

STRALINGSHYGIËNE VOOR DUMMY'S

Deel 2

STRALINGSHYGIËNE

BIJ HET OMGAAN MET

KERNMATERIEEL

*[IONISERENDE STRALING EN HET WERKEN
MET TRITIUM (LICHT)BRONNEN]*



Willem van Gaalen

Bevat informatie op het gebied van Stralingshygiëne
voor een deskundigheid op niveau 6 van de KeW.

SAMENVATTING

Doelgroep

De instructie "Stralingshygiëne Kernmaterieel" is bedoeld als zelfstudie voor leerlingen en studenten met belangstelling voor de Stralingshygiëne. Ook voor hen die met enige vorm van straling uitzendend materieel of toestellen in aanraking kunnen komen. Zoals bij werkzaamheden op het gebied van veiligheid, onderhoud en of het verzamelen van materieel dat radioactieve stoffen bevat.

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 of een "historische" verzameling.

Opzet

De leerstof is gebaseerd op de door mij ontwikkelde Defensie-instructie 99-9387 van 23 mei 2003. Om een bredere doelgroep te kunnen bedienen is alle bedrijfsgevoelige informatie hieruit verwijderd. Er wordt aandacht besteed aan de verschillende stralingssoorten, de natuurlijke- of achtergrondstraling, voorkomende componenten met radioactieve stoffen, lichtbronnen waarin tritium is toegepast, algemene veiligheidsmaatregelen voor de ioniserende straling en relevante voorschriften.

Doel

Het doel van deze instructie is om veilig te leren omgegaan met het materieel dat radioactieve stoffen bevat. Met deze basisuitleg over de theorie, regels en praktijksituaties wordt beoogd inzicht te verschaffen over de wijze waarop de lezer veilig kan omgaan met de hieraan verbonden risico's bij het omgaan met materieel waarin radioactieve stoffen zijn toegepast, het zogenaamde kernmaterieel. De lezing is ook als een powerpoint presentatie en op overheadsheets beschikbaar.

Willem van Gaalen, zomer 2013.

Nota Bene:

Dit uitreikstuk 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_SH Kernmaterieel-99-9387.docx

0-0-0

2

INHOUD		
HOOFDSTUK		Bladzijde
SAMENVATTING		2
INHOUDSOPGAVE		3
1.	INLEIDING TOT DE STRALINGSHYGIËNE	4
2.	IONISERENDE STRALING	7
3.	EFFECTEN	12
4.	NATUURLIJKE of ACHTERGRONDSTRALING	14
5.	STRALINGSBRONNEN IN DE PRAKTIJK	17
6.	STRALINGSHYGIËNE	22
7.	RADIOACTIEF AFVAL	25
8.	VEILIG WERKEN	26
9.	WETTELIJKE BEPALINGEN en VOORSCHRIFTEN	28

0-0-0

Figuren

1. Het spectrum van elektromagnetische straling.
2. Blootstelling aan stralingsenergie.
3. Model van een atoomkern.
4. Fotonenenergie.
5. Drie isotopen van waterstof.
6. Soorten ioniserende straling.
7. Halveringstijden
8. Opwekking van röntgenstraling.
9. Relatie tijdstip van bestraling en optredende effecten.
10. Niveau Straling achtergrond NL
11. Niveau Straling achtergrond wereld
12. Waarschuwingsteken ioniserende straling.
13. Lichtgevende verf, nucliden en stralingssoorten
14. Oude radiumverf.
15. Toepassingen van Tritium lichtbronnen
16. De TLD-Badge
17. Effect van afscherming
18. Radioactief afval vat
19. Radioactief afval vat, dummy.

0-0-0

Bijlagen

- | | | |
|----|---|----|
| A. | Gebruikte Grootheden en begrippen bij ioniserende straling. | 31 |
| B. | Voorbeeld Veiligheidsinstructie. | 32 |
| C. | Handhavingcriterium over opslag. tritium | 33 |
| D. | Inhoud KEW-dossier. | 34 |

0-0-0

1. INLEIDING TOT DE STRALINGSHYGIËNE

Inleiding. Veel van de apparatuur wordt ook in het donker gebruikt, zodat de verlichting van schalen en wijzers noodzakelijk is. Dit geschiedt vaak door middel van moderne elektronische componenten zoals elektrische gloeilampjes, en Light Emitting Diodes (LED's).

Uit oogpunt van bedrijfszekerheid en gemak (dus géén batterijen), wordt ook gebruik gemaakt van radioactieve lichtbronnen. Deze bronnen, ook wel "bèta-lights" genoemd, bevatten de radioactieve stof tritium. Tritium wordt naast andere radioactieve stoffen ook gebruikt om voorionisatie te verkrijgen in elektronenbuizen. Dit kunnen zend-ontvangtschakelaars (TR- en AR- tubes) zijn in radarzenders, maar ook overspanningbeveiligingen van onder andere telefooncentrales.

Om iets van de gevaren en risico's verbonden aan het gebruik van kernmaterieel en tritium (licht)-bronnen te kunnen begrijpen, wordt eerst het begrip "radioactiviteit" verklaard. Hiertoe wordt uitgelegd hoe een atoom is opgebouwd en met welke soorten straling er zijn. Verder geeft de lesstof - in algemene zin - informatie over de eigenschappen van bronnen, toepassingen, mogelijke gevaren voor mens en milieu, de veiligheidsmaatregelen, de wijze waarop de controle hierop is geregeld en de verantwoordelijkheden van een deskundige. De uitleg begint met het wettelijk kader voor de stralingshygiëne, en een definitie van elektromagnetische straling.

Wettelijk kader voor ioniserende straling. De wet, die ten grondslag ligt aan de wettelijke bepalingen voor ioniserende stralen, is de Kernenergiewet van 21 februari 1963, gepubliceerd in Stb 82 van 1963. De voornaamste algemene maatregelen van bestuur, gepubliceerd in de vorm van uitvoeringsbesluiten, welke verderop behandeld worden, zijn:

- Definitiebesluit Kernenergiewet (Stb 358, 1969),
- Besluit stralingsbescherming Kernenergiewet (Stb 465, 1985),
- Vrijstellingsbesluit landsverdediging Kernenergiewet (Stb 476, 1969)

Met het Staatsblad 514 van 1969 wordt uiteindelijk de Kernenergiewet met zo'n 20 algemene maatregelen van bestuur van kracht verklaard met als ingangsdatum 1 januari 1970. **E.e.a. is gewijzigd conform het Besluit van 23 oktober 2017, houdende vaststelling van regels ter bescherming van personen tegen de gevaren van blootstelling aan ioniserende straling (Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming).**

I.C.R.P.-normen. De opgesomde wetten en uitvoeringsbesluiten zijn gebaseerd op de internationaal geaccepteerde normen, die worden vastgesteld en geëvalueerd door het Internationaal Committee on Radiological Protection (ICRP). De normen zijn gebaseerd op: rechtvaardiging, het ALARA-principe of Optimalisatie en op Dosislimieten.

