

# STRALINGSHYGIËNE VOOR DUMMY'S

Deel 4

## STRALINGSHYGIËNE bij RÖNTGENTOESTELLEN



---

Willem van Gaalen

---

Bevat informatie over stralingshygiëne voor  
Een deskundigheid op niveau 6 van de KeW.

## SAMENVATTING

### **Doelgroep**

"Stralingshygiëne bij Röntgentoestellen" is bedoeld als zelfstudie voor leerlingen en studenten met belangstelling voor de Stralingshygiëne. Speciaal voor hen die met enige vorm van straling uitzendende toestellen in aanraking kunnen komen, zoals "röntgenhelpers".

### **Leerstof**

De leerstof wordt in deze instructie niet vanuit de puur theoretische kant benaderd, maar richt zich op de praktijksituaties, zoals deze zich (kunnen) voordoen binnen een organisatie.

### **Opzet**

De leerstof is gebaseerd op de door mij ontwikkelde Defensie-instructie SBD/TSD-99.9389 van 1998/2006. Om een bredere doelgroep te kunnen bedienen is alle bedrijfsgevoelige informatie hieruit verwijderd. De leerstof bevat de tekst van de eendaagse instructie over stralingshygiëne bij röntgentoestellen. Er wordt aandacht besteed aan de verschillende stralingssoorten, de opwekking en effecten van röntgenstraling, de natuurlijke- of achtergrondstraling, de voorkomende röntgentoestellen en te nemen veiligheidsmaatregelen.

Met deze basisuitleg over de theorie, regels en praktijksituaties wordt beoogd meer inzicht te verschaffen over de wijze waarop de lezer kan om gaan met de hieraan verbonden risico's en dan bekend is met:

- de aard en het gedrag van de bij röntgentoestellen opgewekte straling,
- de biologische gevolgen van blootstelling aan straling,
- de wijze waarop ongewenste blootstelling wordt voorkomen,
- het toepassen van de procedures om veilig te kunnen werken.

Ter oefening zijn Multiple Choice Examenvragen als Bijlage C gevoegd.

De lezing is ook als een powerpoint presentatie en op overheadsheets beschikbaar.

Veel leesplezier, Willem

### **Nota Bene:**

*Dit uittreksel wordt beschikbaar gesteld voor persoonlijk gebruik en zelfstudie. Het maken van kopiëren voor commerciële doeleinden is niet toegestaan. Daarom mag niets uit deze tekst commercieel worden gebruikt zonder toestemming van de auteur.*

../SHvD\_4\_SH Röntgentoestellen-99-9389-v1.docx

0-0-0

| Hoofdstuk                                                                             | Blad      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SAMENVATTING</b> .....                                                             | <b>2</b>  |
| <b>INHOUDSOPGAVE</b> .....                                                            | <b>3</b>  |
| <b>1. INTRODUCTIE TOT DE STRALINGSHYGIËNE</b> .....                                   | <b>4</b>  |
| - Inleiding                                                                           |           |
| - Regelgeving                                                                         |           |
| - Elektromagnetische straling                                                         |           |
| - Absorptie van EM-straling                                                           |           |
| <b>2. IONISERENDE STRALING</b> .....                                                  | <b>7</b>  |
| - Ionisatie                                                                           |           |
| - Stralingssoorten                                                                    |           |
| - Röntgenstraling                                                                     |           |
| - Radiologische eenheden                                                              |           |
| <b>3. EFFECTEN</b> .....                                                              | <b>9</b>  |
| - Biologische effecten van ioniserende straling                                       |           |
| - Somatische schade                                                                   |           |
| - Late effecten                                                                       |           |
| - Genetische effecten                                                                 |           |
| <b>4. NATUURLIJKE of ACHTERGRONDSTRALING</b> .....                                    | <b>11</b> |
| - Natuurlijke straling                                                                |           |
| - Stralingsbelasting in Nederland                                                     |           |
| <b>5. STRALINGSBRONNEN IN DE PRAKTIJK</b> .....                                       | <b>12</b> |
| - Toepassingen                                                                        |           |
| - Merktekens / Het herkennen                                                          |           |
| <b>6. EIGENSCHAPPEN EN OPWEKKING VAN RÖNTGENSTRALING</b> .....                        | <b>16</b> |
| - Opwekking                                                                           |           |
| - Eigenschappen van röntgenstraling                                                   |           |
| - Constructie röntgenbuis                                                             |           |
| - Het toestel                                                                         |           |
| - Eisen aan het gebruik                                                               |           |
| <b>7. STRALINGSHYGIËNE</b> .....                                                      | <b>17</b> |
| - Categorie-indeling personeel                                                        |           |
| - Persoonlijk dosisregistratiemiddel                                                  |           |
| - Deskundigheidseisen voor personeel                                                  |           |
| - De 3-geboden                                                                        |           |
| - Afscherming                                                                         |           |
| - Toezicht                                                                            |           |
| - Overbestraling (ongeval)                                                            |           |
| - Techniek van het maken van opnames                                                  |           |
| <b>8. VEILIG WERKEN MET RÖNTGENTOESTELLEN</b> .....                                   | <b>20</b> |
| - Wie en waar                                                                         |           |
| - Inrichting van röntgenkamers                                                        |           |
| - Opslag van röntgentoestellen                                                        |           |
| - Vervoer van röntgentoestellen                                                       |           |
| - Werkzaamheden                                                                       |           |
| - Storingsmelding                                                                     |           |
| <b>Bijlage A, Gebruikte begrippen bij ioniserende straling.</b> .....                 | <b>24</b> |
| <b>Bijlage B, Veiligheidsinstructie voor gebruikers van een röntgentoestel.</b> ..... | <b>25</b> |
| <b>Bijlage C, Multiple Choice Examenvragen.</b> .....                                 | <b>26</b> |

## 1. INTRODUCTIE TOT DE STRALINGSHYGIËNE

**Inleiding.** De bedoeling van dit uitreikstuk is om veilig te leren omgaan met röntgentoestellen. Daarom wordt informatie verstrekt over wat straling is, biologische effecten, de opwekking en eigenschappen van röntgenstraling, toepassingen, het stralingshygiënisch verantwoord gebruik van de toestellen en de te nemen veiligheidsmaatregelen.

**Regelgeving.** Ook de regels voor het veilig omgaan met röntgenstraling zijn vastgelegd in de Kernenergiewet van 1 januari 1970. Zij gelden voor alle handelingen met en (röntgen)toestellen. In de kernenergiewet worden normen en actieniveaus gegeven voor de verschillende toepassingen en situaties.

Alle wetten en uitvoeringsbesluiten, met richtlijnen tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming van de gezondheid der bevolking en werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren, zijn gebaseerd op de internationaal geaccepteerde normen. De normen worden vastgesteld en geëvalueerd door het Internationaal Committee on Radiological Protection (ICRP) en zijn gebaseerd op:

- ◆ Rechtvaardiging
- ◆ het ALARA-principe / Optimalisatie
- ◆ Dosislimieten

**Vergunningen.** Beperking van de gevaren voor de volksgezondheid, bij toepassing van ioniserende straling, wordt in Nederland bereikt via een vergunningenstelsel. Een vergunning is vereist voor vrijwel alle handelingen met kernmaterieel en toestellen. Elke organisatie moeten de verplichtingen van de vergunning en andere spelregels vastleggen in haar interne regelgeving.

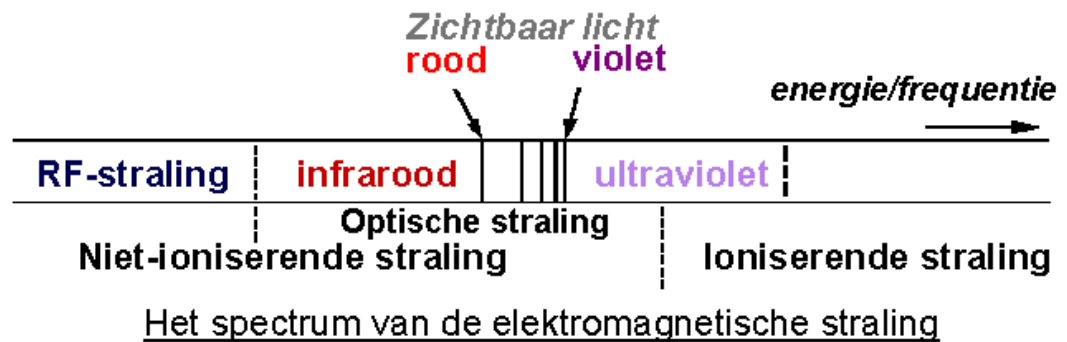
*Anders dan voor kernmaterieel, geldt voor toestellen dat alleen het feitelijk gebruik hiervan aan een vergunning is gebonden.* De voor de gezondheid gevaarlijke ioniserende straling wordt immers pas opgewekt, indien een toestel is ingeschakeld.

