

---

STRALING IN  
ZIEKENHUIZEN

Door: Kornelis Blok  
Gijs van Ginkel  
Kees van der Leun  
  
Hans Muller  
Jos Oude Elferink  
Antoinette Vesseur

Natuurkundewinkel  
Rijksuniversiteit  
Utrecht Okt. '85

---

N. RVU -- 3-000-0002-4566.

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche.

# STRALING in ziekenhuizen



N-RUU --3-0000-00002-4566

---

# STRALING IN ZIEKENHUIZEN

door: Kornelis Blok  
Gijs van Ginkel  
Kees van der Leun  
Hans Muller  
Jos Oude Elferink  
Antoinette Vesseur

Natuurkundewinkel  
Rijksuniversiteit Utrecht  
oktober 1985



Deze brochure is samengesteld door de Natuurkundewinkel Utrecht.

Dit is een onderdeel van de subfaculteit Natuur- en Sterrenkunde van de Rijksuniversiteit Utrecht.

Kontaktpersoon: drs. Kornelis Blok, Vakgroep Technische Natuurkunde van de Rijksuniversiteit Utrecht, Postbus 40.000, 3508 TA Utrecht, tel. 030-532907.

Hoewel wij bij de samenstelling van deze brochure zo zorgvuldig mogelijk te werk zijn gegaan, kunnen wij, noch de Rijksuniversiteit noch enig orgaan van onze universiteit verantwoordelijkheid aanvaarden voor eventuele onjuistheden of voor schade die door het gebruik van deze brochure zou kunnen worden veroorzaakt.

## Woord vooraf

In bijna elk ziekenhuis wordt tegenwoordig gebruik gemaakt van straling. Ook het verplegend personeel krijgt te maken met röntgenapparatuur en met patiënten bij wie een radio-actieve stof is ingebracht.

Over de risico's van het gebruik van straling voor de mensen die in een ziekenhuis werken gaat dit boekje.

Als we spreken over straling dan bedoelen we hier radio-actieve straling, zoals ze meestal wordt genoemd. Vakmensen spreken van ioniserende straling.

Het boekje is gesplitst in drie stukken.

Deel I behandelt de eigenschappen van straling in het algemeen.

In deel II worden de verschillende toepassingen van straling in ziekenhuizen besproken.

Deel III geeft aan wat je kunt doen om in een niet geheel veilige situatie verbetering te brengen.

Een groot aantal personen met verschillende deskundigheden hebben commentaar geleverd op een eerste ontwerp voor deze brochure. Hiervoor zeggen wij hen dank. Uiteraard dragen zij geen verantwoordelijkheid voor de uiteindelijke tekst.

## Inhoudsopgave

### OVERZICHT VAN AANBEVELINGEN.

#### Deel I. WAT IS STRALING?

1. De ontdekking van straling
2. Soorten straling
3. De energie van straling
4. Eigenschappen van röntgenstraling
5. Andere eigenschappen van radio-actieve straling
6. Schade door straling
7. Regels voor blootstelling aan straling
8. Beperkt gebruik van straling
9. Bescherming tegen straling
  - a. afscherming
  - b. afstand
  - c. tijd
10. Meten van straling
11. Achtergrondstraling

#### DEEL II TOEPASSING VAN STRALING EN RISICO'S VOOR HET PERSONEEL

##### RÖNTGENONDERZOEK

1. Hoe ontstaat een röntgenopname?
2. Soorten röntgenopnamen
3. Waar moet je op letten?
4. Mobiele röntgenapparatuur

## NUKLEAIRE GENFESKUNDE EN RADIOTHERAPIE

5. Nukleaire diagnostiek (scintigrammen)
6. Waar moet je op letten?
7. Radiotherapie - algemeen
8. Radiotherapie - uitwendige bestraling
9. Radiotherapie - inwendige bestraling
10. Opslag van radio-actief materiaal

## DIVERSEN

11. Echografie
12. NMR
13. Microgolfstraling
14. UV-behandeling

## DEEL III. HOE VERBETER JE DE SITUATIE?

1. Wat zijn je rechten?
2. Overleg
3. De arbeidsinspectie

Bijlage: Eenheden in stralingsland



## OVERZICHT VAN AANBEVELINGEN

- \* kom bij een röntgenopname nooit in de direkte stralingsbundel
- \* laat het vasthouden van kinderen en dergelijke over aan familieleden
- \* ga bij het maken van een röntgenopname achter een afscherming staan; een veilige plaats is achter het bedieningspaneel
- \* zorg indien dit niet mogelijk is voor een goede afscherming (bv. loodschort) en houd afstand
- \* ga bij het maken van opnamen met mobiele röntgenapparatuur van zaal af
- \* draag indien dit niet kan een loodschort
- \* verwijder urine en faeces van patiënten bij wie kortgeleden een scintigram is gemaakt direkt van zaal
- \* was deze patiënten met gebruik van wegwerphandschoenen
- \* kom niet meer in de buurt van deze patiënten dan strikt nodig is
- \* dring er op aan dat van patiënten die terugkomen van het maken van een scintigram bekend is hoe ze behandeld zijn en welke voorzorgen moeten worden genomen
- \* werk alleen op afdelingen voor radiotherapie indien je hier een speciale cursus voor hebt gevolgd.

### Bij zwangerschap:

- \* werk liever niet op operatiekamers waar beeldversterkers worden gebruikt
- \* laat het begeleiden van patiënten naar de röntgenkamer en het verzorgen van patiënten bij wie kortgeleden een scintigram is gemaakt liever aan kollega's over
- \* kom niet onnodig op de afdeling Nukleaire Geneeskunde
- \* werk niet met patiënten die radio-therapeutisch worden bestraald met inwendige bronnen.



Twee mensen die een belangrijke rol speelden bij het onderzoek van straling. Boven Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), de ontdekker van de röntgenstraling, beneden Maria Theresia-Skłodowska (1867-1934) die ontdekte dat er ook een onzichtbare straling uitgaat.



### 1. De ontdekking van straling

In 1895 ontdekte Wilhelm Conrad Röntgen, dat hij de botten van zijn hand kon zien, als hij deze tussen een röntgenbuis (zoals deze later naar hem werd genoemd) en een oplichtend scherm hield. Binnen een paar maanden merkte hij, dat de huid van zijn handen rood werd als bij een verbranding. Voor de veiligheid schermde hij de röntgenbuis af met lood.

Ongeveer in dezelfde tijd ontdekten anderen, dat er in de natuur radio-actieve stoffen bestaan, zoals radium en uranium, die uit zichzelf straling uitzenden. Het verschijnsel radio-activiteit en straling prikkelde de nieuwsgierigheid van verschillende wetenschapsmensen. Zij probeerden de verschijnselen, die ze bij het omgaan met radio-actieve stoffen en röntgenstraling waarnamen te beschrijven en te verklaren.

Ook werd ontdekt, dat straling gebruikt kan worden bij de medische diagnostiek of ter bestrijding van sommige ziektes. Op grond van al dit onderzoek kunnen radio-activiteit en straling als volgt worden beschreven:

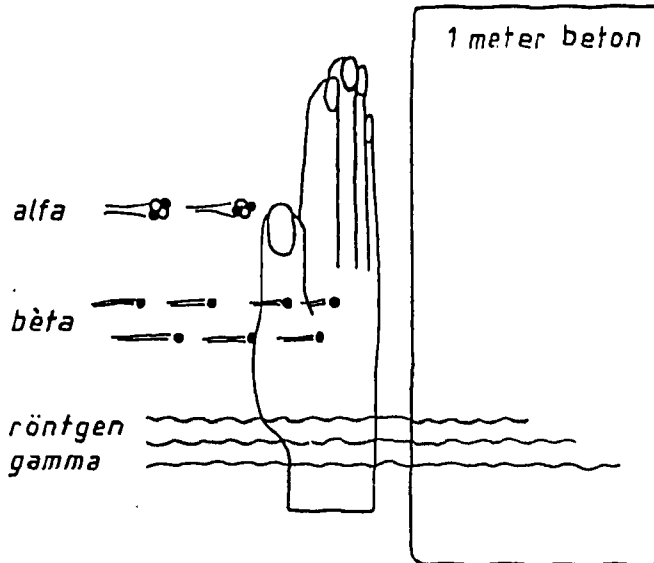
### 2. Soorten straling

In ziekenhuizen komen twee soorten bronnen van straling voor:  
-toestellen (bijvoorbeeld röntgenapparaten)

-radio-actieve stoffen.

De straling die hierdoor wordt uitgezonden is onzichtbaar en het is ook niet eenvoudig om ons er iets bij voor te stellen. Je kunt straling opvatten als een stroom bijzonder kleine deeltjes die door een toestel of een radio-actieve stof worden uitgezonden. In het volgende vergelijken we deze deeltjes met knikkers. Deze "knikkers" kunnen uiteenlopen in grootte en in energie (snelheid). Ook kan het aantal uitgezonden knikkers per seconde verschillen afhankelijk van de soort radio-actieve stof of van het soort röntgenbuis en de instelling ervan.

Gamma-straling en röntgenstraling zijn de soorten straling waar we in ziekenhuizen het meeste mee te maken hebben. Gamma-



Er zijn verschillende soorten straling; ze verschillen in grootte van de deeltjes en in andere eigenschappen, die hier niet van belang zijn.

- alfa-straling (alfa is de eerste letter van het Griekse alfabet). Alfa-deeltjes zijn relatief groot.

- bèta-straling (bèta is de tweede letter van het Griekse alfabet). Bèta-deeltjes zijn veel kleiner dan alfa-deeltjes. Ze worden in lichaamsweefsel minder snel afgeremd dan alfa-deeltjes. Dit heeft tot gevolg, dat bèta-deeltjes verder in weefsel doordringen dan alfa-deeltjes met dezelfde energie.

- gamma- en röntgenstraling (gamma is de derde letter van het Griekse alfabet). Eigenlijk zijn deze soorten straling gelijk aan elkaar. Ze bestaan allebei uit heel kleine knikkers (duizenden malen kleiner dan bèta-deeltjes bijvoorbeeld).