Vergunningen. Beperking van de gevaren voor de volksgezondheid, bij toepassing van ioniserende straling, wordt bereikt via een vergunningstelsel. Een vergunning is vereist voor vrijwel alle handelingen met kernmaterieel en toestellen of - bij sommige radioactieve stoffen - slechts alleen voor het vervoer en het lozen van die stoffen. 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 vergunningen wordt verleend aan de Directeur van de inrichting/organisatie en moet worden aangevraagd voor aanvang van werkzaamheden en/of het voorhanden hebben van kernmaterieel bij :

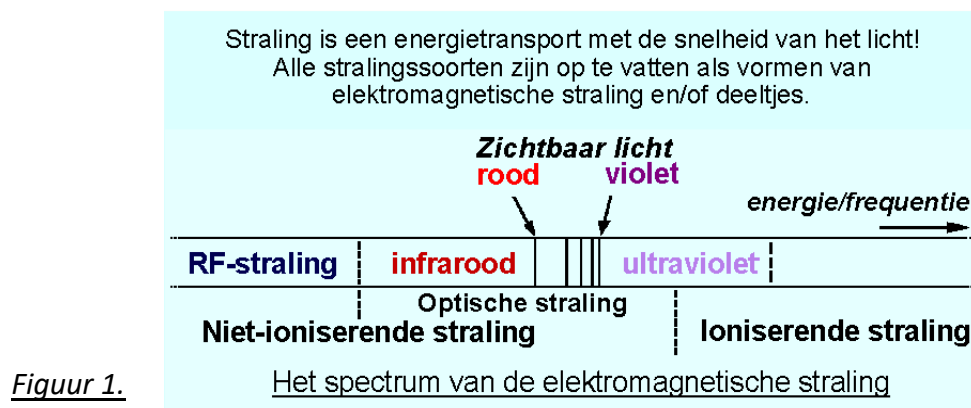
Agentschap NL, Stralingsbescherming, van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en wordt in de Staatscourant gepubliceerd zie ook:

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

De Kernenergiewet verbiedt het voorhanden hebben van radioactieve stoffen zonder vergunning. Iedereen die radioactieve stoffen aantreft of denkt over radioactief materieel te beschikken terwijl hiervoor geen vergunning is verleend, dient dit zo spoedig mogelijk te melden. De Inspectie Milieuhygiëne Zuid-West van het Ministerie VROM/RIMH (tel. 010-2244444) is aangewezen als verantwoordelijke dienst voor de afhandeling van deze meldingen en van stralingsongevallen.

Het Definitiebesluit Kernenergiewet vermeldt de definities van de eenheid van ionisatie in lucht, geabsorbeerde dosis (Gy) en dosisequivalent (Sv), welke onder punt 4 verder worden behandeld. In punt 8 worden de uit de wettelijke bepalingen voortvloeiende verplichtingen verder besproken.

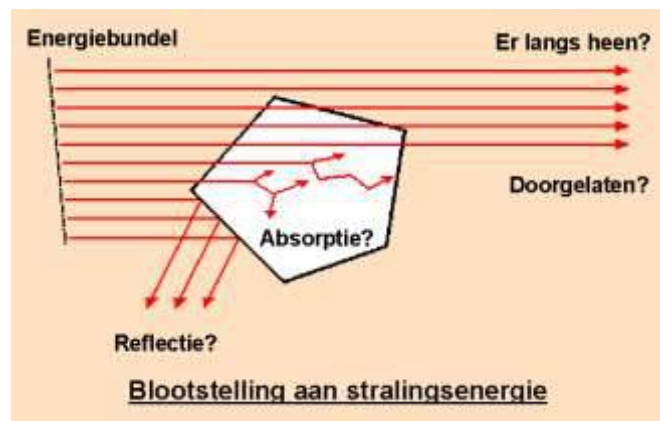
Elektromagnetische straling. Bijna alle stralingsvormen manifesteren zich als elektromagnetische straling (EM-straling), zie figuur 1. Deze ontstaat door een samenspel van elektrische en magnetische velden en is in feite een energietransport met de snelheid van het licht (circa 300.000 km/s). Een vorm van EM-straling waar een ieder mee te maken heeft, is het zichtbare licht. 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 in de steek! In dit uitreikstuk wordt alleen het gebied van de *ioniserende straling* behandeld

Absorptie van EM-straling. Men kan stellen dat bij EM-straling het gevaar hoofdzakelijk zit de in geabsorbeerde hoeveelheid van de opvallende energie. In figuur 2 is de theoretisch mogelijke verdeling weergegeven. Het is 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.



Figuur 2

Voorbeelden van absorptie van energie;

in positieve zin:

- de absorptie van warmte (behaaglijkheid)
- de absorptie van ultraviolet (vitaminevorming)
- het zien

in negatieve zin:

- verbrandingen
- lasogen, (zonnebrand)
- verblinding

Uit deze voorbeelden mag blijken dat de mens al lange tijd een nuttig gebruik maakt van de verschillende stralingssoorten. Absorptie van EM-straling is dus - afgezien van de naamgeving - niets nieuws!

0-0-0

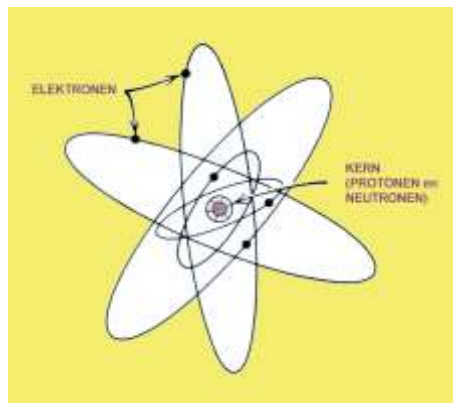
2. IONISERENDE STRALING

Het atoom. In de natuur komen circa 90 elementaire stoffen voor die, in vele combinaties, de circa 4.000.000 uit de chemie bekende verbindingen vormen. Deze elementaire stoffen worden kortweg aangeduid met de naam "elementen".

Het kleinste deeltje, dat nog alle eigenschappen van een element bezit, wordt atoom genoemd. Een atoom is te klein om waar te nemen. Om toch een voorstelling te kunnen maken hoe een atoom is opgebouwd, wordt het model van een zonnestelsel gebruikt; dit wil zeggen, een centrale ster (de kern) omringd door planeten (de elektronen), zie figuur 3.

De kern is opgebouwd uit twee soorten deeltjes:

- **protonen**, voor te stellen als deeltjes met een positieve elektrische lading.
- **neutronen**, voor te stellen als deeltjes zonder lading met een ongeveer gelijke massa als de protonen.