Een tweede onderscheid met kernmaterieel is, dat slechts een beperkt aantal categorieën toestellen onder de vergunningsplicht valt. Indien toch een vergunning nodig is, moet deze voor aanvang van werkzaamheden met röntgentoestellen aanwezig zijn.

Deze kan worden aangevraagd, bij **Agentschap NL, Stralingsbescherming**, van het **ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie**:

<http://www.agentschapnl.nl/programmas-regelingen/stralingsbescherming>

**Elektromagnetische straling.** Bijna alle stralingsvormen manifesteren zich als elektromagnetische straling (EM-straling), zie figuur 1. Deze ontstaat door een samenspel van elektrische en magnetische velden en is in feite een energietransport met een snelheid van het licht (circa 300.000 km/s).



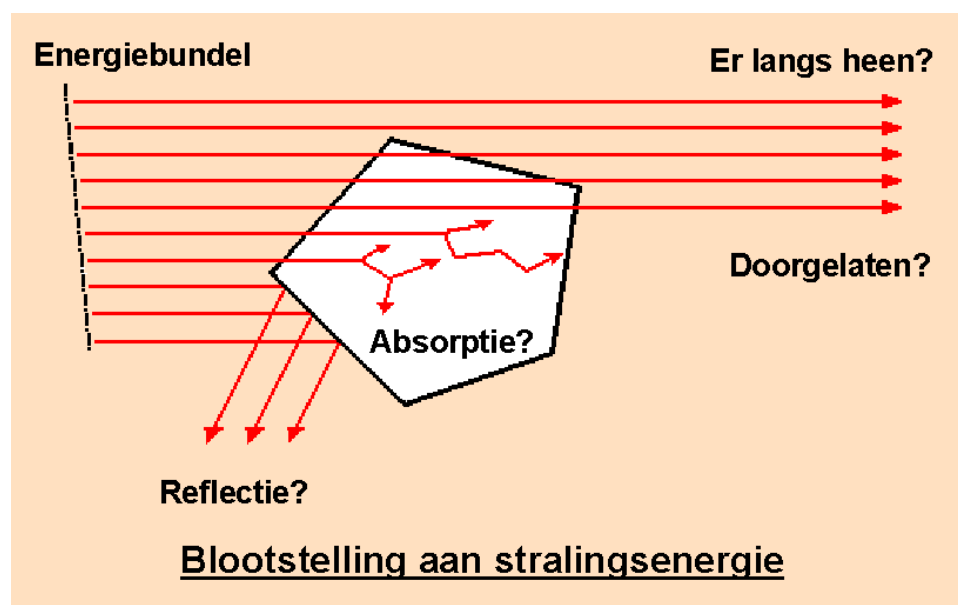
Figuur 1.

Een vorm van EM-straling waar een ieder mee te maken heeft, is het zichtbare licht (zie figuur 1). Met onze ogen kunnen we kleuren waarnemen. Het oog neemt daarbij een verschil in frequentie waar als een verschil in kleur.

Rood heeft een lagere frequentie dan violet. EM-straling kan alleen in en nabij het gebied van het zichtbare licht door onze zintuigen worden waargenomen. In de andere gebieden laten de zintuigen ons geheel of gedeeltelijk in de steek!

In dit lesboek wordt slechts één deel van het EM-spectrum behandeld, "de **ioniserende straling**". Hierin vinden alle röntgentoepassingen plaats!

**Absorptie van EM-straling.** Men kan stellen dat bij EM-straling het risico hoofdzakelijk zit in de absorptie van de opvallende energie (zie figuur 2). Het is echter zéér onzeker, hoeveel energie er bij blootstelling wordt geabsorbeerd. Onderzoek heeft uitgewezen dat in gebieden met veel zon, waar de bevolking veel in de buitenlucht werkt, meer huidkanker voorkomt dan elders.



In figuur 2 een theoretisch mogelijke verdeling weergegeven.

Voorbeelden van absorptie van energie in biologisch weefsel zijn:

**In positieve zin:**

- de absorptie van warmte ==> behaaglijkheid
- de absorptie van ultraviolet ==> vitaminevorming
- de absorptie van licht ==> het zien

**In negatieve zin:**

- de absorptie van warmte ==> verbrandingen
- de absorptie van ultraviolet ==> lasogen, zonnebrand
- de absorptie van licht ==> verblinding

Uit deze voorbeelden mag blijken dat de mens al lange tijd een nuttig gebruik maakt van de verschillende stralingssoorten. In het volgende hoofdstuk wordt het begrip ioniserende straling, zoals dat in figuur 1 is weergegeven, nader uitgelegd.

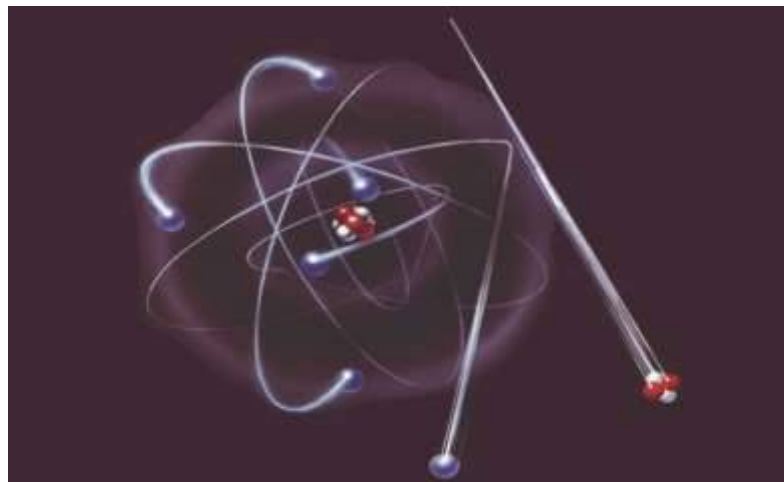
0-0-0

## 2. IONISERENDE STRALING

**Ionisatie.** Ioniserende straling wordt zo genoemd, omdat deze straling in staat is atomen te ioniseren (van een lading te voorzien), wat als volgt wordt verklaard:

- Een atoom bestaat uit een elektrisch positief geladen kern met daarom heen draaiend een wolk van elektrisch negatief geladen elektronen. Bij een stabiel atoom is de som van de positieve en negatieve lading nul.
- Indien door ioniserende straling één of meer elektronen uit deze wolk worden gestoten, behoren zij niet meer tot het atoom (zie figuur 3). De som van de positieve en negatieve lading is nu ongelijk aan nul. We zeggen dan: het atoom is een ion geworden - **het is geïoniseerd**.

Om dit effect te bereiken is een bepaalde hoeveelheid (fotonen)energie nodig. De grootte van de fotonenenergie wordt uitgedrukt in de eenheid elektronvolt (**eV**). *De straling met een fotonenenergie groter dan 34 elektronvolt wordt gerekend tot de ioniserende straling!*



Figuur 3. Ionisatie.