Gamma- en röntgenstraling zijn ook op te vatten als een zeer doordringend soort licht (vandaar de golflijntjes in de figuur).

straling is afkomstig van radio-actieve stoffen, röntgenstraling komt uit röntgenapparaten. Ze zijn allebei op te vatten als een bijzonder doordringend soort licht. Het is zelfs mogelijk dat een deel van deze straling dwars door het lichaam gaat zonder daarin iets te raken (denk bijvoorbeeld aan röntgenfoto's).

Doordat ze zo doordringend zijn kunnen ze in het lichaam schade aanrichten, ook al komen ze van buiten af.

Als een radio-actieve stof in het lichaam opgenomen wordt, bijvoorbeeld door de mond, kunnen andere soorten straling (alfa- en bèta-straling; zie de figuur) ook schade aanrichten.

### 3. De energie van de straling

Behalve van het soort stralingsdeeltjes hangt de schade die zij kunnen veroorzaken ook af van de energie van de straling. Deze energie is -als we weer aan knikkers denken- het best te vergelijken met snelheid: een knikker die tegen je arm rolt is minder pijnlijk dan een knikker die met een katapult tegen je arm wordt geschoten. De laatste knikker geeft meer energie af aan de arm en richt daardoor meer schade aan. Zo is het ook met straling: hoe groter de energie-afgifte van de straling, hoe groter de kans op schade.

Behalve van de energie ("knikkersnelheid") hangt de schade natuurlijk ook af van de hoeveelheid straling ("aantal knikkers").

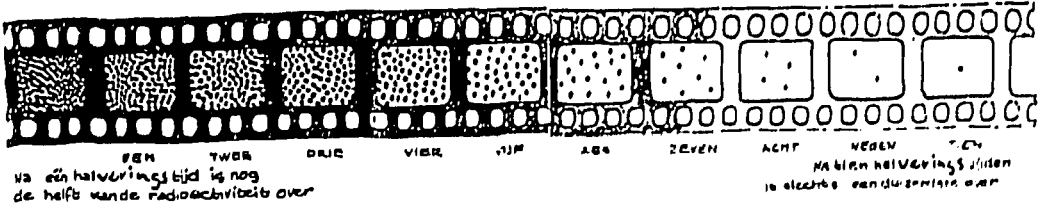
### 4. Eigenschappen van röntgenstraling

Bij een röntgenbuis zijn zowel de energie van de straling als de hoeveelheid straling instelbaar.

Als een röntgenbuis wordt uitgezet houdt deze op met het uitzenden van röntgenstraling, net zoals een lamp ophoudt met licht geven zodra de schakelaar wordt omgedraaid.

### 5. Eigenschappen van radio-actieve stoffen

Van de straling die uit een radio-actieve stof komt is de energie niet te veranderen. Ook de hoeveelheid straling die er



Een filmpje laat zien hoe de activiteit van een stof in de loop van de tijd afneemt. Tussen twee opeenvolgende beeldjes zit telkens evenveel tijd.

Onderstaande tabel geeft voor een aantal veel gebruikte radio-actieve isotopen de halveringstijd weer. Tevens wordt de soort straling aangegeven.

Isotoop	Halveringstijd	Soort straling
Koolstof-11	20 minuten	diverse
Koolstof-14	5700 jaar	bèta
Stikstof-13	10 minuten	diverse
Fluor-18	110 minuten	diverse
Chroom-51	28 dagen	bèta, gamma
Cobalt-60	5 jaar	gamma
Gallium-67	3,2 dagen	bèta, gamma
Strontium-85	64 dagen	bèta, gamma
Strontium-87m	3 uur	bèta, gamma
Technetium-99m	6 uur	bèta, gamma
Iodium-111	2,8 dagen	bèta, gamma
Iodium-125m	4,5 uur	bèta
Iodium-132	13 uur	gamma, bèta
Iodium-131	8 dagen	diverse
Xenon-133m	12 dagen	gamma
Cesium-137	30 jaar	bèta, gamma
Iridium-192	74 dagen	bèta, gamma
Kwik-197	65 uur	gamma
Tand-198	2,7 dagen	diverse
Thallium-201	3 dagen	bèta, gamma

af komt is niet te beïnvloeden.

Radio-actieve stoffen blijven deeltjes uitzenden, ook al worden ze niet gebruikt. Wel neemt het aantal uitgezonden deeltjes af in de loop van de tijd; juist bij het uitzenden van de deeltjes verliest de stof zijn radio-activiteit. De hoeveelheid straling -de activiteit- loopt niet bij alle stoffen even hard terug; bij sommige gaat het langzaam, bij andere gaat het snel. We spreken van stoffen met lange en met korte halveringstijd.

Elke stof wordt aangeduid door een naam en een nummer, zoals jodium-131. Naast het kunstmatig geproduceerde jodium-131 bestaat ook het in de natuur voorkomende jodium-127. In het lichaam gedragen beide stoffen zich hetzelfde. Jodium-127 is echter niet radio-actief. Al deze soorten jodium worden isotopen genoemd.

Zo wordt elke combinatie van een stofnaam en een nummer een isotoop genoemd. Alle in ziekenhuizen gebruikte radio-actieve isotopen worden kunstmatig aangemaakt.

## 6. Schade door straling

Hierboven is het voorbeeld gegeven van een knikker, die tegen je arm rolt of geschoten wordt. In het eerste geval geeft de knikker maar weinig energie aan je arm af: de pijn is gering en de arm blijft heel. Bij afschieten van dezelfde knikker met een katapult wordt de arm met kracht getroffen, zodat er een blauwe plek of zelfs een wond ontstaat. De knikker staat dan zoveel voortbewegingsenergie af aan de arm, dat die beschadigingen oploopt.

Iets soortgelijks gebeurt als het menselijk lichaam aan straling wordt blootgesteld. De stralingsdeeltjes staan een deel van hun energie af aan het lichaamsweefsel, dat daardoor beschadigd kan worden.

Lichaamsweefsel bestaat uit cellen. Deze zijn opgebouwd uit verschillende onderdelen, die elk zorgen voor het uitvoeren van bepaalde taken binnen de cel.

Straling kan celonderdelen beschadigen. We kunnen in dat geval drie soorten effecten onderscheiden:

- effecten op het functioneren van de cel zelf
- effecten op dochtercellen van de cel (na celdeling)
- effecten op voortplantingscellen en daarmee op het nageslacht.

Effecten op het functioneren van de cel zelf kunnen het gevolg zijn van beschadiging van verschillende van de onderdelen. De plaats en de ernst van de schade bepalen dan mede de verdere levensloop van de cel. Zo kan de cel kleine beschadigingen weer repareren. Ingrijpender beschadigingen kunnen tot gevolg hebben dat celfuncties gestoord zijn of zelfs geheel uitvallen. Ernstige beschadigingen kunnen leiden tot het afsterven van de cel; dit zal echter bij in ziekenhuizen voor verplegend personeel gebruikelijke doses niet voorkomen.

Daarentegen wordt bij radiotherapie de tumor aan hoge doses straling blootgesteld, zodat de tumorcellen daar gedood worden.

Wordt de celkern met daarin de erfelijke informatie beschadigd, dan kunnen na celdeling dochtercellen verschillen van hun moedercel. Deze wijzigingen kunnen meer of minder ernstig zijn. In een ernstig geval kan beschadiging van de erfelijke informatie zo leiden tot de groei van een kankergezweel. De kans hierop is normaal gesproken zeer klein, maar wordt groter als de dosis straling groter wordt. Zo'n kankergezweel kan zich lange tijd na de bestraling openbaren, tot zelfs 30 jaar erna. Beschadiging van de celkern van bij de voortplanting betrokken cellen kan leiden tot effecten bij het nageslacht. Dit kan onschuldig zijn, bijvoorbeeld een afwijkende haarkleur, maar ook geestelijke of lichamelijke misvormingen kunnen het gevolg zijn. Dergelijke mutaties kunnen, evenals kanker, overigens ook door andere oorzaken ontstaan.

De omvang en het eventuele schadelijke effect van een hoeveelheid straling die je oploopt worden uitgedrukt in een zetel, in een aantal millirems. De millirem is eigenlijk een verouderde eenheid, die nog wel vaak gebruikt wordt (zie de bijlage: eenheden in stralingsland).



Voor de precieze omvang van het risico van straling worden wel bepaalde getallen genoemd. Zo zou per 1000 millirem straling die je oploopt de kans dat je er kanker van krijgt 1 op 10.000 zijn. Dat wil zeggen: als er 1.000.000 mensen elk 1000 mrem krijgen (wat al vrij veel is), krijgen er 100 kanker van (1 op de 10.000). De kans op genetische schade wordt -indien je in de vruchtbare periode zit- ongeveer even groot geschat.

Bedacht moet worden dat deze getallen zeer onzeker zijn. Ze zijn gebaseerd op experimenten waarbij aan dieren (bijv. muizen) hoge stralingshoeveelheden werden toegediend. Ook kon uit de gevolgen van de atoombomexplosies op Japan (augustus 1945) een en ander worden afgeleid. Deze gegevens zijn omgerekend voor de in vergelijking zeer lage stralingshoeveelheden die mensen onder normale omstandigheden oplopen. Het is onduidelijk of dit korrekt is; er zijn aanwijzingen dat dit zowel naar boven of naar beneden kan afwijken. Deze onzekerheid moet aanleiding geven tot extra voorzichtigheid.

Om de kans op beschadiging van het erfelijk materiaal zo klein mogelijk te maken, dient men voorzichtig om te gaan met rad/γ-actieve stoffen en stralingsapparaten als röntgentoestellen. Bij het gebruik ervan moeten voor- en nadelen voor de patiënt en het medisch personeel tegen elkaar worden afgewogen.

Vooraf weefsel dat uit zich snel delende cellen bestaat -zoals dat van een foetus of een kind en ook het bloedvormende beenmerg- is bijzonder gevoelig voor straling.