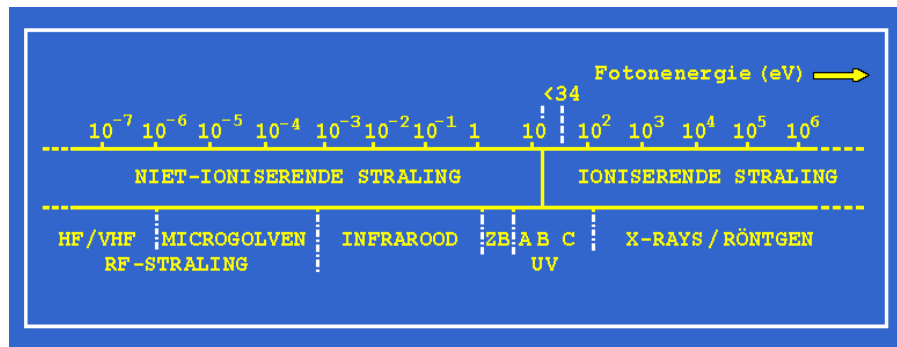


Figuur 3. Model van een atoomkern

De om de kern heen cirkelende elektronen hebben een te verwaarlozen massa en zijn in aantal gelijk aan de aanwezige protonen, maar hebben een negatieve lading. Hierdoor is het atoom elektrisch neutraal. Het aantal protonen in de kern bepaalt bovendien met welk element men te maken heeft.

Ionisatie. Ioniserende straling wordt zo genoemd, omdat deze straling in staat is atomen te ioniseren (van een lading te voorzien). Indien door ioniserende straling één of meer elektronen uit de elektronenwolk worden gestoten, behoren zij niet meer tot het atoom. De som van de positieve en negatieve lading is nu ongelijk aan nul. We zeggen dan: het atoom is een ion geworden - is geïoniseerd en zal zich chemisch anders gedragen!.

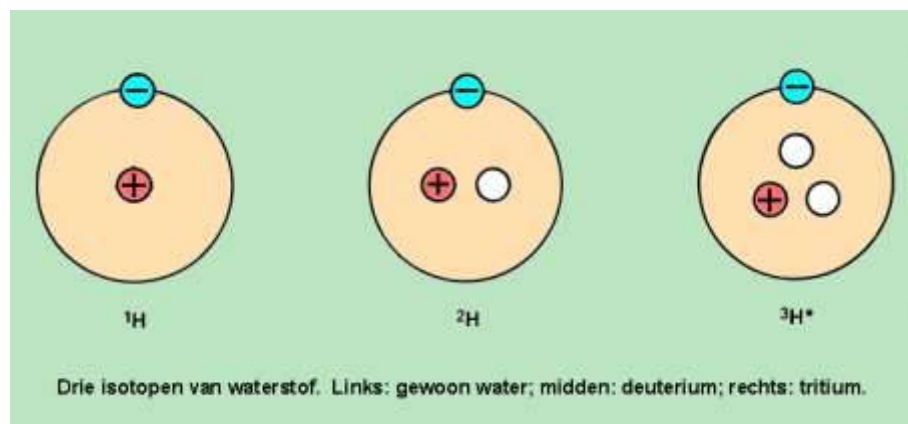
In het algemeen wordt straling met een fotonenenergie groter dan circa 34 elektronvolt (eV) gerekend tot de ioniserende straling (zie figuur 4).



Figuur 4. De grens tussen ioniserende en niet-ioniserende straling.

Isotopen. De atomen van één element hebben niet altijd dezelfde kernopbouw. Het aantal neutronen van één element kan, binnen nauwe grenzen, nog verschillen. Chemisch zijn de gedragingen hetzelfde, hoewel de massa's van de atomen verschillen.

Elementen met een zelfde aantal atomen maar met verschillend aantal neutronen worden isotopen genoemd. Zo zijn er van waterstof drie isotopen bekend.



Figuur 5. Isotopen van waterstof.

De kern van een waterstofatoom kan dus zijn opgebouwd uit:

- één proton, het zogenaamde "gewone" waterstof,
- één proton en één neutron, het deuterium of zwaar water,
- één proton en twee neutronen, het tritium.

Deze derde waterstof isotoop is, in tegenstelling tot de twee andere isotopen, niet stabiel en wordt daarom radioactief genoemd.

Standaard schrijfwijze. Met een standaard schrijfwijze wordt de samenstelling van een atoomkern aangegeven. Hierbij geldt dat:

- het aantal protonen in de kern gelijk is aan het rang- of **atoomnummer Z** van het element,
- het aantal elektronen is gelijk aan het aantal protonen,
- het aantal neutronen in de kern wordt aangegeven met **N**,
- het gewicht van het atoom afhangt van de som van het aantal protonen **Z** en neutronen **N** en wordt aangegeven met het massagetal **A**.

	A		3
Voor element X geldt:	X	en voor tritium:	H
	Z		1

Let op: Het aantal neutronen wordt NIET geschreven!

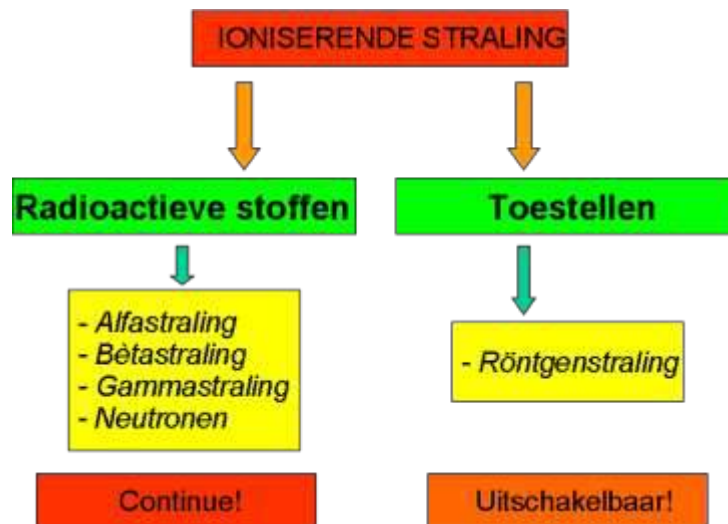
In de schrijftaal wordt de notatie X-A veel gebruikt. Tritium wordt zodoende als H-3 geschreven.

Stralingssoorten. Wanneer instabiele atomen vervallen wordt de overtollige energie in de vorm van straling uitgezonden. Deze straling wordt ioniserende straling genoemd en kan bestaan uit alfa-, bèta- en gammastraling of combinaties daarvan. Welke soort straling wordt uitgezonden is afhankelijk van het niet-stabiele element. Bij ioniserende straling onderscheiden we de volgende stralingssoorten:

- EM-straling van zéér hoge frequenties die, al naar de wijze van ontstaan, *röntgen- of gammastraling* wordt genoemd. Röntgenstraling kan ook kunstmatig met behulp van toestellen worden opgewekt.
- Elektrisch geladen deeltjes, zoals *alfa-(heliumkernen) en bèta-(elektronen) straling*.
- Elektrisch ongeladen deeltjes, de zogenaamde *neutronen*, die verder niet worden behandeld.