**Stralingssoorten.** Ioniserende straling wordt in de volgende soorten onderscheiden:

- **EM-straling van zéér hoge frequenties** die, al naar de wijze van ontstaan, **röntgen- of gammastraling** wordt genoemd. *Röntgenstraling* ontstaat in de elektronenschillen van de atomen. Gammastraling in de kern van een atoom.
- **Elektrisch geladen deeltjes**, in de vorm van alfa- en bètastraling ontstaat in de atoomkernen van (instabiele) radioactieve stoffen. Bij het stabiel worden (vervallen) van deze kernen wordt de overtollige energie in de vorm van straling uitgezonden. Indien in een instabiele stof in één seconde één atoom vervalt, noemt men de activiteit van de stof één Becquerel (zie ook Bijlage A). De halveringstijd ( $T_{1/2}$ ) is de tijd waarin de helft van een hoeveelheid radioactieve stof zal vervallen. Na 10 halveringstijden is slechts 0,001-ste deel over (zie figuur 4).



*Figuur 4. Verval van radioactiviteit.*

- **Elektrisch ongeladen deeltjes**, de zogenaamde neutronen, die hier verder niet worden behandeld.

**Radiologische eenheden.** Bij de radiologische eenheden zijn op het niveau van deze leerstof drie grootheden van belang (zie ook bijlage A):

- Exposie of blootstelling, dit is de lading waaraan men blootstaat, uitgedrukt in Coulomb/kg, vroeger in de eenheid röntgen (R);
- De geabsorbeerde hoeveelheid (belasting) is het deel van de lading welke men heeft geabsorbeerd dit wordt uitgedrukt in de eenheid Gray (**Gy**) en wordt ook wel dosis genoemd.
- De schade van de geabsorbeerde dosis die men ondervindt, deze wordt uitgedrukt in de eenheid Sievert (**Sv**) en wordt ook wel dosisequivalent genoemd.

Wanneer men te maken heeft met deze grootheden per tijdeenheid spreekt men van "tempo"; In geval van dosis per tijdseenheid dus dosistempo. Dit wordt uitgedrukt in "R/s", Gy/h of Sv/h.

Bij kleine fractie spreekt men van milli (m) of micro ( $\mu$ );  $\Rightarrow \mu\text{Sv/h}$  en bij grote fracties van kilo (k) of mega (M).

0-0-0



### 3. EFFECTEN

**Biologische effecten van ioniserende straling.** Zeer spoedig na de uitvinding van de röntgenstralen (1895), en in 1896 de radioactiviteit, bleken deze stralen gevaarlijk te zijn. Effecten waren verlies van haar, afschilvering van de huid van de handen, brandwonden, ontstekingen, kwaadaardige groei van cellen enzovoort. Door onvoldoende voorzorgen en *de primitieve constructie van röntgenapparatuur*, stierven de meeste radiologen van die dagen binnen 20 jaar, nadat zij met dit werk waren begonnen.

Tegenwoordig is men zich terdege ervan bewust dat ioniserende straling in staat is energie aan materie over te dragen. Het menselijk lichaam is opgebouwd uit vele weefsels, die weer bestaan uit cellen. Iedere cel is opgebouwd uit vele stoffen van vaak zeer complexe verbindingen (denk aan het DNA).

Bij **ionisatie** van de **celatomen** kan directe of indirecte **celschade** optreden, afhankelijk van het aantal betrokken atomen en hun plaats in de cel. Bij celschade kan in de cel een chromosoombeschadiging optreden of kan celdood volgen. Afhankelijk van de soort cel kan hierop weer weefselsterfte, orgaandood enzovoort volgen.

Nota Bene: Hoofdstuk 2 leert dat **een geïoniseerd atoom zich chemisch anders gedraagt**, met alle gevolgen van dien! Hieruit mag terecht worden geconcludeerd dat ioniserende straling per definitie gevaarlijk is voor de mens.

**Somatische schade.** Wanneer levend weefsel wordt getroffen door ioniserende straling, kunnen de ontstane ionen veranderingen of beschadigingen van de weefselcellen veroorzaken. Met name snelgroeiend weefsel is gevoelig voor stralingsschade.

Bij de uiteindelijke schade wordt een onderscheid gemaakt tussen schade aan de mens zelf (*somatische schade*) en de schade aan diens nakomeling (*genetische schade*). Bij blootstelling aan grote hoeveelheden ioniserende straling in zéér korte tijd (reactorongevallen), kan de dood snel intreden (**directe effecten**). Altijd is dit het gevolg van een bepaalde hoeveelheid overgedragen (geabsorbeerde) energie. De optredende effecten zijn afhankelijk van:

- ◆ de soort ioniserende straling,
- ◆ de intensiteit van de straling,
- ◆ de blootstellingstijd,
- ◆ de gevoeligheid van het getroffen weefsel.

**Late effecten.** Bij kleine hoeveelheden zullen de effecten met een zekere kans pas pas na lange tijd optreden (**late effecten** ook wel stochastische effecten genaamd). De persoon heeft dan een kans op leukemie, tumoren (kankers) en staar. Naar mate de stralingsdosis groter is, neemt de kans toe, dat men een laat effect ziet; De ernst van het effect is echter hetzelfde. Deze effecten kunnen zich openbaren van enkele jaren tot tientallen jaren later.

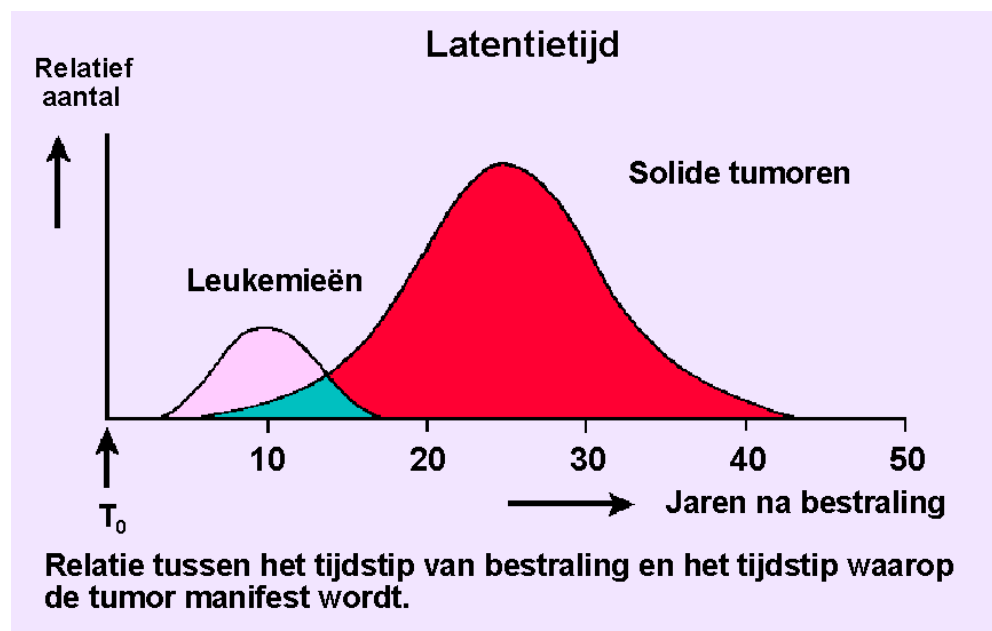
De figuur 5 geeft de relatie weer tussen het tijdstip van bestraling en het moment waarop het verschijnsel zich openbaart. Deze tijd, de latentietijd genaamd, is voor respectievelijk leukemie en solide tumoren ongeveer 10 en 25 jaar.

Het verband tussen een éénmalige dosis en het optredend effect is om deze reden NIET altijd aanwijsbaar!

Er zijn bepaalde beroepsgroepen die een verhoogde kans op deze effecten hebben: met name röntgenologen en materiaalonderzoekers.

Deze verhoogde kans bestaat ook voor patiënten die, voor medische doeleinden, een langdurige of afwisselende dosis hebben ontvangen.

Omdat eerder genoemde verschijnselen ook voorkomen bij NIET bestraalde personen, is alleen **statistisch** aantoonbaar dat deze personen een **verhoogd stralingsrisico** hebben.



Figuur 5. Relatie tijdstip van bestraling en het tijdstip van de optredende effecten.

**Genetische effecten.** Er zijn echter nog andere effecten van straling die niet tot uitdrukking komen bij degenen die zelf aan straling worden blootgesteld. Deze zogenaamde **genetische effecten** openbaart zich pas bij hun directe nakomelingen of in latere generaties. Elke levendgeborene heeft op dit moment een kans van circa 6%, dat hij/zij een ziekte of gebrek heeft met een duidelijke genetische inslag. Deze "schade" wordt zeker door de bestraalde persoon aan zijn/haar nageslacht doorgegeven!