#### 7. Regels voor blootstelling aan straling

Toepassing van straling heeft zowel positieve als negatieve kanten. Vóór de ontdekking van de röntgenstraling en de toepassing daarvan in de medische diagnostiek was opensnijden de enige manier om een patiënt van binnen te bekijken; nu hoeft dit niet altijd meer.

Verder kan kanker in een aantal gevallen door bestraling met succes worden bestreden (radiotherapie).

Ook wordt bestraling soms gebruikt om bij kankerpatiënten de pijn te verminderen (palliatief gebruik).

Door blootstelling aan straling loop je echter ook een grotere kans om kanker te krijgen.

De toepassing van straling is dan ook wettelijk geregeld. In de wet (de Kernenergiwet) staat het volgende:

- toepassing van straling moet nuttig zijn;
- blootstelling aan straling moet zo veel mogelijk beperkt worden;
- er wordt een wettelijke norm gesteld voor de blootstelling aan straling.

De totale dosis waaraan iemand wordt blootgesteld mag nooit boven de norm komen en moet zelfs zo ver mogelijk onder de norm blijven. De norm is vastgesteld op maximaal 500 millirem per jaar. Dit geldt niet voor de straling die je als patiënt oploopt.

De millirem (afgekort mrem) is een maat voor de schadelijkheid van de straling die je oploopt. We noemen dit verder de dosis of stralingsdosis. Zie hierover de bijlage achter in dit boekje.

Een uitzondering wordt gemaakt voor mensen die beroepsmatig veel met straling omgaan, de zgn. radiologische werkers. Zij mogen per kwartaal niet meer dan 3000 millirem en per jaar niet meer dan 5000 millirem oplopen.

Voor die mensen gelden extra regels, zoals o.a.:

- leren hoe met straling om te gaan (kursussen, instructies)
- dragen van beschermende kleding (loodschorten)
- dragen van een badge, zodat de opgelopen dosis kan worden bijgehouden
- deskundige begeleiding
- regelmatige medische keuring (op verzoek; in sommige ziekenhuizen verplicht). De zin ervan is maar betrekkelijk gezien de lange inkubatietijd van mogelijke effecten.

De ongeboren kinderen vormen een aparte categorie die ook in de wet bijzondere aandacht krijgt. Die groeien erg snel en zijn daarom buitengewoon kwetsbaar voor straling. Hierbij zijn met name de eerste 50 dagen van de zwangerschap van belang; in

deze periode vindt de orgaanaanleg plaats. Een aantal vrouwen weet dan nog niet dat ze zwanger zijn.

Met het oog op een eventuele zwangerschap mogen vrouwelijke radiologische werkers per kwartaal ten hoogste een dosis van 1300 millirem ontvangen op het onderlichaam.

Voor zwangere vrouwen geldt dat de dosis die de foetus ten gevolge van het werk van de moeder ontvangt ten hoogste 500 millirem mag bedragen. Het is nog beter als een zwangere vrouw alleen werk doet waarbij de foetus niet aan straling wordt blootgesteld; op dit laatste punt zijn je rechten niet wettelijk geregeld.

#### 8. Beperkt gebruik van straling

Toepassingen van straling moeten nuttig zijn. Daarom zijn sommige toepassingen van straling zonder meer verboden (bijvoorbeeld wanneer er gelijkwaardige alternatieven zonder straling zijn), terwijl voor andere toepassingen strenge wettelijke regels bestaan (zoals voor radium in lichtgevende horloges).

Men moet zich dan ook altijd afvragen of een bepaalde toepassing van straling nuttig is. Zo is het bijvoorbeeld beslist niet nuttig om van elke patiënt met grote regelmaat röntgenfoto's te maken.

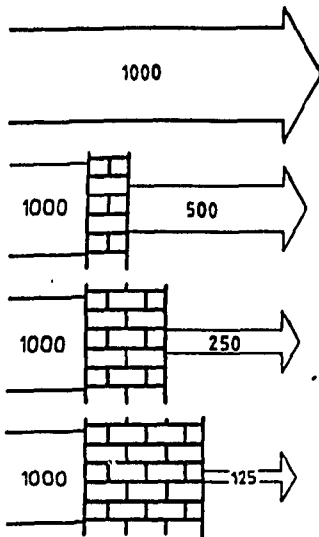
#### 9. Bescherming tegen straling

Blootstelling aan straling kan nadelige gevolgen hebben.

Allereerst is het daarom belangrijk het opnemen van radio-actieve stoffen in het lichaam, bijvoorbeeld door de mond, te vermijden.

De kans op nadelige gevolgen van straling die van buiten het lichaam komt kan worden verminderd door de hoeveelheid straling waaraan men blootgesteld wordt te beperken. Deze beperking is op een aantal manieren mogelijk, namelijk:

- stralingsbronnen afschermen
- afstand houden tot stralingsbronnen
- niet langer dan noodzakelijk in de buurt van een stralingsbron verblijven.



De hoeveelheid doorgelaten straling neemt af naarmate de afscherming dikker wordt.

De tabel geeft voor verschillende soorten afscherming en voor straling van verschillende energie aan hoeveel van de straling wordt doorgelaten.

Soort afscherming	Doorgelaten hoeveelheid straling			
	Zwakke röntgen	Harde röntgen	Zwakke gamma	Harde gamma
Halfsteens muur (10 cm)	1%	7%	20%	36%
Glas (3 mm)	80%	92%	alles	alles
Loodschort (¼ mm)	2%	37%	60%	80%
Staalplaat (2 mm)	bijna niks	75%	80%	93%
Loden muur (10 cm)	bijna niks	bijna niks	bijna niks	0,4%

Dit kunnen we kortweg samenvatten tot:

afscherming - afstand - tijd.

Deze beschermende maatregelen worden nu puntsgewijs behandeld.

#### a. Afscherming

Door een afscherming tussen jezelf en een stralingsbron wordt een deel van de straling tegengehouden.

Zo'n afscherming kan een loden omhulling van een röntgenapparaat zijn, een loodschoort die je voor hebt, maar ook een muur die zich tussen jou en de stralingsbron bevindt.

Hoeveel straling wordt onderschept door de afscherming hangt af van de soort en de dikte van de afscherming en van de soort straling.

Het afschermen van gamma- en röntgenstraling is niet eenvoudig, omdat de straling zo doordringend is.

Sommige materialen schermen straling zeer goed af; een voorbeeld hiervan is lood. Ook andere metalen, zoals staal, doen het vrij goed.

Belangrijk is ook de dikte van de afscherming. Hoe dikker de afscherming hoe meer straling wordt tegengehouden. Het is echter niet mogelijk om alle straling tegen te houden. De figuur geeft dit weer. Je ziet hoe de afschermdende werking bij een grotere dikte beter wordt.

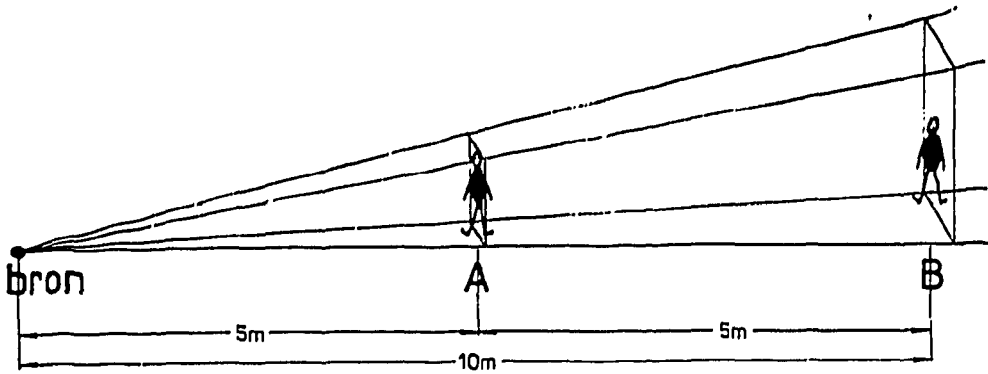
De tabel geeft aan wat het effect is van verschillende soorten afscherming. Hier blijkt het belang van de dikte: een muur van 10 cm houdt straling beter tegen dan een loden plaat van een halve millimeter; een loodschoort helpt alleen goed tegen straling met een lage energie.

Hang een loodschoort na gebruik op; opvouwen veroorzaakt scheurtjes en vermindert de beschermende werking ervan.

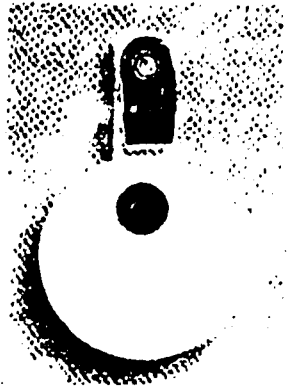
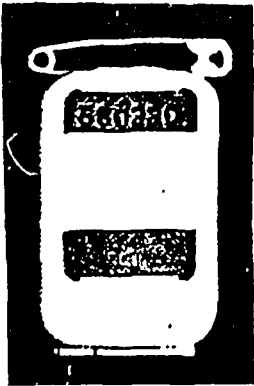
Uit de tabel is ook te zien dat afscherming de opgelopen dosis aanmerkelijk kan verminderen. Zorg er wel voor dat de afscherming zich altijd tussen jou en de stralingsbron bevindt!

#### b. Afstand

De blootstelling aan straling kan worden beperkt door afstand te bewaren.



Hoe groter de afstand, hoe minder je van een bepaalde bron opvangt.



Twee verschillende "badges" die worden gebruikt om te meten hoeveel straling iemand bijvoorbeeld in een periode van twee weken oploopt. Links een filmdosimeter, rechts een TLD-badge.

Dit blijkt uit de volgende vergelijking: Bij een lamp die dichtbij staat kun je beter lezen dan bij dezelfde lamp verder weg: van de eerste bereikt je meer licht dan van de laatste. Dat geldt ook voor radio-actieve straling. Als je dichterbij staat komt er meer straling bij je dan als je verder weg staat. De dosis die je ontvangt is dus ook minder als je verder van de bron verwijderd bent. Zo daalt de hoeveelheid straling die je opvangt tot een kwart als je afstand tot de bron tweemaal zo groot wordt. Dat kun je zien in het plaatje. Het is dan ook verstandig om een stapje terug te doen als dat mogelijk is. Dat geldt ook voor het op afstand bedienen van een röntgenapparaat.