Alfa-, bèta- en gammastraling ontstaat in de kernen van atomen en röntgenstraling in de elektronenschillen van de instabiele (radioactieve) stoffen! Zo heeft men bij tritium alleen te maken met bètadeeltjes, die te vergelijken zijn met elektronen.

Alfa-, bèta-, en gammastraling kan NIET worden uitgeschakeld door menselijk handelen, want het is een continu proces. In tegenstelling tot de röntgenstraling, welke (kunstmatig) in toestellen wordt opgewekt en daarom kan worden uitgeschakeld (zie figuur 6).

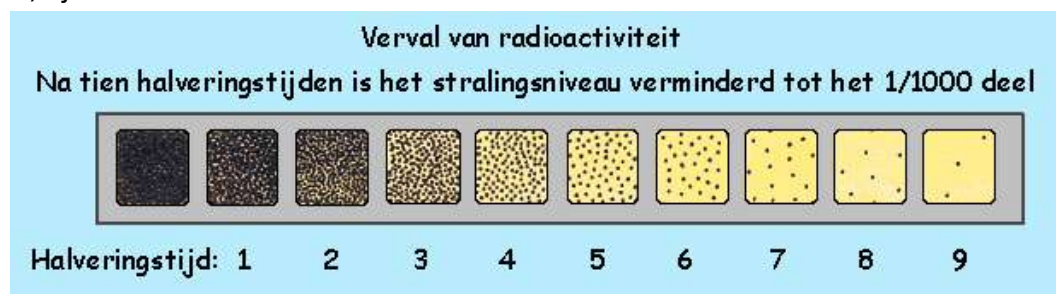


Figuur 6. Soorten Ioniserende straling

Activiteit. Alle niet-stabiele atomen worden op den duur weer stabiel. Dit verschijnsel wordt ook wel *radioactief verval* genoemd. De snelheid waarmee deze uitstoot van overvloedige energie per seconde gepaard gaat is een maat voor de activiteit. Indien van een hoeveelheid radioactieve stof één niet-stabiel atoom per seconde verval, noemt men dit:

1 desintegratie per seconde ==> 1 Bequerel.

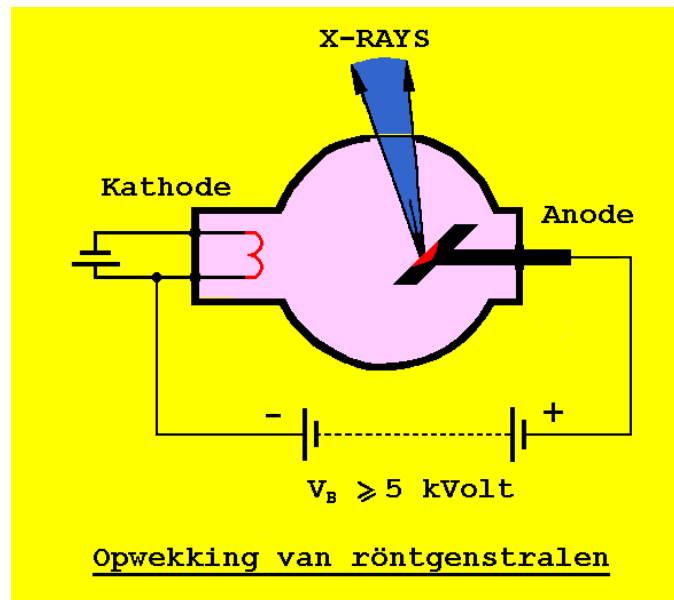
De halveringstijd. Het verval van een niet-stabiele element neemt een bepaalde tijd in beslag. De tijd die nodig is om de helft van een bepaalde hoeveelheid van een element te laten vervallen wordt halveringstijd genoemd (zie figuur 7). De halveringstijd is karakteristiek voor het element. Voor tritium bedraagt deze tijd 12,3 jaar.



Figuur 7. Halveringstijden.

Röntgenstraling kan ontstaan in toestellen waar in vacuüm elektronen worden versneld en door botsing worden afgeremd. Dit gebeurt "gewenst" in onder andere medische röntgentoestellen.

Op alle plaatsen met spanningen hoger dan circa 5000 Volt kan dit effect "ongewenst" optreden (zie [figuur 8](#)). 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.



Figuur 8.

Radiologische eenheden. Bij de radiologische eenheden zijn op het niveau van dit lesboek drie grootheden van belang (zie ook [bijlage A](#)):

- Exposie of blootstelling, dit is de lading waaraan men blootstaat, uitgedrukt in Coulomb/kg, vroeger in röntgen (R);
- De geabsorbeerde hoeveelheid (belasting) is het deel van de lading welke men heeft geabsorbeerd dit wordt uitgedrukt in Gray (Gy) en wordt ook wel dosis genoemd.
- De schade van de geabsorbeerde dosis die men ondervindt, deze wordt uitgedrukt in 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 (μ); => μSv/h en bij grote fracties van kilo (k) of mega (M).

3. EFFECTEN

Biologische effecten van straling. Zeer spoedig na de ontdekking van de röntgenstralen (1895) en van de radioactiviteit in 1896, bleken deze stralen gevaarlijk te zijn.

Effecten waren onder andere verlies van haar, afschilfering 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.

NB: Punt 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*).

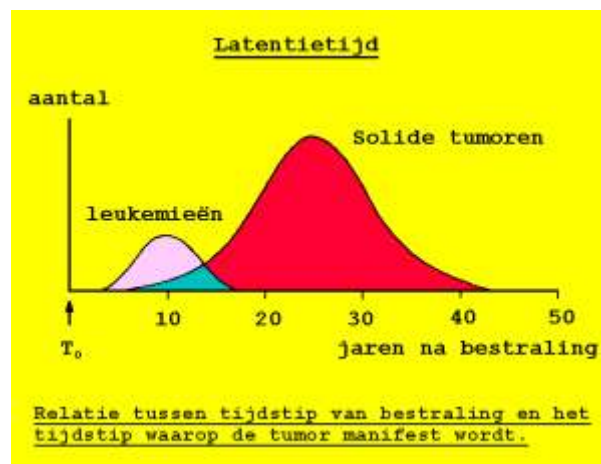
Bij blootstelling aan grote hoeveelheden ioniserende straling in zéér korte tijd (reactorongevallen), kan de dood snel intreden (**directe effecten**). Altijd is dit het gevolg van een bepaalde hoeveelheid overgedragen (geabsorbeerde) energie. De optredende effecten zijn afhankelijk van:

- 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 na lange tijd optreden (**late effecten**, ook wel stochastische of indirecte 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 9 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 leukemieën 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 9.

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** openbaren 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!