#### 4. NATUURLIJKE OF ACHTERGRONDSTRALING

**Natuurlijke straling.** In de natuur komt ook ioniserende straling voor. We noemen dit de natuurlijke- of achtergrondstraling. Er bestaan, ook in Nederland, grote verschillen in de hoeveelheid straling afkomstig uit:

- ♦ Zand-, kleigrond en graniet;
- ♦ Bouwmaterialen zoals gips, beton en hout;
- ♦ Kosmische straling bij toenemende hoogte (er treedt een verdubbeling op per 1500 meter hoogteverschil!).

In het bovenste deel van de atmosfeer worden radioactieve nucliden gevormd door de botsing van kosmische straling met de moleculen van de aldaar aanwezige gassen. De halveringstijd van deze radioactieve nucliden varieert van enkele minuten tot vele jaren (Koolstof-14). Door neerslag, zoals regen, komen deze nucliden uit de atmosfeer in het water en op het land en dus ook in de voedselketen terecht. Zij geven slechts een geringe bijdrage aan de totale stralingsbelasting in Nederland.

**Stralingsbelasting in Nederland.** De stralingsbelasting of de gemiddelde effectieve dosisequivalent, waaraan men per jaar onvermijdbaar blootstaat, bedraagt in Nederland circa 2 mSv. Deze belasting is als volgt onder te verdelen:

**Natuurlijke straling\*)**

|                                  |       |             |     |
|----------------------------------|-------|-------------|-----|
| ▪ kosmische straling (zeeniveau) | circa | 0,3         | mSv |
| ▪ in het lichaam (o.a. K-40)     | circa | 0,3         | mSv |
| ▪ bodem en woonomgeving          |       | 0,35 - 0,65 | mSv |

**Kunstmatige bronnen**

|                                   |       |           |     |
|-----------------------------------|-------|-----------|-----|
| ▪ röntgendiagnostiek              |       | 0,3 - 0,9 | mSv |
| ▪ nucleaire geneeskunde           | circa | 0,03      | mSv |
| ▪ radiologische werkzaamheden     | circa | 0,008     | mSv |
| ▪ fall-out (atoombomproeven)      | circa | 0,09      | mSv |
| ▪ fall-out Tsjernobyl             | circa | 0,05      | mSv |
| ▪ kernenergie (lozing)            |       | <0,01     | mSv |
| ▪ gebruiksgoederen (KTV, horloge) | circa | 0,01      | mSv |
| ▪ diversen (industrie, aardgas)   | circa | 0,1       | mSv |

\*) *Exclusief de longdosis van circa 0,9 mSv ten gevolge van de alfadeeltjes uit thoron en radon; deze is sterk afhankelijk van de ventilatiegraad in woningen!*

Men kan zeggen:

Er is pas sprake van "een reëel stralingsgevaar, voor **UITWENDIG** te ontvangen straling", wanneer de stralingsbelasting of dosis hoger wordt dan de natuurlijke of achtergrondstraling.

0-0-0

## 5. STRALINGSBRONNEN IN DE PRAKTIJK

**Toepassingen.** Ioniserende straling kan men in de praktijk onder andere bij de volgende toepassingen aantreffen:

### ***Radioactieve stoffen***

- test- en oefenbronnen;
- rookmelders;
- elektronische componenten (overspanningsbeveiligingen en als "thoriated tungsten" gloeidraden en kathodes);
- lichtgevende verf (wijzerplaten, lichtbronnen);
- metaallegeringen en lenzen.

### ***Röntgenstraling***

- Röntgentoestellen bij hospitalen (zie onderstaande figuur 6);



- Röntgentoestellen bij tandartsen (zie onderstaande figuur 7);



- Technische röntgentoestellen voor materiaalonderzoek (zie figuur 8);



- parasitaire röntgenstraling uitzendende toestellen. Bij de opwekking en het gebruik van hoogfrequent energie komen hoge spanningen voor. Het aanraken van delen die deze spanning voeren is veelal dodelijk. Tevens kan in voedingskasten, bij zendermodulatoren en eindtrappen parasitaire röntgenstraling worden opgewekt (denk aan thyatronen, klystrons, magnetronen, amplitronen, beeldbuizen en TWT's).

### **Merktekens / het herkennen.**

**Radioactieve stoffen.** Het is van belang dat materieel dat radioactieve stoffen bevat herkenbaar is. Door het vrijkomen van ioniserende straling uit dit materieel, ook wel kernmaterieel genaamd, moet het dus deugdelijk zijn gemerkt. Immers, wanneer ter plaatse géén of niet de juiste meetapparatuur aanwezig is, moet men afgaan op de waarschuwingstekens volgens figuur 9.



Figuur 9 Het waarschuwingsteken voor ioniserende straling

In geval van twijfel, over de aanwezigheid van radioactieve stoffen in het materiaal, moet men dit in eerste instantie ALTIJD als radioactief beschouwen en als zodanig behandelen. Daarna kan de assistentie worden ingeroepen van een deskundige, ter vaststelling of het materieel inderdaad radioactieve stoffen bevat.

**Röntgentoestellen.** De plaatsen waar röntgentoestellen staan opgesteld zijn voorzien van een waarschuwingsteken volgens figuur 10.

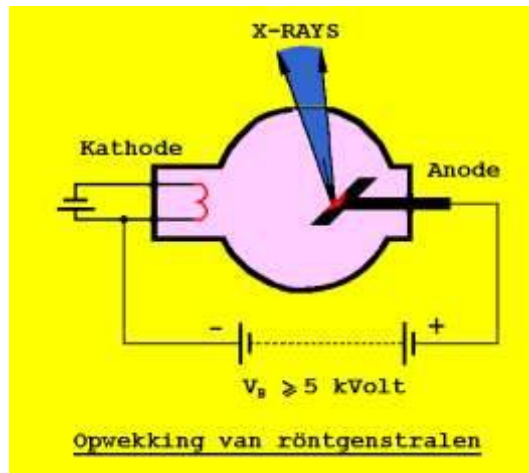


Figuur 10. Waarschuwingsteken voor röntgentoestellen

0-0-0

## 6. EIGENSCHAPPEN EN GEBRUIK VAN RÖNTGENSTRALING

**Opwekking röntgenstraling.** Röntgenstraling kan ontstaan in toestellen waar in vacuüm elektronen door **hoge spanningen** worden versneld en door botsing worden afgeremd (zie figuur 11). Dit gebeurt "gewenst" in onder andere medische röntgentoestellen.



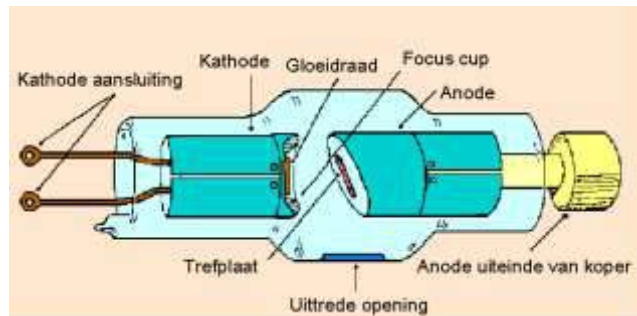
Figuur 11.

Overigens kan op alle plaatsen met spanningen hoger dan circa 5000 Volt dit effect "ongewenst" optreden. Dit wordt dan de *parasitaire röntgenstraling* genoemd. Denk hierbij aan kleuren-tv's, radars en zendinstallaties voor hoge vermogens. Gelukkig verdwijnt de röntgenstraling weer als het toestel wordt uitgeschakeld. Hiervan maakt men willens en weten gebruik bij medische toepassingen!