### c. Tijd

Als je korter aan een bepaalde hoeveelheid straling wordt blootgesteld is de dosis die je ontvangt kleiner. Het is dan ook verstandig om er voor te zorgen dat je gedurende een zo kort mogelijke tijd straling opvangt.

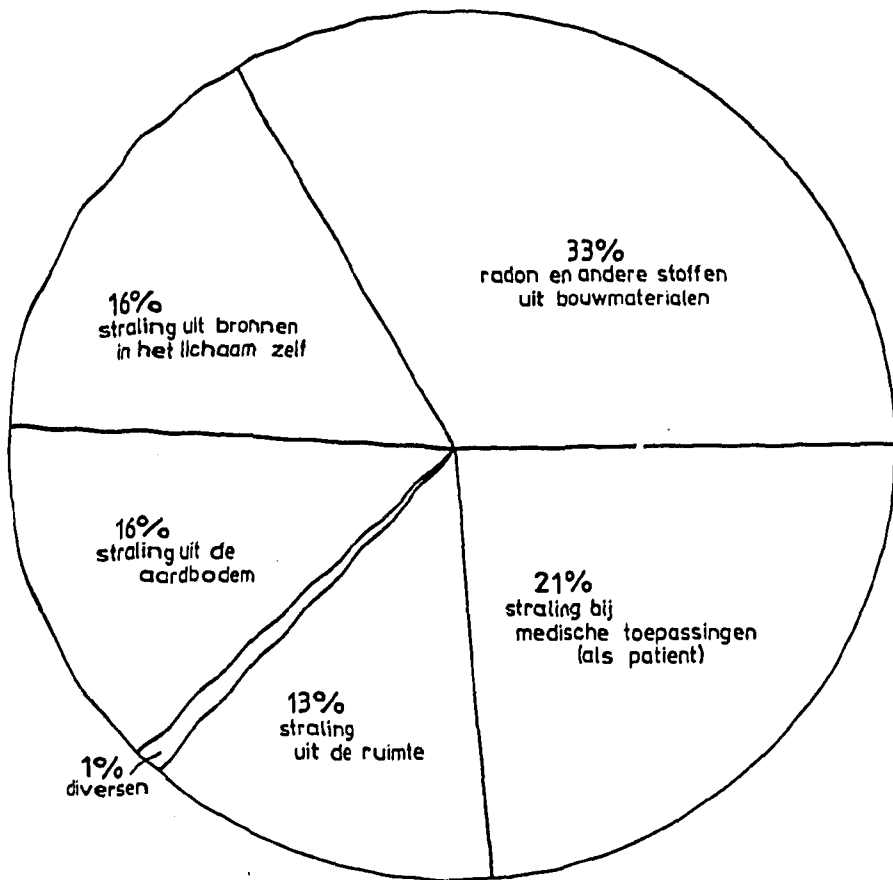
Radiologisch werkers die een röntgentoestel bedienen of omgaan met een radio-actieve stof moeten natuurlijk een afweging maken tussen afscherming, afstand en tijd. Onhandig werken door een loodschort (afscherming) of lange instrumenten (afstand) kan bijvoorbeeld maken dat de tijd dat ze aan straling blootstaan toeneemt.

Soms wordt bij werken op de röntgenafdeling het drinken van melk aanbevolen. Dit kan heel gezond zijn, maar met stralingsbescherming heeft het niets te maken.

### 10. Metten van straling

Straling kun je niet horen, zien of voelen. Daarom moet je op een andere manier te weten zien te komen of er straling is. Voor het meten van straling zijn allerlei hulpmiddelen bedacht. Die zijn in twee groepen te onderscheiden.

Enerzijds zijn er apparaten die het dosistempo meten: de hoeveelheid straling die op een bepaalde plaats op een bepaald



De belangrijkste bronnen van straling die een mens in doorsnee oploopt.



moment heerst, wordt aangegeven. Deze meters worden dosistempometers genoemd.

Anderzijds worden er zogenaamde badges gebruikt om vast te stellen hoeveel straling je totaal hebt ontvangen over een langere periode (meestal twee weken). Meestal worden deze alleen toegepast bij radiologisch werkers.

Een badge bestaat uit een fotografische film die in een plat doosje wordt gedragen op de plaats waar je de meeste straling krijgt (dat kan de pols zijn, het voorhoofd, de taille of de onderbuik). Die film wordt zwart als er veel straling op is gevallen, net als bij een röntgenfoto. Tegenwoordig wordt ook steeds meer gebruik gemaakt van de zogenaamde TLD-badges. Deze zijn meestal gevoeliger.

Een badge geeft de opgelopen dosis aan.

Op de foto's zijn een paar veel gebruikte badges te zien.

#### 11. Achtergrondstraling

Ook van nature loop je toch altijd een zekere stralingsdosis op.

Zo zorgt de straling uit de aarde en uit het heelal in Nederland samen voor zo'n 50 millirem per jaar. Binnenshuis is nog meer straling uit de omgeving. In bouwmaterialen, zoals beton en baksteen zitten ook kleine hoeveelheden radio-actieve stoffen, die aan de stralingsdosis een bijdrage van 50-100 millirem leveren. Eén van die stoffen is kalium, waarvan een deel radio-actief is.

Geen wonder dat we zelfs via het eten nog straling oplopen, onder andere door dit kalium.

Van de door menselijke activiteiten veroorzaakte straling is de medische straling het belangrijkste. Gemiddeld loopt een Nederlander hierdoor -voornamelijk door het ondergaan van röntgenopnamen- zo'n 30-50 millirem per jaar op.

Andere oorzaken, bijvoorbeeld door het werk in laboratoria of industrieën, leveren voor de doorsnee Nederlander slechts weinig straling op. In individuele gevallen kan dit wel hoger liggen.

DEEL II: TOEPASSING VAN STRALING EN RISIKO'S VOOR HET  
PERSONEEL.

We komen nu toe aan de behandeling van de verschillende toepassingen van straling in het ziekenhuis. Achtereenvolgens kijken we naar het gebruik van röntgenapparatuur en de toepassingen van radio-actieve stoffen.

Tenslotte komen onder de kop diversen enige technieken aan de orde die niet met radio-activiteit te maken hebben.

RONTGENONDERZOEK

1. Hoe ontstaat een röntgenopname?

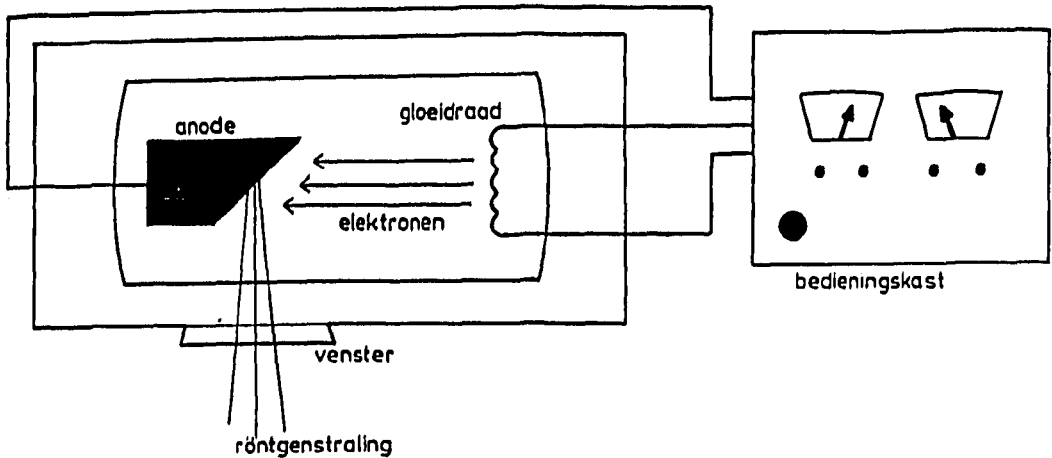
In een ziekenhuis worden veel röntgenonderzoeken gedaan. Met behulp van röntgenstralen is het namelijk mogelijk als het ware binnen in het lichaam te kijken (bijv. naar beenderen en organen).

De röntgenapparaten die voor verschillende onderzoeken worden gebruikt zien er allemaal weer anders uit, toch werken ze volgens hetzelfde principe. In elk apparaat zit een Röntgenbuis waarin de straling wordt gevormd. Alleen als het apparaat aan staat komt hier straling uit. De werking wordt uitgelegd in bijgaande figuur.

Röntgenstralen zijn niet zonder meer te zien, ze moeten zichtbaar gemaakt worden. Dit kan gebeuren door ze op een fotografische plaat op te vangen of via een beeldversterker op een T.V. scherm af te beelden. Röntgenstraling wordt dus altijd opgevangen en "verwerkt" om zichtbaar gemaakt te worden.

Röntgenstraling gaat gemakkelijker door vet en spierweefsel dan door botten. Daardoor kunnen botten zichtbaar gemaakt worden, bijv. door röntgenstraling door de arm van een patiënt te laten gaan en daar achter een fotografische plaat te zetten. De fotografische plaat wordt alleen zwart op de plaatsen waar de straling doordringt. Hierdoor wordt het bot als een licht beeld zichtbaar op de foto.

Als er röntgenfoto's gemaakt moeten worden van delen van het lichaam die de straling wel goed doorlaten, wordt een z.g.



Als het röntgentoestel wordt aangezet gaat door de gloeidraad een elektrische stroom lopen. De draad wordt daardoor heet en gaat deeltjes (de zgn. elektronen) uitzenden. Tussen de gloeidraad en de anode staat een elektrische spanning (de zgn. buisspanning). Daardoor vliegen de elektronen naar de anode. Daar botsen ze op het metaal van de anode. Hierdoor gaat de anode röntgenstraling uitzenden.