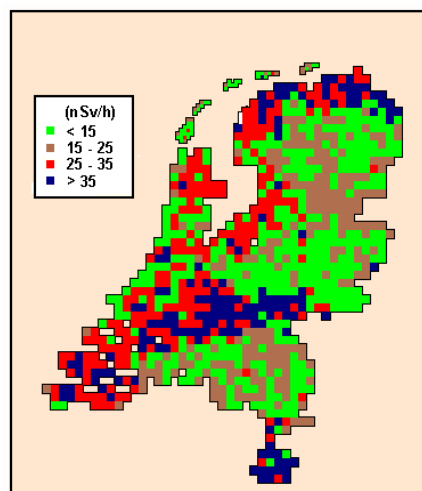
0-0-0

4. NATUURLIJKE OF ACHTERGRONDSTRALING

Inleiding. Tijdens ons leven komen we als persoon met vele dingen in aanraking. Een van deze dingen is stralingsbelasting. Een stralingsbelasting kunnen we bewust of onbewust oplopen. Enerzijds door de natuurlijke straling die altijd om ons heen aanwezig is en anderzijds door het verrichten van handelingen aan stralingsbronnen tijdens ons dagelijks werk. Deze beschouwing licht de gebruikte begrippen toe, zoals het niveau van de achtergrondstraling in en buiten Nederland en uit te voeren werkzaamheden.

Achtergrondstraling. In de natuur komt ioniserende straling voor. We noemen dit de natuurlijke- of achtergrondstraling. We onderscheiden daarbij straling uit de *aardkorst* en straling uit de *kosmos* (kosmische straling). Door onze geboorte kunnen we in een gebied terecht komen waar het niveau van de achtergrondstraling afwijkt van andere gebieden. Soms is dit lager en soms beduidend hoger. Het niveau van de straling verschilt dus van plaats tot plaats en wordt veroorzaakt door:

- De hoeveelheden radioactieve stoffen (Kalium, Radium en Uranium) in de aanwezige grondsoort, zoals zand-, kleigrond en graniet (zie [figuur10](#));
- De kosmische straling; bij toenemende hoogte treedt op onze breedtegraad, van circa 52° NB, een verdubbeling op per 1500 meter hoogteverschil;
- De radioactieve stoffen in de gebruikte bouwmaterialen zoals gips, beton en hout; zo loopt een bewoner in een houten huis 30 tot 40% minder stralingsbelasting op dan in een van bakstenen en/of beton gemaakt huis.



Figuur 10. Stralingsniveaus uit de Nederlandse bodem.

Kosmische straling en effecten. In het bovenste deel van de aardse atmosfeer worden ook radioactieve stoffen (nucliden) gevormd. Door de botsing van kosmische straling, met de aanwezige moleculen van onder andere stikstof, zuurstof en het edelgas argon, ontstaat hierbij tritium, beryllium, koolstof, natrium en chloor.

De halveringstijd van deze radioactieve stoffen varieert van enkele minuten tot vele jaren. Denk aan het Koolstof-14, met een halveringstijd van circa 5730 jaar. Door neerslag, zoals regen, komen de zo gevormde nucliden, in hoeveelheden van 3,5 tot 1850 Bq per liter, uit de atmosfeer in het water en op het land en dus ook in de voedselketen terecht. Deze nucliden geven slechts een geringe bijdrage aan de totale stralingsbelasting in Nederland.

Stralingsbelasting in Nederland. De stralingsbelasting of het 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 (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!):

- | | | |
|----------------------------------|-------------|-----|
| • 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 Tjernobyl | circa 0,05 | mSv |
| • kernenergie (lozing) | < 0,01 | mSv |
| • gebruiksgoederen (KTV, horloge) | circa 0,01 | mSv |
| • diversen (industrie, aardgas) | circa 0,1 | mSv |

Men kan zeggen:

"Een reëel stralingsgevaar, voor UITWENDIG te ontvangen straling, ontstaat pas wanneer de stralingsbelasting of dosis hoger is dan de bestaande verschillen in de natuurlijke of achtergrondstraling".

Hiermee bewust omgaan verminderd dus de belasting. Voor het nemen van een röntgenfoto is altijd een rechtvaardiging nodig. Het is logisch dat in het geval er géén röntgenfoto van u wordt gemaakt, u hiervan géén belasting oploopt!

Achtergrondstraling in het buitenland. Het niveau van de achtergrondstraling in Nederland is laag te noemen t.o.v. de niveaus in het buitenland (zie figuur 11).

Figuur 11.

Jaarlijkse stralingsdosis als gevolg van de natuurlijke of achtergrondstraling op verschillende plaatsen in de wereld ^{*)}				
Plaats	(mSv/jaar)			Aantal mensen in het gebied
	minimaal	maximaal	gemiddeld	
<i>Bergsteden</i> Denver, Bogota,	1,5	3,3	2,25	4.000.000
<i>Frankrijk</i> Centraal Massief	1,8	3,5	2,0	7.000.000
<i>Egypte</i> Monazietgronden	2,0	4,75	2,0	7.000
<i>Brazilië</i> stranden van:				
Guarapari	8,5	170	10	12.000
Rio de Janeiro	5,5	12,5	6,0	50.000
Minas Gerais	17	120	20	600
<i>India</i> Kerala	8	80	15	100.000
<i>Sri-Lanka</i> Granietgebieden	30	70	30	1.000
<i>Nederland</i>	0,7	1,3	1,0	15.000.000

^{*)} G.O. Eichholtz 1977, Environmental Aspects of Nuclear Power.

Bij verblijf in het buitenland kan men te maken krijgen met aanzienlijk afwijkende niveaus aan achtergrondstraling. Naast de stralingsniveaus van natuurlijke oorzaken kan er soms ook sprake zijn van besmettingen.

0-0-0

5. STRALINGSBRONNEN IN DE PRAKTIJK

Algemene toepassingen. In de praktijk kan men ioniserende straling onder andere bij de volgende toepassingen aantreffen:

Röntgenstraling

- Röntgentoestellen bij hospitalen, tandartsen;
- Technische röntgentoestellen voor materiaalonderzoek;
- Parasitaire röntgenstraling uitzendende toestellen met klystrons, thyratrons, magnetrons, amplitrons, TWT's en beeldbuizen.

Radioactieve stoffen

- Test-, ijk- en oefenbronnen;
- Rookmelders;
- Elektronenbuizen (als voorionisatie van onder andere zend-ontvangstschakelaars, overspanningbeveiligingen en "thoriated tungsten", gloeidraden en kathodes);
- Lichtgevende verf (wijzerplaten, lichtbronnen);
- Metaallegeringen en lenzen.

Merktokens. Het toepassen van radioactieve artikelen heeft in het gebruik voordelen; uit het oogpunt van stralingsbescherming kleven hieraan OOK nadelen. Deze nadelen, in de vorm van extra risico's, doen zich vooral voor bij opslag, vervanging, onderhoud, reparatie, breuk c.q. ongevallen en bij vervoer en afstoting.