**Eigenschappen van röntgenstraling.** Röntgenstraling:

- **plant zich rechtlijnig voort**, kan schaduwbeelden vormen maar is niet via lenzen of iets dergelijks te focuseren.
- **kan door materie heen dringen**.
- **wordt geabsorbeerd**, waarbij veranderingen in dichtheid en samenstelling van de materie karakteristieke verschillen in doorlaatbaarheid geven, die op de een of andere wijze kunnen worden zichtbaar gemaakt; De absorptie is afhankelijk van de zogenaamde "hardheid" van de straling. Hoe "weker" de straling is des te meer absorptie er op treedt, èn omgekeerd, hoe "harder" de straling, des te minder absorptie.
- **wordt verstrooid**. Verstrooiing van röntgenstraling is afhankelijk van de hardheid van de röntgenstraling en de dikte van het doorstraalde voorwerp.
- **kan fluorescentie opwekken** in sommige stoffen zodat deze oplichten. Hiervan wordt gebruik gemaakt in de fluoroscopie, waarbij de radioloog direct op het fluorescentiescherm ontstane beeld direct bekijkt en bij versterkingsschermen in filmcassettes.
- veroorzaakt ionisatie, zodat (bij voorbeeld in lucht) de hoeveelheid röntgenstraling gemeten kan worden.
- **geeft zwarting** op een fotogevoelige plaat.

**Constructie röntgenbuis.** Figuur 12 geeft de schematische opbouw weer.



Figuur 12. Schematische opbouw van een röntgenbuis

Voor vele röntgenbuizen geldt dat:

- de gloeistroom wel 5 Ampère kan bedragen bij 12 Volt;
- de hoogspanning tussen 35 tot 200 kVolt ligt;
- de elektronenstroom door de buis uitgedrukt wordt in mA;
- de anode voor een goede warmteafvoer uit koper bestaat;
- voor een goed rendement in de anode een trefplaatje van wolfram, met een smeltpunt van 3300 °C, is geplaatst;
- de kathode op een zodanige wijze is gedimensioneerd dat de elektronen gericht gebundeld worden op de trefplaat;
- het geheel omgeven is door een afscherming (om zoveel mogelijk uittreden van röntgenstraling in de niet-gewenste richting te voorkomen), waardoor tevens beveiliging wordt verkregen tegen de op de buis staande hoogspanning;
- voor koeling het omhulsel geheel is gevuld met olie, welke zonodig kan worden rondgepompt;
- bij grotere toestellen buizen worden gebruikt, waarvan de anode roteert, zodat steeds weer een ander deel van de rotor door de elektronenbundel wordt getroffen. Hierdoor is een grotere output mogelijk.

**Het röntgentoestel** bestaat niet alleen maar uit een kale röntgenbuis. Noodzakelijk zijn een controlepaneel, een statief om de röntgenbuis aan te bevestigen, een voedingseenheid enz. Sommige toestellen zijn uitgerust met een fototimer. Deze meet de hoeveelheid straling, die door het bestraalde voorwerp komt. Hierbij hoeft men alleen het kilovoltage en milliampèrage in te stellen; de belichting duurt juist zo lang als nodig is voor een voldoende zwarting. Hoe hoger het vermogen, des te hoger de hoogspanning en stroom. Bij hoge spanningen en grote vermogens worden strenge eisen gesteld aan de elektrische isolatie en aan de koeling van de röntgenbuizen.

Er zijn twee categorieën röntgentoestellen te onderscheiden:

- a. voor **diagnostisch** onderzoek; hierbij wordt de diagnose gesteld aan de hand van verkregen röntgenfoto's of d.m.v. een direct afleesbare met Beeldversterker met een televisieketen;
- b. voor **therapeutisch** gebruik; de röntgenstraling wordt hierbij gebruikt voor het behandelen (doden) van gezwellen (tumoren).

**Eisen aan het gebruik van een röntgentoestel.** Enkele belangrijke eisen aan röntgentoestellen en opstellingen voor diagnostisch gebruik voor de gebruiker zijn:

- a. Voor röntgentoestellen met een maximale buisspanning van 100 kV of meer en in geval van voor therapie of onderwijsdoeleinden onder de 100 kV is een vergunning vereist;
- b. Voor alle toestellen geldt een meldingsplicht indien ze in gebruik worden genomen en wanneer het toestelgebruik wordt beëindigd;
- c. De constructie en opstelling van toestellen moet zodanig zijn dat er veilig mee kan worden gewerkt;
- d. De opstelling van en het toestel moet zijn vrijgegeven voor gebruik;
- e. Een toestel mag niet door onbevoegden in werking kunnen worden gesteld;
- f. De verplichting zorg te dragen, dat het toestel en toebehoren met hulp- en beveiligingsmiddelen zodanig is opgesteld en afgeschermd, dat personen alleen bij een medisch onderzoek of behandeling aan de primaire stralenbundel worden blootgesteld.
- g. Bij gesloten opening mag de uittredende straling, gemeten bij maximale versnellingsspanning, op één meter afstand van het focus niet meer bedragen dan:
  - 1 mSv per uur, bij toestellen voor diagnostisch gebruik, en
  - 10 mSv per uur bij toestellen voor therapeutisch gebruik met een maximale buisspanning van 250 kV.
- h. De verplichting doeltreffende maatregelen te nemen opdat verstrooide straling geen schade kan toebrengen aan mensen, dieren, planten of goederen.
- i. De verplichting er zorg voor te dragen dat aan de eisen van de maximum filtratie wordt voldaan.
- j. De verplichting zorg te dragen dat een röntgentoestel, waarmee in hetzelfde medisch onderzoek met een seriecassette fluoroscopisch en radiografisch onderzoek wordt verricht, is voorzien van een middel waarmee de nuttige stralenbundel automatisch wordt aangepast aan de voor het betreffende onderzoek gekozen beeldgrootte (automatisch diafragma-instelling).
- k. Toestellen voor medisch-fluoroscopisch röntgenonderzoek (doorlichting) moeten zijn voorzien van een beeldversterker met een televisieketen.
- l. De verplichting dat bij medisch-radiografisch onderzoek, m.u.v. tandheelkundig onderzoek, het toestel is voorzien van een middel dat de nuttige stralenbundel beperkt tot de voor het onderzoek ten hoogste benodigde grootte, evenals van een middel om deze grootte vooraf optisch te kunnen waarnemen (lichtvizier).
- m. De verplichting dat bij tandheelkundig onderzoek, waarbij de film intra-oraal is aangebracht, te verzekeren dat de huidfocus afstand bij een hoogspanning van <60 kV 0,1 meter en >60 kV 0,2 meter bedraagt bij een uittrede opening van maximaal 0,06 meter.



## 7 STRALINGSHYGIENE

**Categorie-indeling personeel.** In geval van werkzaamheden met ioniserende straling uitzendende toestellen kan men spreken van radiologische werkzaamheden. Indien verwacht wordt dat het personeel bij deze werkzaamheden meer dan 2 mSv, doch minder dan 6 mSv als stralingsbelasting kan ontvangen, worden deze werkers beschouwd te zijn blootgestelde werkers (voorheen radiologische werkers) in de categorie B. Hierbij is een aanvangskeuring en een uitkeuring voorgeschreven.

Bij een stralingsbelasting van meer dan 6 mSv doch minder dan 20 mSv spreekt men van blootgestelde werkers in de categorie A en is een jaarlijks keuring verplicht.

Personeel dat géén radiologische werkzaamheden verricht mag niet meer dan 1 mSv per jaar aan stralingsbelasting ontvangen (boven de natuurlijke achtergrond straling).

**Persoonlijk dosis registratiemiddel.** De blootgestelde werkers in de categorie **A** en **B** zijn verplicht tot het dragen van een persoonlijk dosis-registratiemiddel (PDM). Ondanks alle voorzorgen blijft de mogelijkheid bestaan dat het personeel een stralingsbelasting oploopt. Om te weten hoe groot deze dosis is wordt een PDM uitgereikt. Op dit moment worden PDM's in de vorm van een TLD-badje (Thermo Luminescentie Dosimeter) toegepast. (zie voorbeeld in figuur12).



Figuur 13. De TLD-Badje.

De termijn van omwisseling van de PDM's hangt af van de indeling van de werkzaamheden per maand of per kwartaal.

NB. Ten overvloede wordt er op gewezen dat een PDM geen bescherming geeft tegen straling en slechts achteraf de opgelopen dosis aangeeft.