Als de stroom door de gloeidraad groter wordt gaat deze meer elektronen uitzenden. De omvang van de elektronen-stroom wordt aangegeven in milli-ampère (mA). Er botsen dan meer elektronen op de anode en er wordt dus meer röntgenstraling geproduceerd. Bij twee keer zo veel stroom krijg je ook twee keer zo veel straling. De straling blijft van dezelfde soort. Wordt de buisspanning groter (uitgedrukt in kV) dan krijgen de elektronen een grotere snelheid en botsen harder op de anode. Het gevolg is dat er hardere röntgenstraling wordt gemaakt: de doordringendheid is groter. Als de buisspanning twee keer zo groot wordt krijg je vele malen meer en hardere straling. Tenslotte is ook de tijdsduur van belang: twee keer zo lange opname betekent twee keer zo veel straling.

kontrastmiddel gebruikt. Dit is een stof die röntgenstralen niet goed doorlaat en dus ook een beeld op de foto geeft. Stel bijv. dat er een foto gemaakt moet worden van de maag van een patiënt; een maag laat röntgenstraling goed door en zou dus niet zichtbaar worden op een röntgenfoto. De patiënt moet dan eerst bariumpap innemen; bariumpap laat röntgenstralen niet goed door en een maag vol pap is dus op de foto wel te zien. De bariumpap is dus zelf niet radio-actief; zij houdt slechts de röntgenstraling tegen.

## 2. Soorten röntgenopname's

Zoals gezegd worden er veel verschillende röntgentoestellen gebruikt in een ziekenhuis. Ieder apparaat is zo gemaakt dat het speciaal geschikt is voor een bepaald onderzoek. De afmeting en het model kunnen dus nogal uiteenlopen. Het soort onderzoek bepaalt welke stralingsenergie en welke stralingsintensiteit nodig is, d.w.z. met welke buisspanning en welke stroom gewerkt moet worden.

Er zijn verschillende manieren om het gevormde beeld te verwerken:

- foto's;
- film;
- beeldversterker met daaraan gekoppeld een TV-scherm.

Bij het maken van een foto wordt de patiënt kort bestraald om te voorkomen dat de röntgenfoto door het bewegen van de patiënt onscherp wordt. Bij gebruik van een beeldversterker met TV-scherm kan dat langer duren (bijv. tijdens een operatie) maar is de intensiteit van de straling minder.

Wanneer je bij het nemen van een röntgenfoto goed afgeschermd staat (bijv. achter een muur of scherm) is de opgelopen dosis te verwaarlozen.

Bij een operatie waarbij gebruik wordt gemaakt van een beeldversterker loop je, als je er vaak dicht bij staat door de verspreiding van de straling uit de patiënt een dosis op die wel onder de norm blijft maar niet verwaarloosbaar is. Röntgenapparatuur met beeldversterkers wordt veel toegepast

bij hartcatheterisaties (angiografie).

Genoemd moet ook nog worden de zogenaamde computertomografie. Hierbij draait de röntgenbuis om de patiënt heen en maakt zo een aantal opnamen, die met behulp van een computer worden verwerkt tot een afbeelding van een doorsnede (een zgn. "plak") van de patiënt. Bij computertomografie zijn geen mensen in de ruimte aanwezig.

### 3. Waar moet je op letten?

Bij het zorgvuldig omgaan met röntgenapparatuur moet onderscheid worden gemaakt tussen de bundel die rechtstreeks uit het apparaat komt (de zgn. primaire bundel) en de straling die zich, onder andere via de patiënt, verspreidt (de zgn. strooi-straling). De stralingsintensiteit in de primaire bundel is erg hoog. Daarom moet je koste wat het kost hieruit blijven.

De verstrooide straling is, zeker als je dicht bij de patiënt staat, echter ook niet onbelangrijk. Je moet hiervoor de patiënt als bron van straling beschouwen: de afscherming moet zich dus tussen jou en de patiënt bevinden.

Voor mensen die op korte afstand van de patiënt staan is dus niet alleen het röntgenapparaat zelf maar juist ook de patiënt de bron van straling! Om het risico zo klein mogelijk te houden is het raadzaam om, als je dicht bij de patiënt staat een loodschort te dragen en tijdens het nemen van een foto achter een loodscherm te gaan staan.

- Algemene regels :
- kom nooit in de primaire bundel;
  - laat het vasthouden van kinderen bij röntgenopnames over aan de familieleden;
  - kom niet onnodig dicht bij de patiënt of het röntgenapparaat wanneer dit aanstaat;
  - zorg voor goede afscherming door een loodschort of scherm;
  - ga bij het maken van een opname op een röntgenafdeling achter het bedieningspaneel staan;

- ga bij een operatie met beeldversterker  
achter iemand met een loodschort staan  
als je er zelf geen draagt;

Bij zwangerschap : - vermijd het werken op operatiekamers waar  
beeldversterkers worden gebruikt;  
- laat het begeleiden van patiënten naar de  
röntgenafdeling veiligheidshalve aan  
collega's over.

#### 4. Mobiele röntgenapparatuur

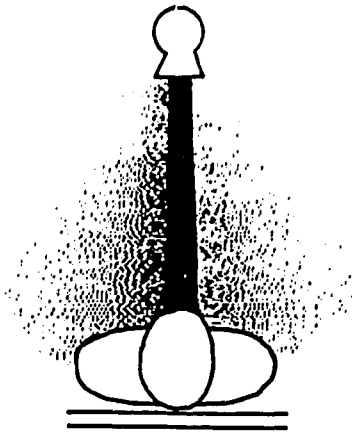
Wanneer patiënten niet naar de röntgenafdeling kunnen worden vervoerd, wordt vaak mobiele röntgenapparatuur op de zaal gebruikt. Afscherming is dan minder eenvoudig. Daarom is hierbij extra voorzichtigheid op zijn plaats.

Indien een röntgenfoto van boven naar beneden (anterior-posterior) wordt genomen verspreidt de meeste straling zich via het lichaam van de patiënt (zie figuur). Iemand die in de buurt is wanneer de opname wordt gemaakt loopt een bepaalde dosis op, die onder meer afhangt van de instelling van het apparaat en de tijdsduur van de opname. Uit metingen blijkt dat op een afstand van ongeveer 1 meter 0,1 tot 0,5 millirem per foto kan worden opgelopen. Indien iemand een aantal malen per week dicht bij zo'n opname aanwezig zou zijn, loopt hij/zij jaarlijks een dosis op van bijv. 100 millirem.

Deze dosis ligt weliswaar onder de norm. Toch is zij niet verantwoord omdat zij met vrij eenvoudige ingrepen kan worden vermeden:

- Bij het maken van een röntgenopname moet het personeel dat er niet noodzakelijkerwijs bij is betrokken van zaal af;
- Mensen die bij de opname persé aanwezig moeten zijn dienen een loodschort te dragen;
- Indien zeer regelmatig röntgenfoto's op zaal worden gemaakt (bijvoorbeeld meerdere per dag) mag op een intensive-care-afdeling een afgeschermd borstwering en loodglas voor de verpleegpost worden verlangd.

Overigens is het belangrijk dat goed wordt overwogen of het zin heeft om van mensen op een intensive care afdeling routinematig (bijv. dagelijks) een röntgenopname te maken.



Verspreiding van straling bij mobiele röntgenapparaten.  
Aangegeven is waar de straling het meest intensief is: hoe donkerder, hoe intensiever.

## NUKLEAIRE GENEESKUNDE EN RADIOTHERAPIE

Tot nu toe hebben we het vooral gehad over apparatuur die straling opwekt. In het volgende gaan we het vooral hebben over stoffen die uit zichzelf straling uitzenden.

Ze worden zowel voor diagnostiek als voor therapie gebruikt. Bij de therapie moet nog onderscheid worden gemaakt tussen open en gesloten bronnen van straling. De gesloten bronnen noemt men ook wel ingekapselde bronnen.

### 5. Nukleaire diagnostiek

Bij de nukleaire diagnostiek wordt een radio-actieve stof in het lichaam van de patiënt gebracht. Soms gaat het om een stof die normaal ook in het lichaam voorkomt, zoals jodium. De stof is echter "gemerkt", d.w.z. radio-actief gemaakt.

Met een geschikt instrument (bv. een gamma-camera) kan men nu nagaan waar zich de radio-actieve stof bevindt; er wordt als het ware een foto gemaakt van de radio-activiteit in het lichaam. Zo'n opname noemt men een scintigram of "scan".

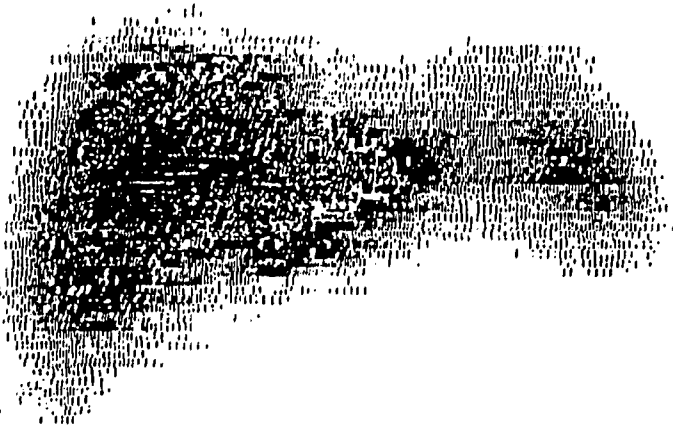
Voor de bepaling van onbedoelde neven-effecten voor het verpleegkundig personeel is niet alleen de toegediende hoeveelheid radio-activiteit (uitgedrukt in microcuries of millicuries) belangrijk maar vooral de halveringstijd van de toegediende stof. De halveringstijden zijn weergegeven in de tabel op pagina 12. Overigens is ook de zgn. radio-toxiciteit van belang. Deze hangt samen met de tijd dat een radio-actieve stof -mocht je er mee besmet raken- in je lichaam blijft.