Het is van belang dat artikelen met radioactieve stoffen herkenbaar zijn en dus deugdelijk zijn gemerkt. Immers, wanneer ter plaatse géén of niet de juiste meetapparatuur aanwezig is, moet men kunnen afgaan op de waarschuwingstekens (zie figuur 12).



Figuur 12. Waarschuwingstekens voor ioniserende straling.

Voor uurwerken, waarin een radioactieve lichtgevende verf is toegepast, geldt dat er géén waarschuwingssymbolen nodig zijn, wanneer de hoeveelheid radioactief materiaal maar beneden een bepaalde grens blijft.

In geval van twijfel over het al dan niet aanwezig zijn van radioactieve stoffen in het materiaal, moet men dit in eerste instantie **ALTIJD** als radioactief beschouwen en als zodanig handelen. Daarna kan de assistentie worden ingeroepen van een deskundige of VROM Handhaving KEW, ter vaststelling of het artikel inderdaad radioactief is (zie punt 1).

Controle op aanwezigheid. De controle op aanwezigheid kan geschieden op drie manieren, t.w. administratief, visueel en met behulp van meetapparatuur.

Administratief. In een bevoorradingssysteem kan men alle artikelnummers van kernmaterieel voorzien van een code voor “speciale behandeling of aandacht”

Visuele inspectie. Kernmaterieel moet zijn voorzien van het waarschuwingsteken volgens figuur 12. Is kernmaterieel voorzien van lichtgevende verf, dan kan dit het radioactieve nuclide radium (Ra-226), promethium (Pm-147) of tritium (H-3) zijn (zie ook figuur 13).

Te meten straling bij lichtgevende verfsoorten		
Radioactief nuclide	wijzerplaat	
	zonder glas/perspex	met glas/perspex ervoor
Radium (Ra-226)	α, β, γ	weinig β, γ
Prometium (Pm-147)	β	weinig β
Tritium (H-3)	$\beta^{1)}$	rem-(röntgen)straling ²⁾
1) Alleen met speciale apparatuur aan te tonen 2) Alleen bij zeer grote activiteit meetbaar		

Figuur 13. Lichtgevende verf en gebruikte nucliden.

Men moet zich realiseren dat na verloop van tijd de lichtopbrengst van een radioactieve lichtgevende verf sterk terugloopt:

- *Radiumverf* is na circa 10 jaar donkerbruin gekleurd en geeft daarna géén licht meer, maar heeft nog steeds dezelfde hoeveelheid radioactiviteit! Het verfpigment en het hechtmiddel worden kapot gestraald (zie figuur 14). De verf wordt brokkelig en er is een kans op een ongecontroleerde verspreiding van radioactief materiaal.



Figuur 14. Oude radiumverf

- Van een met *tritiumverf* bestreken wijzerplaat is na circa 5 jaar de lichtopbrengst gehalveerd.

Gebruik van meetapparatuur. Indien er geen merktekens zijn aangebracht, en ook niet uit de administratie (Nummers of merktekens) blijkt dat een artikel radioactieve stoffen bevat, kan dit vaak wel met meetapparatuur worden aangetoond, waarbij geldt dat:

- Bij artikelen die tritium (H-3) of nikkel (Ni-63) bevatten, dit **NIET** aan de buitenzijde is aan te tonen met een eenvoudige bèta-gammamonitor.
- Promethium (Pm-147) en krypton (Kr-85) aan de buitenzijde, bij nieuw materiaal redelijk goed en bij oud materiaal nauwelijks meer is aan te tonen.
- Cobalt (Co-60) en radium (Ra-226), afhankelijk van de hoeveelheid, aan de buitenzijde net tot zeer goed kan worden aangetoond met een eenvoudige bèta-gammamonitor.

Lichtbronnen. In de praktijk komen radioactieve lichtbronnen voor in (figuur 15):

- Kompassen,
- Richtmiddelen van geweren, mortieren en houwitsers.
- Schaalverlichting.
- Markers.



Figuur 15. Toepassingen van Tritium Lichtbronnen.

Gebruikte van nucliden. De uit radioactieve stoffen vrijkomende straling (alfa-, bèta-deeltjes en gammastraling) is in staat in fosfor, zoals zinksulfide, ionisaties te veroorzaken, waardoor het fosfor oplicht. Voor een gelijke lichtopbrengst moet bij het gebruik van stralingssoorten met een *lage energie (tritium)*, ten opzichte van stralingssoorten met een *hoge energie (radium)*, een grotere hoeveelheid radioactieve stof worden gebruikt.

Radium. Aan het gebruik van radium zijn vele nadelen verbonden:

- de vrij hoge stralingsenergieën, die een stralingsbelasting geven aan de omgeving.
- de aanwezigheid van alfadeeltjes en dus het radioactief verval naar het edelgas radon, met een grote kans op oncontroleerbare verspreiding.
- de hoge kostprijs.

Het gebruik van strontium of promethium brengt ook bezwaren met zich mee. Om van de bovengenoemde nadelen af te zijn, maakt men nu steeds meer gebruik van het tegen betrekkelijk lage kostprijs verkrijgbare tritium.

Tritium zendt alleen bètadeeltjes uit met een zeer lage energie, ongeveer gelijk aan de gemiddelde energie van de elektronen in een zwart-wit beeldbuis. Deze elektronen worden volledig geabsorbeerd in een glazen bronmhuysel. Tritium (licht)-bronnen geven, hoewel voorzien van een grote hoeveelheid radioactieve stof (dus hoge activiteit), in gesloten toestand een te verwaarlozen stralingsbelasting aan de omgeving.

De gevaren van tritium. Door de volledige absorptie van bètadeeltjes in het bronmhuysel is het niet mogelijk de gesloten tritiumbronnen met eenvoudige bèta-gammamonitor te detecteren, zodat een andere manier van herkenning noodzakelijk is.

Doordat het tritiumatoom zo klein is dringt het overal doorheen (diffusie). Hoewel dit proces zeer langzaam verloopt zijn met name de huid, plastic en zelfs metaal hiervoor als het ware poreus. De kans op inademing en besmetting van werkkoppervlakken en dergelijke is dan ook zeer reëel. Het tritium wordt daarom van fabriekswege verpakt in glazen bronhouders van een vaak speciale glassoort (het zogenaamde "hardglas" of borosilicaatglas), waarin deze diffusie niet meer kan optreden of beneden de gestelde norm blijft.

Gevaar van een open bron. Met tritium gevulde bronnen worden pas echt gevaarlijk bij breuk; het worden dan "**open bronnen**", waarbij een grote kans op een besmetting ontstaat! Hierbij komt hoofdzakelijk tritium in de vorm van waterstofgas vrij en slechts een fractie in de vorm van waterdamp.