**Deskundigheidseisen waaraan het personeel moet voldoen.** De deskundigheidsniveaus zijn gebaseerd op het risico voor de werkers. Onder risico wordt verstaan de kans dat "ongewenste gevolgen van een bepaalde activiteit" zich zullen voordoen.

In de kernenergiewet worden het deskundigheidsniveau 5A gehanteerd voor het gebruik van radioactieve bronnen en röntgentoestellen met **gering risico**. Dit lesboek heeft betrekking op het deskundigheidsniveau lager dan het niveau 5A.

In de vergunning wordt bepaald welk deskundigheidsniveau is vereist. De leiding van - of het toezicht bij de werkzaamheden - moet altijd berusten bij een "bevoegde deskundige".

Afhankelijk van de aard van de werkzaamheden zal het personeel moeten voldoen aan bepaalde deskundigheidseisen, of zijn geïnstrueerd betreffende hun aandeel in de werkzaamheden.

Een schriftelijke veiligheidsinstructie moet in het bezit zijn van een ieder die werkzaamheden verricht met ioniserende straling uitzendende toestellen. Deze instructie (zie bijlage B) moet gericht zijn op de aard van de werkzaamheden, worden vastgesteld door de Directie en zijn goedgekeurd door de toezichthoudende instantie, welke altijd een afschrift hiervan ontvangt.

**De 3-geboden.** Het is belangrijk te weten hoe men zich tegen ioniserende straling, dus ook röntgenstraling, kan en moet beschermen:

- **Houdt afstand.** De te ontvangen hoeveelheid straling (dosis) is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tot de stralingsbron.
- **Tijdsduur kort.** De dosis is recht evenredig met de tijd van blootstelling aan de stralingsbron.
- **Schermt af.** Straling die in een afscherming wordt geabsorbeerd kan u geen kwaad meer doen.

Deze factoren zijn van grote invloed op de belasting die men kan oplopen (uitwendige bestraling).

**Afscherming.** De wijze van afscherming wordt bepaald door de eigenschappen van de af te schermen stralingssoort:

- **Alfastraling** gaat maximaal enkele centimeters door lucht en wordt al door een dun velletje papier gestopt.
- **Bètastraling** gaat maximaal enkele meters door lucht en wordt door metaal of perspex volledig gestopt.
- **Röntgen- en gammastraling kan niet worden gestopt, maar alleen worden verzwakt** door metaal, beton of water. De benodigde afschermingsdikte is afhankelijk van de energie (hardheid) van de straling.

De **Halveringsdikte ( $D_{1/2}$ )** is de dikte van een bepaald materiaal die de intensiteit van de opvallende straling halveert.

Wordt een tweede halveringsdikte aan de afscherming toegevoegd, dan zal nog slechts  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$  deel van de straling worden doorgelaten (en dus niet de straling tot nul zijn verminderd).

Fotonen- en dus ook röntgenstraling is niet volledig af te schermen, doch meestal wel tot een aanvaardbaar peil terug te brengen door de juiste keuze en dikte van het te gebruiken afschermingmateriaal.

**Het toezicht** op de naleving van de Kernenergiewet en de daarvan afgeleide Besluiten berust bij de Arbeidsinspectie.

**Overbestraling (ongeval).** In geval van het vermoeden van een overbestraling (ongeval) dient de betrokkene zich te wenden tot de verantwoordelijke deskundige. Er moet een ongevalrapport worden opgemaakt en de Arbeidsinspectie moet worden gewaarschuwd.

### **Opname techniek.**

**Rechtvaardiging.** Iedere röntgenfoto geeft de patiënt een stralingsbelasting. Men moet zich dus afvragen of het nemen van de foto gerechtvaardigd is. Voorkom dat door onzorgvuldig handelen extra foto's nodig zijn.

**Opname voorbereiding.** Maak gebruik van een zo klein mogelijke bundelgrootte en gebruik loodflappen om delen van de patiënt af te schermen.

**Insteltechniek.** Houd rekening met de volgende punten:

- Gebruik, indien aanwezig, het lichtvizier;
- Stel het lichtvizier zodanig in dat alleen de gevraagde informatie op het scherm/ foto komt;

### **Parameters (instelknoppen):**

|     |   |                         |   |                                          |   |                               |
|-----|---|-------------------------|---|------------------------------------------|---|-------------------------------|
| kV  | = | kilovolt                | = | buisspanning                             | = | doordringend vermogen.        |
| mA  | = | milliampère             | = | buisstroom                               | = | dichtheid/zwarting.           |
| ms  | = | milliseconde            | = | opnameduur                               | = | effect gelijk aan buisstroom. |
| mAs | = | milliAmpère per seconde | = | combinatie van buisstroom en opnameduur. |   |                               |

Bedenk dat de afstand tussen de buis en het object invloed heeft op de geometrie, dosis en bovengenoemde parameters. Wees bedacht op foto-effecten.

**Fotoverwerking.** Zorg voor een goede fotoverwerking. Het is niet gerechtvaardigd als door een slechte fotoverwerking extra foto's moeten worden genomen.

0-0-0

## 8. VEILIG WERKEN MET RÖNTGENTOESTELLEN

**Wie en waar.** Röntgentoestellen mogen alleen door geïnstrueerd personeel worden gebruikt in daartoe goedgekeurde inrichtingen en opstellingsplaatsen. Het onderhoud en testen na een reparatie mag uitsluitend geschieden in daarvoor ingerichte en goedgekeurde werkplaats.

**Inrichting van röntgenkamers.** Indien het gebruik van een röntgentoestel bestraling van (bedienend) personeel kan veroorzaken, moet het toestel afgeschermd worden gebruikt. Tevens moet beveiligingen zijn aangebracht om te voorkomen dat:

- ongewenste bestraling plaatsvindt,
- ruimten worden betreden,
- kasten worden geopend,
- afschermingen worden verwijderd,
- onbevoegden het toestel in werking kunnen stellen.

**Belendende ruimten.** De bescherming van personen in belendende ruimten kan veelal alleen geschieden door het aanbrengen van adequate afschermingen rondom het toestel of aan wanden, vloeren en plafonds van de betrokken ruimten. Deze afscherming moet altijd door de toezichthouder zijn goedgekeurd, voordat het toestel mag worden gebruikt!

**Bedienend personeel.** De stralingsbelasting voor het bedienend personeel kan worden beperkt door:

- het opstellen van het bedieningspaneel in een afzonderlijke ruimte, waarbij door een speciale voorziening (zoals een deurschakelaar) wordt voorkomen dat de bestralingsruimte wordt betreden terwijl het toestel is ingeschakeld;
- het opstellen van het bedieningspaneel in een afgeschermd deel van de bestralingsruimte;
- het gebruik van hulpmiddelen als loodschermen, loodschorten en dergelijke.

**Verstrooide straling.** Ioniserende straling kan worden verstrooid door personen of voorwerpen die zich in de stralingbundel bevinden. Opdat verstrooide straling geen schade kan toebrengen moeten voorzieningen worden aangebracht. Hierbij moet vooral aandacht worden besteed aan ramen, ventilatiekanalen en andere openingen, zowel in de afscherming als in de gebruikte ruimte.

**Markeringen.** Op geschikte plaatsen moeten doelmatig en duidelijk zichtbaar waarschuwborden, -lampen of – tekens worden geplaatst, waaruit het gevaar voor blootstelling aan ioniserende straling blijkt. Indien de afscherming kan worden verwijderd voor onderhoudswerkzaamheden moet deze ook voorzien zijn van het waarschuwingsteken.

**Opslag van röntgentoestellen.** Voor de opslag van röntgentoestellen gelden dezelfde regels als voor de opslag voor elektrische apparaten. Röntgentoestellen mogen niet gebruiksgereed worden opgeslagen, zodat dat onbevoegden het toestel niet inwerking kunnen stellen.