Verreweg de meest gebruikte stof in de nukleaire diagnostiek is technetium-99m. De halveringstijd van technetium-99m is slechts 6 uur. Na die tijd is dus al de helft van de in de patiënt gebrachte radio-activiteit verdwenen door natuurlijk verval; na een dag is nog slechts 6% van de oorspronkelijke radio-activiteit over. Technetium wordt bij 75% van alle nukleaire onderzoeken toegepast, o.a. bij hersen-, lever-, bot-, long-, hart- en schildklierscans.





Een van de oudste toepassingen van nukleaire diagnostiek is schildklier-onderzoek. Radio-actief jodium wordt in het lichaam gebracht en begeeft zich, evenals gewoon jodium, naar de schildklier. Op de foto is een scintigram van de schildklier te zien; de lichte vlek in de linker lob wijst op een slecht functionerend deel.



De meest gebruikte radio-actieve stof voor diagnostische toepassing is technetium-99m. Hier een opname van een (overigens gezonde) lever en milt van een patiënt aan wie een met technetium-99m gemerkte stof (een zwavelzol) is toegediend.

Een stof die vroeger veel, maar tegenwoordig minder wordt gebruikt is jodium-131. De bekendste toepassing is het onderzoek van de schildklier. Jodium-131 heeft een vrij lange halveringstijd: acht dagen. Dit betekent dat pas acht dagen na de toediening de helft van de radio-activiteit door natuurlijk verval uit het lichaam van de patiënt is verdwenen. Overigens verdwijnt een deel van de activiteit door uitscheiding. De tijd waarin de helft van de activiteit door uitscheiding is verdwenen noemt men wel de biologische halveringstijd. Samen met de "gewone" geeft dit een effectieve halveringstijd. Deze effectieve halveringstijd is altijd korter dan de "gewone" en ook korter dan de biologische halveringstijd. Daarom is niet algemeen aan te geven tot hoelang na het nukleaire onderzoek je nog bepaalde voorzorgen in acht moet nemen. Bij gebruik van technetium-99m is een dag doorgaans voldoende, bij andere stoffen kan dit langer duren. Soms is de activiteit ook veel eerder verdwenen: bijvoorbeeld bij nieronderzoek met hippuran verdwijnt vrijwel alles bij de eerste maal urineren na de behandeling.

Bij uitscheiding is de activiteit overigens niet verdwenen maar afgevoerd, bijv. naar het riool.

Tegenwoordig wordt soms ook gebruik gemaakt van stoffen met een zeer korte halveringstijd, bijv. koolstof-11 (20 minuten). Het ziekenhuis moet dan echter beschikken over faciliteiten om dit soort stoffen zelf te maken. Uit het oogpunt van stralingsbescherming is de ontwikkeling naar korter levende isotopen een goede zaak. Dit geldt overigens in de eerste plaats vooral voor de patiënt zelf.

#### 6. Waar moet je op letten?

Patiënten die na het maken van een scintigram op zaal terug komen zijn nog licht radio-actief. Hoe lang dit duurt hangt af van de effectieve halveringstijd van de gebruikte stof.

Het is goed om er op te letten dat je zelf geen onnodige straling oploopt. Om een indruk te geven: een patiënt die onderzocht is met behulp van 100 microcurie jodium 131 blijft nog gedurende enkele dagen na het onderzoek straling uitzenden.

Om een orgaan met radio-actieve stoffen te kunnen onderzoeken moeten de radio-actieve deeltjes worden ingebouwd in een stof (een chemische verbinding) die een voorkeur heeft voor het betreffende orgaan.

Elk orgaan heeft zo zijn eigen stoffen en het is de kunst om radio-actieve deeltjes te vinden die hierin ingebouwd kunnen worden. Hieronder een lijst van stoffen die zoal voor de verschillende organen worden gebruikt, samen met de isotoop die wordt ingebouwd. Tevens wordt de halveringstijd waergegeven en de hoeveelheid activiteit die meestal wordt toegepast. Vooral de halveringstijd is een belangrijk punt om op te letten.

Orgaan	Stof	Isotoop	Gebruikte activiteit	"Gewone" halveringstijd
Schildklier	Natriumjodide	Jodium-123	200 $\mu$ Ci	13 uur
	Natriumjodide	Jodium-131	50 $\mu$ Ci	8 dagen
	Pertechnetaat	Technetium-99m	2000 $\mu$ Ci	6 uur
Lever	Colloid	Technetium-99m	2000 $\mu$ Ci	6 uur
Nieren	IJzercomplex	Technetium-99m	3000 $\mu$ Ci	6 uur
	Hippuran	Jodium-123	2000 $\mu$ Ci	13 uur
	Hippuran	Jodium-131	200 $\mu$ Ci	8 dagen
Renografie	DTPA, DMSA	Technetium-99m	2000 $\mu$ Ci	6 uur
Harsens	Pertechnetaat	Technetium-99m	10000 $\mu$ Ci	6 uur
Milt	Erythrocyten	Technetium-99m		
	Erythrocyten	Chroom-51	250 $\mu$ Ci	28 dagen
	Colloid	Technetium-99m		6 uur
Botweefsel	Fosfaatverbindingen	Technetium-99m	15000 $\mu$ Ci	6 uur
Long	Ventilatiescan	Xenon-135	1000 $\mu$ Ci/l	5 dagen
	Ventilatiescan	Krypton-81m	5000 $\mu$ Ci/l	12 seconden
	Zoutoplossing	Xenon-133	2000 $\mu$ Ci	5 dagen
	Bloedeiwit	Technetium-99m	2000 $\mu$ Ci	6 uur
Hart	Bloedeiwit	Technetium-99m	15000 $\mu$ Ci	6 uur
	Chloride	Thallium-201	2000 $\mu$ Ci	3 dagen
Total body	Galliumcitraat	Gallium-67	3000 $\mu$ Ci	3 dagen
Leucocyten-scan		Indium-111	450 $\mu$ Ci	3 dagen

den. Zou je als verpleegkundige een jaar lang per dag gemiddeld twee uur in de onmiddellijke nabijheid (ca. 50 cm) van dergelijke patiënten verblijven, dan loop je zo'n vijftig millirem aan straling extra op. Dit is niet verontrustend, maar voldoende om er rekening mee te houden. Zo is het verstandiger om niet langer in de buurt van deze patiënten te blijven dan strikt nodig is. Het werken met deze patiënten moet snel geschieden en het moeten niet steeds dezelfde verpleegkundigen zijn die deze patiënten verzorgen. Kinderen die nucleaire diagnostiek hebben ondergaan moeten niet op schoot worden genomen (behalve met een loodschort voor). Bij zwangerschap moet je deze patiënten vermijden.

Een ander aandachtspunt bij deze patiënten zijn de uitscheidingen; vooral bij de lang levende stoffen verlaat een groot deel van de radio-activiteit langs deze weg het lichaam. Door hygiënisch werken moet je voorkomen dat je zelf door bijv. het wassen van de patiënten met de radio-actieve stof besmet raakt.

De hoeveelheden die met urine en faeces naar buiten komen kunnen aanzienlijk zijn, zelfs zo groot dat ze als radio-actief afval zijn te beschouwen. Ze vallen echter niet onder de wet, zodat er geen strikte regels voor zijn. Daarom moeten urine en faeces soms enige tijd worden bewaard voor ze door de WC kunnen worden gespoeld.

Enkele voorzorgen die genomen moet worden zijn:

- urine en faeces direct van zaal verwijderen;
- patiënten met gebruikmaking van wegwerphandschoenen aan wassen en verschonen; vooral bij incontinentie patiënten is dit van belang!

Bij sommige onderzoeken worden ook speeksel en neusvocht radio-actief; de patiënt dient papieren zakdoeken te gebruiken die na het gebruik moeten worden verwijderd.

Dring er op aan dat bij patiënten die na een scan terugkomen op de afdeling vermeld wordt met wat voor stof en met welke hoeveelheid hiervan ze behandeld zijn, wat je met de urine moet doen en hoe lang je bepaalde voorzorgen in acht moet nemen.

Overigens is het verstandig om niet onnodig op de laboratoria en de behandelkamers van de afdeling voor Nukleaire Geneeskunde te komen, zeker niet als je zwanger bent.

#### 7. Radiotherapie - algemeen

In de radiotherapie wordt straling gebruikt om ziekten te behandelen. Vrijwel altijd gaat het hier om vernietiging van tumoren. In totaal zijn er in Nederland achttien instellingen (waaronder de Academische Ziekenhuizen) waar radiotherapie wordt toegepast.

Er zijn verschillende vormen van radiotherapie:

- uitwendige bestraling;
- inwendige met open bronnen: hierbij wordt een radio-actieve stof in het lichaam van de patiënt gebracht;
- inwendige bestraling met gesloten bronnen: hierbij wordt een radio-actieve stof in afgesloten vorm in het lichaam van de patiënt gebracht.

Bij radiotherapie zijn de hoeveelheden straling vele malen groter dan bij de nucleaire diagnostiek. Daarom is een veel grotere zorgvuldigheid geboden.

Alle radiotherapie wordt dan ook op aparte afdelingen uitgevoerd en er wordt slechts gewerkt met speciaal geschoolde laboranten en verpleegkundigen. Daarbij worden zeer stringente regels gehanteerd.

Bij een goede organisatie en korrekte naleving van de regels blijven de risico's daardoor zeer beperkt.

Een punt van aandacht bij de radiotherapie is de omgeving. Ruimten naast, boven of onder een ruimte waar radiotherapie wordt toegepast zijn niet altijd geschikt voor permanent gebruik. Dit hangt onder meer af van de soort en omvang van de tussenliggende muren en vloeren en van de opgestelde apparatuur. De omgevende ruimten worden dan ook gekeurd door de arbeidsinspectie.

#### 8. Radiotherapie - uitwendige bestraling

Bij uitwendige bestraling (ook wel tele-therapie genoemd) gebruikt men meestal röntgen- of gammastraling. Deze straling

kan worden opgewekt met behulp van versnellers. Hierin wordt met behulp van snelle deeltjes (zgn. elektronen) de energierijke straling opgewekt. Soms worden de deeltjes ook zelf voor de therapie gebruikt. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van straling uit cobalt-bronnen. Deze laatste bestaan uit een zwaar loden vat met pellets die het isotoop cobalt-60 bevatten.