Tritium in de vorm van waterdamp wordt bijzonder goed in het menselijk lichaam opgenomen en is daarom een factor 1000 gevaarlijker dan tritium in de vorm van waterstofgas.

Het in het menselijk lichaam opgenomen tritium kan ook worden gebruikt voor de opbouw van allerlei verbindingen, zodat bij radioactief verval het uittredende elektron schade kan doen ontstaan. Zit ergens een tritiumatoom als schakel in een chemische verbinding, dan ontstaat bij verval van dat atoom een breuk; tritium vervalt naar helium, een edelgas, dat immers geen verbindingen met andere elementen kan aangaan. Bij breuk van een tritium (licht)bron zal niet alle tritium worden opgenomen door de hierbij aanwezige(n)!

Donkerproef. Of een lichtgevende verf radioactieve stoffen bevat is, *met uitzondering van oude radiumverf*, op de volgende manier eenvoudig te bepalen:

- Berg het artikel 48 uur in het donker op.
- Kijk na die tijd, in het donker en na een adaptietijd voor de ogen van circa 15 minuten, of er nog lichtschijnsel is waar te nemen.
- Wanneer er géén lichtschijnsel aan het verfoppervlak meer is te zien, bevat de gebruikte verf géén radioactieve stof.
- "Gloeit" de verf nog steeds op, dan gaat het om een radioactieve verfsoort.

0-0-0

6. STRALINGSHYGIËNE

Categorie-indeling werkers. In geval van werkzaamheden met kernmaterieel en/of ioniserende straling uitzendende toestellen kan men spreken van radiologische werkzaamheden (zie punt 8). Indien verwacht wordt dat het personeel op jaarbasis bij deze werkzaamheden meer dan **1 mSv**, doch minder dan **6 mSv** aan stralingsbelasting kan ontvangen, dan worden zij beschouwd te zijn **blootgestelde werkers** (voorheen radiologische werkers) in de categorie B.

Bij een stralingsbelasting van meer dan **6 mSv** doch minder dan **20 mSv** spreekt men van blootgestelde werkers in de categorie A en is zelfs een jaarlijks keuring verplicht. Werkers die niet zijn ingedeeld als blootgestelde werker mag per jaar niet meer dan **1 mSv** aan stralingsbelasting ontvangen.

Let op. De stralingsbelasting ten gevolge van radiologische handelingen is onafhankelijk van het ter plaatse aanwezige niveau aan achtergrondstraling!

Persoonlijk dosisregistratiemiddel. De blootgestelde werkers in de categorie **A** zijn verplicht tot het dragen van een persoonlijk dosisregistratiemiddel (**PDM**). Voor de categorie **B** wordt de noodzaak tot het dragen van een PDM bepaald door de bedrijfsarts in overleg met de Directie en toezichthouder (VROM Handhaving KEW).

Op dit moment worden PDM's in de vorm van een TLD-badge (Thermo Luminescentie Dosimeter) toegepast. De termijn van omwisseling van de PDM's hangt af van de indeling van de werkzaamheden en kan zijn per dag, per maand of per kwartaal (zie figuur 16).



Figuur 16. De TLD-badge.

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

Deskundigheidseisen waaraan werkers moeten voldoen 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 wordt voor het gebruik van radioactieve bronnen en röntgentoestellen met **gering risico**, als laagst erkend niveau, het deskundigheidsniveau 5A gehanteerd.

In de vergunning wordt bepaald welk deskundigheidsniveau is vereist. De leiding van - of het toezicht bij de werkzaamheden - moet berusten bij een "bevoegde deskundige". Afhankelijk van de aard van de werkzaamheden zal het personeel moeten voldoen aan bepaalde deskundigheidseisen, of zijn geïnstrueerd inzake hun aandeel in de werkzaamheden. Dit uitreikstuk heeft betrekking op het deskundigheidsniveau lager dan het niveau 5A

Een ieder die werkzaamheden verricht met ioniserende straling uitzendende toestellen moet in het bezit zijn van een schriftelijke veiligheidsinstructie. Deze instructie (zie bijlage B) moet gericht zijn op de aard van de werkzaamheden, worden vastgesteld door de Directie en zijn goedgekeurd door de toezichthouder (VROM Handhaving KEW).

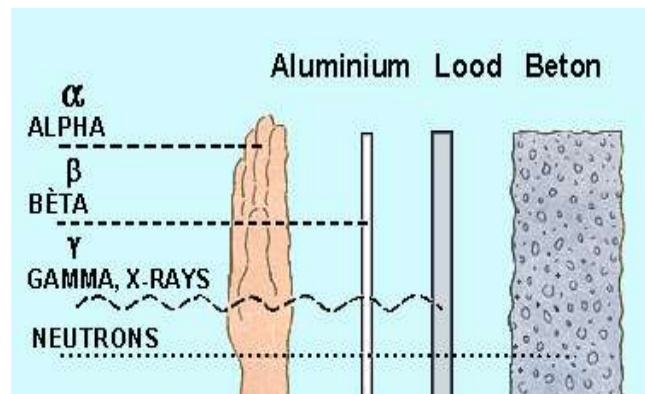
De 3-geboden. Het is belangrijk te weten hoe men zich tegen ioniserende straling kan en moet beschermen:

- **Houdt afstand.** De te ontvangen hoeveelheid straling (dosis) is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tot de stralingsbron.
- **Houdt de 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 door uitwendige bestraling.

Afscherming. De wijze van afscherming wordt bepaald door de eigenschappen van de af te schermen stralingssoort. Hierbij zijn grote verschillen mogelijk, zie ook figuur 17:

- **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 6 mm perspex volledig gestopt.
- **Röntgen- en gammastraling** kan niet worden gestopt, maar alleen worden verzwakt door metaal, beton of water. De afschermingdikte is afhankelijk van de energie van de straling.



Figuur 17. Effectiviteit van afscherming.

De halveringsdikte is de benodigde dikte van een bepaald materiaal om de intensiteit van de opvallende straling te halveren.

Inwendige besmetting. Veel elektronenbuizen en elektronische componenten bevatten als gesloten bron een kleine hoeveelheid radioactieve stof; De "Straling" hiervan is aan de buitenzijde nauwelijks is te meten. Bij breuk verandert deze gesloten bron in een "open" bron en bestaat er grote kans op verspreiding van de radioactieve stof en dus op een besmetting.

Het binnenkrijgen van radioactieve stoffen is zéér ongewenst. De afstand (tussen weefsel en de radioactieve stof) wordt dan gelijk aan nul, de blootstellingstijd zal meestal zeer lang zijn en er is zeker géén afscherming aanwezig!

Het spreekt vanzelf dat ROKEN, ETEN en DRINKEN niet is toegestaan bij omgang met (defect) materieel dat radioactieve stoffen bevat.