**Vervoer van röntgentoestellen.** Voor het vervoer gelden geen speciale maatregelen.

**Werkzaamheden.**

**Elektrische gevaren.** De röntgentoestellen voor normaal gebruik werken met een hoogspanning tussen de 35 en 150 kVt. Een aardleiding waaraan alle metalen delen van het toestel zijn verbonden is noodzaak en zelfs wettelijk voorgeschreven. Effecten bij een elektrische schok zijn:

- verlamming van de verschillende organen, hartfibrillatie, kramptoestand van het ademhalingssysteem;
- brandwonden;
- botbreuken door te heftige samentrekking van spieren;
- na-effecten, zoals onder andere bewusteloosheid, misselijkheid, tijdelijk slecht horen of zien;
- plotseling optredende hoge bloeddruk waardoor in- en uitwendige bloedingen kunnen ontstaan;
- overlijden.

Het is dus nodig de volgende voorzorgen te nemen:

- nagaan, of het röntgentoestel is geaard;
- niet met vochtige handen het röntgentoestel bedienen;
- nooit reparaties of afstellingen door onderhoudspersoneel laten uitvoeren, indien het röntgentoestel nog staat ingeschakeld;
- de hoogspanningskabels niet onnodig buigen of te knikken, of er knikken in te laten ontstaan, waardoor er breuk in de isolatie kan optreden;
- losse draden en verbindingen of defecte blanke kabels moeten onmiddellijk worden gemeld aan het personeel dat met het onderhoud is belast.

**Radiologische gevaren.** Röntgenstraling kan de mens op verschillende manieren schade berokkenen. Dit geldt zowel voor de patiënt als de geautoriseerde bedienaar van het röntgentoestel.

***Te nemen voorzorgen voor de bedienaar van het toestel:***

- a. **Stel** het röntgentoestel zodanig op, dat in aangrenzende vertrekken geen schadelijke hoeveelheid straling kan doordringen.
- b. **Houd** zo veel mogelijk afstand de röntgenbuis als er wordt gestraald, ook al is de röntgenbuis zelf voldoende afgeschermd.
- c. **Maak** optimaal gebruik van de aanwezige afschermdende voorzieningen, zowel bij de patiënt als bij de bediening van het röntgentoestel; hieronder vallen loodhandschoenen, loodschorten, loodschermen enzovoort.

- d. **Maak** geen opnamen, terwijl andere personen (met uitzondering van de patiënt) zich in de röntgenkamer bevinden; geef deze personen eerst de gelegenheid achter het loodschermb te gaan staan of de kamer te verlaten.
- e. **Maak** het onmogelijk, dat iemand de kamer binnenkomt op het moment, dat er een opnamen wordt gemaakt (rode lamp en / of vergrendeling van de toegangsdeur).
- f. **Maak** geen experimentele opnames van uzelf of kennissen om uw opnametechniek te verbeteren; dit moet kunnen worden afgeleid uit de al gemaakte opnames van patiënten. Hieruit blijkt dus het belang van een goede administratieve archiefindeling.
- g. **Houd** een patiënt niet langer dan noodzakelijk vast tijdens de opname; indien dit toch nodig is, verdient het aanbeveling dit éénmalig te laten doen door een persoon, die beroepshalve niet aan straling wordt blootgesteld, of bij toerbeurt.
- h. **Ga** nooit zorgeloos met röntgentoestellen om.
- i. **Draag** uw persoonlijk dosisregistratiemiddel (PDM) altijd op de juiste wijze, dus niet achter uw loodschort!

***Te nemen voorzorgen voor de persoonlijke bescherming van de patiënt:***

- a. **Veldgrootte.** **Stel** de patiënt slechts bloot aan die hoeveelheid straling welke strikt noodzakelijk is voor een goede foto; **Zorg** dat de veldgrootte binnen de omvang van de gebruikte cassette valt, met behulp van het lichtvizier;
- b. **Afstand.** **Houd** de focus huid afstand zo groot mogelijk als praktisch is. De afstand focus huid moet bij toestellen met een maximale buisspanning van meer dan 60 kV ten minste 0,2 meter bedragen (Nominaal wordt 0,4 meter gebruikt). Voor toestellen met een lagere buisspanning, welke door de belichtingstijden geen afstand van 0,2 meter toelaten, mag een minimum afstand van 0,1 meter worden aangehouden.
- c. **Tandheelkundig gebruik.** Röntgentoestellen voor tandheelkundig onderzoek moeten aan de volgende eisen voldoen:
  - toestellen voor conventionele technieken met intra-orale film moeten diafragma's en/of tubi bezitten welke aan het einde een velddiameter op de huid geven van maximaal 6 cm (een afgeschermd open is te prefereren boven een open conus).
  - toestellen, waarbij het stralingsproducerende deel in de mondholte wordt gebracht, moeten zijn voorzien van een applikatot, welke het niet-benutte deel van de bundel afschermt.
  - Toestellen voor medisch-radiografisch onderzoek moet als tandartstoestel zijn voorzien van een lichtvizier.
- b. **Filtering.** **Voorkom** dat de patiënt aan zachte straling wordt blootgesteld. Zachte straling draagt niet bij tot de beeldvorming, maar geeft de patiënt wel een stralingsbelasting. **Zorg** daarom voor voldoende filtering van het röntgentoestel. De totale filtratie, uitgedrukt in aluminiumequivalent (Al), bij röntgentoestellen voor medische diagnostiek moet zijn:

- 1,5 mm Al voor een buisspanning tot of gelijk aan 70 kV; en
- 2 mm Al voor buisspanningen van meer dan 70 kV, doch niet meer dan 100 kV; en
- 2,5 mm Al voor buisspanningen van meer dan 100 kV.
- Bij speciale toestellen, waarvan de buisspanning 50 kV niet overschrijdt, is ten minste een filtering van 0,5 mm AL noodzakelijk.

De aangegeven, wettelijk verplichte filtraties bij de verschillende buisspanningen zijn een minimum eis; in de praktijk wordt vaak meer gefilterd:

- d. **Kilovoltage. Kies** een zo hoog mogelijk kilovoltage voor de gewenste contrastinstelling;
- e. **Instelling mAs. Gebruik** de juiste kV en mAs instelling, zodat de opname direct goed is en **raadpleeg** daarvoor steeds de tabellen (dus niet uit het geheugen of met de "natte vinger").
- f. **Identificatie. Plaats** de juiste identificatiegegevens op de film en zie er op toe, dat geen afbeeldingen van vreemde voorwerpen op de foto (zoals ringen en kettingen) kunnen voorkomen.
- g. **Onbruikbare opnames. Voorkom** onbruikbare opnames door:
  - het gebruik van een niet geladen cassette,
  - het niet plaatsen van een cassette in de bucky,
  - foutieve instelling van de buis over de patiënt en film,
  - het maken van dubbele opnames op één plaat,
  - het onjuist afwerken van een foto in de donkere kamer.
- h. **Afscherming. Scherm af** die lichaamsdelen, welke niet behoeven te worden doorgelicht; dit geldt bovenal voor kinderen, in verwachting zijnde vrouwen en iedereen beneden de veertig jaar, waarbij afscherming van de gonaden belangrijk is.

**Storingsmelding.** Storingen moeten zo snel mogelijk worden verholpen. Meld storingen direct via het storingstelefoonnummer van de betreffende onderhoudsdienst. Vul dit nummer in op de veiligheidsinstructie bij het röntgentoestel.

0-0-0

© SBD/A&V/WJG, September 2006; 1ste herziening zomer 2013.