Steeds behoort de oncologisch specialist een geschikte dosis en stralingssoort voor de behandeling te kiezen. Zo'n dosis, die gevonden wordt door het medisch nut tegen de bijkomende ongewenste stralingsschade af te wegen, kan op het behandelde orgaan erg hoog uitvallen; de bedoeling is immers om het kwaadaardige weefsel te vernielen. Door toepassing van smalle, gerichte bundels en het draaien van de apparatuur om de patiënt worden de overige organen en de huid zoveel mogelijk gespaard.

Een behandeling wordt verdeeld over een aantal zittingen, bijvoorbeeld 5 weken lang 4 bestralingen per week. Tijdens bestraling mag niemand bij de patiënt blijven, tenzij deze wordt uitgevoerd met minder harde straling (minder energie dan 60 keV). Dan moeten zij zich wel met een loodschort -en eventueel met loodrubber handschoenen- beschermen tegen strooi-straling. Overigens verdient het aanbeveling om ook bij toepassing van deze relatief zachte straling -die o.a. door huidartsen wel wordt toegepast- zo weinig mogelijk aanwezig te zijn.

Voor alle duidelijkheid: bij een uitwendige behandeling met straling straalt de patiënt niet na. Na afloop van de bestraling is er dus geen enkel gevaar voor het verplegend personeel.

#### 9. Radiotherapie - inwendige bestraling met open bronnen

Bij deze vorm van radiotherapie wordt een radio-actieve stof in het lichaam van de patiënt gebracht. Een voorbeeld van zo'n therapie is de behandeling van schildklierkanker met jodium-131.

De patiënt krijgt het jodium in vloeibare vorm -een slok-toegediend. De aktiviteit van het jodium kan dan wel zo'n 100 mCi (millicurie) belopen. Dit is vaak meer dan 1000 maal zoveel als bij nukleaire diagnostiek. Na toediening moet de patiënt nog twee à drie dagen op een speciale kamer blijven, terwijl de toegestane bezoeksduur afhankelijk is van de hoeveelheid jodium die nog in het lichaam aanwezig is.

Het verplegend personeel kan straling oplopen doordat de patiënt zelf een bron van straling is geworden, of doordat radio-aktief jodium in hun lichaam terecht komt (inwendige besmetting). Vandaar dat er om zulke risico's te vermijden diverse praktische regels moeten worden opgesteld, zoals:

- de betrokken verpleegkundigen dragen verplicht badges die om de veertien dagen vervangen worden;
- personen onder de 18 jaar, vrouwen die zwanger zijn of borstvoeding geven mogen niet met radio-aktieve stoffen omgaan of ermee in aanraking komen.

Bij deze vorm van radiotherapie blijven de patiënten na de behandeling wel kortere of langere tijd radio-aktief. Speciaal aandacht is nodig indien patiënten tijdens de behandeling overlijden: de uitscheidingsprocessen stoppen dan waardoor de vermindering van de radio-aktiviteit in het lichaam trager gaat. Bij het afleggen moet hiermee rekening worden gehouden.

#### 10. Radiotherapie - inwendige bestraling met gesloten bronnen

Het gebruik van gesloten bronnen heeft als kenmerk dat besmetting met radio-aktieve stof is uitgesloten en de patiënt niet nastraalt. Een voorbeeld hiervan is de behandeling van baarmoederhalskanker met cesium-137.

In dit geval zit het radio-aktieve materiaal afgesloten in een houder die enkele dagen in de patiënte blijft. Een ander voorbeeld is de behandeling van borstkanker door implantatie van naalden die de radio-aktieve stof iridium-192 bevatten.

Omdat het om sterke bronnen gaat, moeten weer regels worden getroffen voor de verpleging.

Zo wordt er een grens gesteld aan de tijd die een verpleegkun-

dige per dag doorbrengt dichtbij de patiënt. Zwangere vrouwen mogen niet bij de verzorging betrokken zijn.

Een moderne, veiliger variant maakt gebruik van "remote controlled after-loading" waarbij de radio-actieve bron bij het binnenkomen van het personeel tijdelijk (automatisch) uit het lichaam wordt verwijderd.

#### 11. Opslag radio-actief materiaal

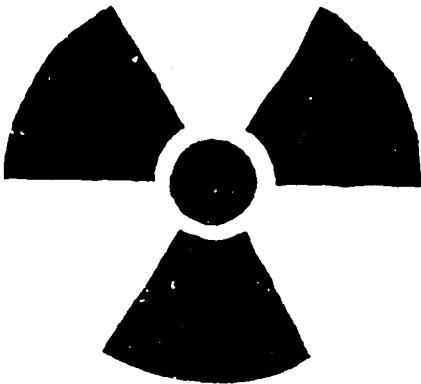
Radio-actieve stoffen die nog gebruikt gaan worden of al gebruikt zijn (radio-actief afval) worden in aparte ruimten opgeslagen. Deze behoren duidelijk aangegeven te zijn (zie figuur).

Een deel van het radio-actieve afval, met een niet te lange halveringstijd, wordt bewaard tot het nauwelijks actief meer is en dan afgevoerd via het riool of door de vuilnisman.

Het afval met een lange halveringstijd wordt in vaten opgeslagen en afgehaald door de COVRA B.V. (Centrale Organisatie voor Radioactief Afval) in Petten, waar het verder wordt bewaard.

Uiteraard moet je niet in de opslagplaatsen van het radio-actieve materiaal komen.

Deze ruimten zijn goed afgeschermd, onder andere door de muren. Hierdoor is het stralingsniveau buiten deze ruimtes zeer laag.



Dit teken wordt gebruikt om ruimten aan te geven waar radio-actief materiaal wordt gebruikt of opgeslagen. Ook vaten en apparatuur die radio-actief materiaal bevatten worden zo aangeduid.



## DIVERSEN

Naast radio-actieve stoffen en ioniserende straling worden de laatste jaren ook andere soorten "straling" toegepast, soms als vervanging van een oudere methode, soms bij een nieuwe aanvullende behandelings- of onderzoekstechniek,

### 11. Echografie

Bij echografie wordt gebruik gemaakt van geluid waarvan de toon zo hoog is dat het niet hoorbaar is.

Toepassing gebeurt vooral in de gynaecologie, bijvoorbeeld om de leeftijd van een foetus te bepalen. Voorzover bekend zijn er geen risico's aan verbonden; er wordt echter nog onderzoek naar gedaan. Daarom adviseren sommige deskundigen om echografie alleen te gebruiken als het echt nodig is, dus niet routinematig en ook niet "voor het familie-album".

Voor de omstanders bij een echo-opname zijn risico's zeer waarschijnlijk afwezig.

### 12. N M R

De kernspin-resonantie ofwel Nukleaire Magnetische Resonantie (NMR) is een techniek, die nog in ontwikkeling is. Hierbij wordt gebruik gemaakt van sterke magnetische velden, waarop bepaalde deeltjes in het lichaam kunnen reageren. Daarmee worden deze deeltjes of stoffen "zichtbaar" en kunnen ze informatie geven over de gebeurtenissen in een orgaan. Ook hier is het niet duidelijk of er risico's voor de patiënt aan zijn verbonden. Vanwege de onbekendheid wordt toepassing van NMR nu nog afgeraden voor heel jonge kinderen, epileptici en mensen met een pace-maker.

Waarschijnlijk is NMR een veilige -maar nog wel erg dure- vervanger in een aantal onderzoeken waarbij nu computertomografie of scintigrafie wordt gebruikt.

### 13. Microgolfstraling

Microgolven zijn te vergelijken met radiogolven, zoals die opgevangen worden door de antenne van een radiotoestel.

Za worden toegepast in radar en in magnetron-ovens.

Het is een geschikte methode om dieper gelagen delen van het lichaam te verwarmen. Medische toepassingen zijn diathermie (in de fysiotherapie) en hyperthermie (voor tumorbestrijding in combinatie met bestraling). Bij verhitting boven 42°C treden biologische effecten op waarvan gezond weefsel zich nog wel kan herstellen, maar blijvende schade treedt pas bij nog hogere temperaturen op en ook als grotere delen van het lichaam worden verwarmd.

Andere schade dan die optreedt door het verwarmen van lichaamsweefsel is niet duidelijk aangetoond; wel wordt er nog onderzoek naar gedaan.

Een afscherming is gemakkelijk te realiseren: een kooi van metaalgaas (een zgn. kooi van Faraday) houdt de golven afdoende tegen.

#### 14. Ultraviolette straling

Ultraviolette straling is een soort licht dat we niet kunnen zien. Het lijkt nog het meest op violet (paars) licht. Het zit ook in zonlicht en zorgt er voor dat we bruin (of rood!) worden.

Ultra-violette straling (UV) wordt in toenemende mate in ziekenhuizen gebruikt bij de behandeling van huidziekten. UV-licht wordt ingedeeld in drie soorten: UV-A, UV-B, UV-C.

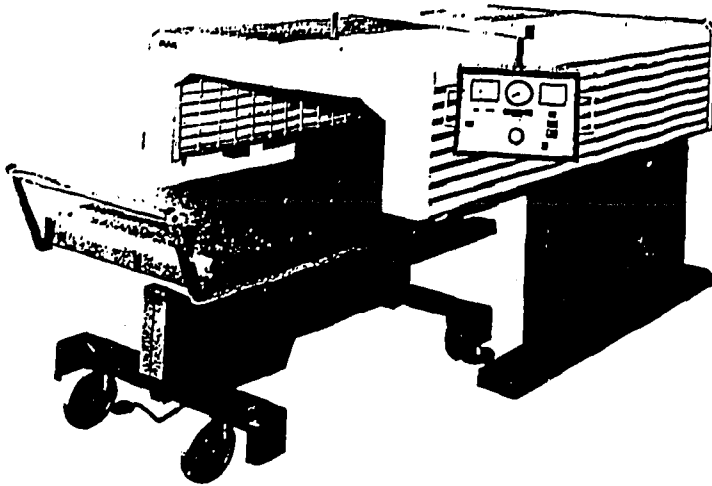
Deze indeling kan worden vergeleken met de verschillende kleuren van zichtbaar licht. Vooral de PUVA-therapie (zie figuur), die gebruik maakt van UV-A is sterk in zwang.

