdeskundige RUG