Aanvulling d.d. 6 februari 2018:

**Op last van de afspraken in de EU-is ook de regelgeving in [NL aangepast](#). Zie : *Besluit van 23 oktober 2017, houdende vaststelling van regels ter bescherming van personen tegen de gevaren van blootstelling aan ioniserende straling (Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming)*.**

**Gebruikte begrippen bij ioniserende straling**

**Activiteit:** *(te vergelijken met de sterkte van een lamp)*

**Bq ( Becquerel)**

**Eenheid:**  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ kernmutatie per seconde } (1_{s^{-1}})$

**Besmetting:**  $\text{Bq/cm}^2$

**Specifieke activiteit:**  $\text{Bq/g}$

**Dosis/Dosistempo:** *(te vergelijken met lichtintensiteit)*

**Soorten en eenheden:**

|                     |      |                   |
|---------------------|------|-------------------|
| Ionisaties in lucht | C/kg | (Coulomb per kg)! |
| Dosis in materiaal  | Gy   | (Gray)            |
| Dosis in weefsel:   | Sv   | (Sievert)         |

**Samenhang:**

tussen de soorten:

|                     |           |                   |
|---------------------|-----------|-------------------|
| 1 C/kg in lucht     | $\approx$ | 33,68 Gy (3876 R) |
| 1 C/kg in weefsel   | $\approx$ | 37,21 Gy          |
| 1 Gy röntgen/gamma  | $\approx$ | 1 Sv              |
| 1 Gy alfa/neutronen | $\approx$ | 20 Sv             |

**Tijdsafhankelijk:** *dosistempo*

1 Sv/h geeft een dosis van 1 Sv in elk uur.

0-0-0



**Concept VEILIGHEIDSINSTRUCTIE VOOR GEBRUIKERS VAN EEN RÖNTGENTOESTEL**

1. U mag het toestel alleen gebruiken indien U:
  - 18 jaar of ouder bent en niet zwanger of zogende;
  - medisch geschikt bent verklaard;
  - voorzien bent van een Persoonlijk Dosisregistratie Middel (PDM);
  - kennis heeft genomen van de bij het röntgentoestel behorende handleiding;
  - een instructie over het omgaan met röntgentoestellen heeft gehad.
2. Het toestel mag alleen voor medische doeleinden worden gebruikt, indien dit medisch noodzakelijk wordt geacht; houd het aantal opnamen zo beperkt mogelijk.
3. Ieder voorwerp dat door röntgenstraling wordt getroffen -ook het menselijk lichaam – verstrooit de straling in alle richtingen. Houdt U zich daarom aan de volgende regels:
  - **beperk** de tijd dat U aan straling wordt bloot gesteld;
  - **houd** een zo groot mogelijke afstand tot de stralingsbron aan;
  - **kies** een geschikte plaats tijdens de opname, zo mogelijk achter een scherm of muur;
  - **gebruik** een zo klein mogelijk diafragma, aangepast aan het filmformaat;
  - **pas** het voorgeschreven filter toe;
  - **gebruik** beschermende middelen, zoals loodschort, loodhandschoenen, loodflappen;
  - **laat** het fixeren van patiënt of filmcassette over aan de patiënt of aan een begeleider.
4. Laat géén personen toe in ruimten waar röntgenopnamen worden gemaakt, indien hun aanwezigheid niet strikt noodzakelijk is.
5. Meld storingen aan het röntgentoestel onmiddellijk en staak het gebruik ervan totdat de oorzaak door deskundigen is onderzocht. Gebruik het toestel niet na reparatie of wijziging van de toestelopstelling, voordat de toezichthouder het toestel heeft gecontroleerd op stralingsveiligheid en voor gebruik heeft vrijgegeven.
6. Rapporteer alle omstandigheden die U uit oogpunt van stralingsbescherming belangrijk voorkomen.  
Meld de toezichthouder wanneer U buiten uw werkzaamheden voor de organisatie nog aan röntgenstraling wordt blootgesteld of omgaat met radioactieve stoffen. Stel bij ziekte uw dokter en de controlerende arts op de hoogte van uw functie als blootgestelde werker.
7. Uitgereikt door (naam/functie): .....
8. Storingsmelding -- (Telefoon): .....

0-0-0

## Multiple Choice Examenvragen, niveau 6 röntgen

*De antwoorden staan in de voorgaande tekst!  
(omcirkel steeds het juiste antwoord).*

1. **Voor een scherpe röntgenfoto moet de:**
  - A. afstand van het focus tot het voorwerp zo klein mogelijk zijn en moet het voorwerp zo ver mogelijk van de film worden verwijderd.
  - B. afstand van het focus tot het voorwerp zo groot mogelijk zijn en het voorwerp zo dicht mogelijk bij de film geplaatst.
  - C. focus en film zo dicht mogelijk bij het voorwerp zijn geplaatst.
2. **Fluorescerende schermen in een röntgenfilmcassette:**
  - A. geven een geringere stralingsbelasting van de patiënt.
  - B. geven meer details, maar ook meer stralingsbelasting van de patiënt.
  - C. zijn noodzakelijk daar röntgenstraling anders geen effect op de film kan geven.
3. **De straling van een röntgentoestel moet:**
  - A. zoveel mogelijk worden gefilterd om een zo hard mogelijke straling te verkrijgen.
  - B. niet worden gefilterd om een zo groot mogelijke stralingsopbrengst te verkrijgen.
  - C. zo worden gefilterd, dat de onbruikbare zachte straling wordt weggefilterd.
4. **De sievert (Sv) is de eenheid van:**
  - A. de mate van besmetting.
  - B. Stralingsbelasting.
  - C. stralingsschade of dosisequivalent.
5. **Het eerste effect van een uitwendige bestraling van de hand met een hoge dosis is:**
  - A. Hoofdpijn.
  - B. Leukemie.
  - C. huid-erytheem (roodkleuring).
  - D. Diarree.
6. **Onder genetische stralingsschade verstaat men:**
  - A. de schade, die de bestraalde persoon zelf ondervindt.
  - B. de schade, die door de bestraalde persoon aan zijn nageslacht wordt doorgegeven.
  - C. de schade, als kind ontvangen, die invloed heeft op de verdere ontwikkeling tot volwassene.
7. **Een filmbadge wordt gebruikt voor:**
  - A. Afscherming tegen straling.
  - B. Persoonlijke dosisregistratie.
  - C. Administratieve doeleinden.
  - D. Geen van de andere antwoorden is goed.
8. **Bij het werken met röntgentoestellen dient u uw persoonlijk dosisregistratiemiddel:**
  - A. boven het loodschort te dragen.
  - B. onder het loodschort te dragen.
  - C. aan het röntgentoestel te hangen.

9. In Nederland bedraagt de natuurlijke of achtergrondstraling (inclusief Radon en vervalprodukten) per jaar:
- A. circa 0,2 mSv                      B. circa 22 mSv                      C. circa 2,0 mSv
10. Geef van de volgende "uitspraken" aan of deze juist (J) of onjuist (O) zijn (omcirkel het GOEDE antwoord):
- J / O    Röntgenstraling heeft een te lage energie om ionisaties teweeg te brengen in vaste stoffen.
- J / O    Het exposietempo van een puntvormige röntgenbron neemt af met de afstand in het kwadraat.
- J / O    Na één halveringsdikte is de energie van de röntgenstraling van een toestel met de helft afgenomen.
- J / O    Na één halveringsdikte is het exposietempo, t.g.v. een röntgentoestel, met de helft afgenomen.
11. De drie grondprincipes bij de bescherming tegen straling tijd, afstand en afscherming) gelden:
- A. voor bestraling door bronnen buiten het lichaam.
- B. alleen voor gammastraling.
- C. uitsluitend voor inwendige besmetting.
- D. niet voor röntgenstraling.
12. Achtergrondstraling is:
- A. afkomstig van kernenergie.
- B. alleen op de Noord- en Zuidpool aanwezig.
- C. altijd aanwezig.
13. Voor alle röntgentoestellen (ook die niet-vergunningsplichtig zijn) geldt een aangifteplicht:
- A. wanneer ze in gebruik gesteld worden en wanneer het gebruik van het toestel wordt beëindigd.
- B. alleen, indien het gebruik van het toestel wordt beëindigd.
- C. wanneer het toestel moet worden vervoerd.
14. Aan de verplichting voor radiologisch personeel "persoonlijke controlemiddelen" te dragen wordt voldaan, indien:
- A. een geschikte dosimeter van een erkende instelling wordt gedragen.
- B. een stralingsmeetapparaat met een schaal aanwijzing in mR/h wordt gehanteerd.
- C. een pendosimeter wordt gedragen.
15. Mag u uw Persoonlijk DosisregistratieMiddel (PDM) bij overplaatsing zondermeer aan uw opvolger overdragen?
- A. Ja.
- B. neen, want het nummer van het PDM is strikt persoonlijk en wordt dus niet voor een andere persoon uitgegeven.
- C. niet zonder meer; toegestaan na voorafgaande melding aan het registrerende orgaan, dat de registratie van de PDM's bijhoudt.