Bij gewone lichttherapie wordt gebruik gemaakt van UV-B.

Vanouds zijn er nog enkele andere toepassingen van ultraviolette straling in ziekenhuizen. Sterilisatielampen in operatiekamers werken vooral met het UV-C en in de fysiotherapie wordt gewerkt met hoogtezonnen en solaría, die weer vooral gebaseerd zijn op effecten van UV-B. :

Alle genoemde soorten ultraviolette straling kunnen schade aan de ogen veroorzaken. De ogen zijn eenvoudig te beschermen met een speciale bril.

UV-B en UV-C kunnen ook de huid beïnvloeden, op ongeveer



Een afbeelding van een apparaat waarmee PUVA-therapie kan worden toegepast. Het wordt gebruikt bij huidziekten, zoals psoriasis. De therapie bestaat uit het toedienen van Psoralen gecombineerd met het bestralen met UV-A (vandaar de naam PUVA).

dezelfde manier als zonlicht ("zonnebrand"). UV-A geeft, zij het in mindere mate, vergelijkbare effecten.

Alle UV kan -evenals zonlicht- ook huidkanker veroorzaken die bij niet-tijdige behandeling kwaadaardig kan worden. Onnodige blootstelling dient dus te worden vermeden.

In het voorgaande hebben we behandeld wat straling is, wat de gevolgen van blootstelling aan straling kunnen zijn en hoe straling wordt toegepast in het ziekenhuis. In het nu volgende zullen we proberen aan te geven wat je kunt doen om de stralingshygiëne op je werkplek te verbeteren. Wat kun je doen om (overmatige of overbodige) blootstelling aan straling te verminderen?

#### 1. Wat zijn je rechten?

Op grond van de Kernenergiewet en de Arbeidsomstandighedenwet (kortweg ARBO-wet genoemd) heb je een aantal rechten:

- Risiko's moeten zo veel mogelijk worden vermeden. Als dat niet mogelijk is, moeten die risico's in ieder geval zo veel mogelijk worden beperkt.
- Over het verrichten van werk waaraan risico's zijn verbonden moet voldoende informatie worden gegeven.

Het laatste betekent bijvoorbeeld dat er niet alleen -als dat nodig is- beschermende kleding moet worden verstrekt, maar dat ook moet worden verteld hoe je met die kleding omgaat. Ook verdient het aanbeveling dat in de opleiding van verpleegkundigen ruime aandacht wordt besteed aan de omgang met straling.

Het eerste punt is wat moeilijker. Want wat is "zo veel mogelijk"? In de praktijk blijkt echter dat er vaak met vrij eenvoudige middelen iets tegen overmatige stralingsbelasting is te doen. De voorbeelden in deel II geven dit aan.

Laat je in elk geval niet afschepen met de bewering "dat het veilig is omdat de straling onder de norm zit".

Dit is in zijn algemeenheid niet juist en daarom is in de wet ook meer geregeld dan dat de stralingsbelasting onder de norm moet blijven: zij moet zo laag zijn als redelijkerwijs mogelijk is.

In geval van zwangerschap is het verstandig bepaalde werkzaamheden, vooral in het begin van de zwangerschap, niet te doen. Wettelijk is hierover weinig vastgelegd.

### Vakbonden

Bij alle vakbonden zijn afdelingen die zich bezighouden met arbeidsomstandigheden.

Bij de volgende adressen kun je hiervoor terecht.

ABVA/KASO

Bredewater 16  
2713 CA Zoetermeer  
tel. 079-511211

Het Betereschap  
Koningslaan 6  
3583 GS Utrecht  
tel. 030-512321

CFO, dhr. Van den Akker  
Zeekant 35  
2586 AA Den Haag  
tel. 070-514051

### Wetenschapswinkels

Aan verschillende universiteiten in Nederland zijn Wetenschapswinkels gevestigd. Dit zijn instellingen die gratis adviezen geven aan of onderzoek doen voor groepen die daar zelf geen geld voor hebben.

Bij de volgende Wetenschapswinkels kun je terecht met vragen over straling.

- NATUURKUNDEWINKEL UTRECHT.

Laboratorium voor Experimentele Fysica,  
Postbus 80.000, 3508 TA Utrecht,  
tel. 030-534016.

- FYSIKAWINKEL EINDHOVEN,

Gebouw N-LAAG, Kamer NA 02.26  
Postbus 513,  
5600 MB Eindhoven,  
tel. 040-473370/474141.

- Wetenschapswinkel Universiteit van Amsterdam,

Herengracht 530,  
Amsterdam,  
tel. 020-5254777.

- Interfakultaire Vakgroep Energie- en Milieukunde (IVEM)

Wouter Biesiot,  
Postbus 72, 9700 AB Groningen,  
Bezoekadres: Oude Kijk in 't Jatstraat 24-I,  
tel. 050-117736/117695.

Normaal gesproken moet het -bij een goede werksituatie- mogelijk zijn om een en ander in overleg met kollega's en afdelingsstaf te regelen.

## 2. Overleg

Indien een bepaalde situatie op je afdeling niet in orde is of je hebt twijfels aan de stralingsbescherming, dan ligt het voor de hand om eerst te overleggen met je kollega's en met het hoofd van de afdeling.

Indien je niet zeker bent van je zaak kun je je laten adviseren door zgn. wetenschapswinkels (zie adressenlijst), de arbeidsinspectie of door specialisten van de vakbond.

Binnen het ziekenhuis kun je de zaak aan de orde stellen bij de beheerders van de stralings-apparatuur (de radiologen of de nucleaire specialisten) of bij de veiligheidsdienst. Vraag of ze je (uitgebreid) voorlichten over hun kijk op de situatie. In het ziekenhuis is het vaak niet gebruikelijk dat verpleegkundigen zich met het beleid van specialisten bemoeien. Je moet dan ook voorbereid zijn op minder prettige reacties. Laat je daardoor niet afschrikken, maar probeer zelf ook redelijk te blijven en probeer in elk geval een goed inzicht in de situatie te krijgen.

Mocht het direkte overleg niet tot resultaten leiden dan kun je in de Ondernemingsraad de zaak aan de orde laten stellen. Ook kun je de vakbond inschakelen.

Overigens heb je op grond van de Kernenergie-wet formeel geen inspraak. Bij elke instelling is een "deskundige" aangewezen die de eindverantwoordelijkheid heeft voor de stralingsveiligheid. Met de komst van de nieuwe ARBO-wet worden de inspraakmogelijkheden, bijv. via de Ondernemingsraad, beter geregeld.

## 3. De Arbeidsinspectie

De Arbeidsinspectie is de instantie die door de overheid is ingesteld om toe te zien op het naleven van de regels voor de arbeidsomstandigheden (de Kernenergie-wet en de ARBO-wet).

Daarnaast heeft de Arbeidsinspectie als taak om:

- werkgever en werknemers aan te zetten tot overleg over te

treffen veiligheidsvoorzieningen;

- als dat overleg geen resultaat oplevert, bepaalde voorzieningen dwingend voor te schrijven;
- te beoordelen of wensen die in het overleg niet realiseerbaar blijken, gerechtvaardigd zijn.

Het kan nodig zijn de Arbeidsinspektie in te schakelen als je binnen het ziekenhuis niet tot een oplossing komt. Dit kun je bijvoorbeeld via de Ondernemingsraad proberen te regelen. De Arbeidsinspektie grijpt niet snel dwingend in; sinds kort heeft ze echter meer bevoegdheden.



Bijlage: EENHEDEN IN STRALINGSLAND

Zoals al eerder vermeld wordt de opgelopen dosis straling uitgedrukt in millirem (mrem). Dit is eigenlijk een ouderwetse eenheid. Tegenwoordig wordt de millisievert (mSv) gebruikt. Er geldt: 1 millisievert = 100 millirem.

De schadelijkheid van de verschillende stralingssoorten (alfa, bèta, gamma, röntgen) zit al in deze eenheid verwerkt; daarom noemen natuurkundigen het een eenheid van dosis-ekivalent, en niet van dosis.

Soms wordt de opgelopen dosis weergegeven in millirad (mrad) of milligray (mGy). Dit geeft slechts de afgegeven energie weer en houdt geen rekening met de biologische schade. Voor röntgen- en gammastraling geldt:

$$1 \text{ millirem} = 1 \text{ millirad}$$

$$1 \text{ millisievert} = 1 \text{ milligray}$$

Voor alfa- en bètastraling gelden deze eenvoudige regels niet. Een andere eenheid die je nogal eens tegen zult komen is de curie (Ci). Deze geeft de activiteit van een radio-actief materiaal weer (de hoeveelheid stralingsdeeltjes die per seconde worden uitgezonden). De moderne eenheid is de becquerel (Bq). Er geldt:

$$1 \text{ curie} = 37 \text{ miljard becquerel}$$

Overigens is 1 rem gelijk aan 1000 millirem, net zoals 1 meter hetzelfde is als 1000 millimeter. Voor andere voorvoegsels, zie de tabel hieronder.

Veel gebruikte voorvoegsels waarmee hele grote of hele kleine hoeveelheden worden aangeduid.			
Voorvoegsel	afkorting	betekenis	voorbeeld
micro-	$\mu$	miljoenste	$1 \text{ Sv} = \frac{1}{1.000.000} \text{ Sv}$
milli-	m	duizendste	$1 \text{ mrem} = \frac{1}{1.000} \text{ rem}$
kilo-	k	duizend	$1 \text{ kBq} = 1.000 \text{ Bq}$
mega-	M	miljoen	$1 \text{ MBq} = 1.000.000 \text{ Bq}$
giga-	G	miljard	$1 \text{ Ci} = 37 \text{ miljard Bq}$ $= 37 \text{ GBq}$