Het is een goede regel om na afloop van de werkzaamheden **altijd** de handen te wassen; dit om de kans op inwendige besmetting zo klein mogelijk te houden.

0-0-0

7. RADIOACTIEF AFVAL

Het overtollige radioactieve stoffen bevattend materieel (kernmaterieel) moet verzameld worden. Dit kan geschieden in de originele verpakking en/of in 100-liter verzamelvaten, welke beschikbaar zijn gesteld door de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA). Het materieel moet hierin zodanig worden gedeponeerd dat breuk en dus verspreiding in het vat niet mogelijk is.

De vaten moeten altijd op een droge, geventileerde plaats worden opgeslagen. De artikelen die niet-radioactief zijn mogen nimmer als overtollig kernmaterieel worden aangeboden!



Figuur 18. Radioactief afval vaten.



Figuur 19. Dummy radioactief afvalvat

Het ingebrachte overtollige kernmaterieel moet in afwachting van verwerking of afvoer centraal opgeslagen in een goedgekeurde bergplaats.

Indien de vergunning dit toestaat kunnen nog bij een verwerking de niet-radioactieve bestanddelen, overtollige verpakkingen en merktekens worden verwijderd. Op deze manier worden de kosten laag gehouden (zie [figuur 18, links](#)).

Deze 100-liter vaten worden bij verdere verwerking door de COVRA met een 1500-tons pers samengeperst en in een 200-liter vat gedeponeerd. Dit vat is al voorzien van een 10 cm dikke betonnen afscherming en wordt na het vullen in een beveiligde loods opgeslagen (zie ook [figuur 19](#)).

0-0-0

8. VEILIG WERKEN

De door de Directie van de organisatie uit te reiken veiligheidsinstructie (zie Bijlage B) moet zijn goedgekeurd door de bevoegde autoriteiten (VROM Handhaving KEW) en moet zo zijn opgezet, dat de mogelijkheid van breuk van de (licht)bronnen zo klein mogelijk is. De te verlenen vergunning kan hiervoor nadere regels stellen, zoals het registreren van de aanwezige hoeveelheden.

Opslag van kernmaterieel. Op 0,1 meter afstand van het oppervlak van een bergplaats of opslagmedium mag het te meten dosisequivalenttempo niet hoger zijn dan **0,5 $\mu\text{Sv/h}$** . De bergplaats moet zijn goedgekeurd door de toezichthouder, duidelijk zijn gemerkt en moet zijn af te sluiten Bijlage C geeft de criteria voor de opslag van kernmaterieel in de radiotoxiciteitsgroep 4 (w.o. tritium).

Werkzaamheden. Het onderhoud, de reparatie en opslag mag uitsluitend geschieden in daarvoor ingerichte en goedgekeurde werkplaatsen en magazijnen. Materiaal dat radioactieve stoffen bevat (kernmaterieel) mag alleen worden behandeld door geïnstrueerd personeel in het bezit is van een schriftelijke veiligheidsinstructie.

Het ongeval. Wanneer het kernmaterieel, bijvoorbeeld een elektronenbuis, een radioactief gas bevat zoals tritium (H-3) of krypton (Kr-85), kan bij breuk de werkruimte met dit gas worden gevuld. De blootstelling hieraan kan worden verminderd door de werkruimte direct te verlaten en ramen en deuren naar de buitenlucht toe te openen (Met inschakeling van extra ventilatie kunnen de gasresten versneld worden afgevoerd. De ruimte mag afhankelijk van de grootte van de bron minimaal 30 minuten na het tijdstip van de breuk door niemand worden betreden (met uitzondering van mensenreddende handelingen) en pas weer in gebruik worden genomen na controlemetingen en goedkeuring door de toezichthouder (VROM Handhaving KEW).

In geval van een ongeval met tritium (licht)bronnen wordt, ter bepaling van het nulniveau, voor controle van het betrokken personeel, binnen 2 uur na de vermeende blootstelling een urinemonster genomen. Het monster moet bij voorkeur in een glazen flesje worden verzameld. Na circa 3 dagen, als het tritium volledig door het lichaam is verspreid, wordt dit herhaald. Aan de hand van de meetresultaten moet worden beslist of verdere tritiummetingen in de urine van de "besmette" personen gewenst is.

Bij breuk moeten de restanten voorzichtig worden verzameld en als radioactief afval worden verpakt en ingeleverd. De eventuele snijwonden, ten gevolge van breuk of restanten moeten door de Medisch dienst worden behandeld. Meldt daar dan wel dat er een mogelijke besmetting kan zijn ontstaan.

De ongeval melding, door of namens de Directie ,moet zo spoedig mogelijk, op de in de vergunning voorgeschreven wijze worden verricht. Ook moet de toezichthouder (VROM Handhaving KEW) op de hoogte worden gesteld van het gebeurde, zodat er voor kan worden gezorgd dat deskundigen ter plaatse de radioactieve stoffen opruimen en metingen uitvoeren.

Bij constatering achteraf dat de breuk is opgetreden, en/of dat een lichtbron géén licht meer geeft, moet de bron, na overleg en instemming van de toezichthouder in plastic worden verpakt en vervolgens in een alléén hiervoor bestemd opslagmedium worden gedeponeerd.

Registratie. Bij een incident moet worden genoteerd:

- de namen van personen bij het ongeluk aanwezig;
- een beschrijving van de omstandigheden (hoe laat, waar en hoe de breuk plaatsvond en dergelijke).

Vrijgave van de ruimte. De werkzaamheden in de werkruimte mogen pas worden hervat na toestemming van de deskundige(n).

Nazorg. Is er personeel blootgesteld aan tritiumgas, dan kan door het drinken van grote hoeveelheden vocht in de vorm van melk, koffie, thee of water (tenminste 3 liter extra per dag) het tritium versneld uit het lichaam worden verwijderd. De verblijftijd van het tritium in het lichaam wordt zo verkort waardoor de stralingsbelasting minder is. Het menselijk lichaam mag maximaal 2 millicurie tritium (74 MBq) bevatten.

Twijfel of ongevallen. In geval van twijfel over de stralingsveiligheid of bij het vermoeden van een "**stralingsongeval**" (overbestraling of besmetting met radioactieve stoffen), moet door of namens de Directie onverwijld de toezichthouder (VROM Handhaving KEW) en arbeidsinspectie worden ingelicht (zie ook punt 1).

0-0-0

9. WETTELIJKE BEPALINGEN EN VOORSCHRIFTEN

De Directie moet gehoor geven aan de adviezen van de verantwoordelijk deskundige. Indien zij zich niet kan verenigen met deze adviezen, kan zij nader advies vragen aan de vergunning verlener.

Zij draagt zorg, dat:

- a. De verleende vergunningen ter plaatse van de werkzaamheden aanwezig zijn en op aanvraag kunnen worden getoond en een juiste administratie wordt gevoerd;
- b. Het aanschaffen van kernmaterieel en toestellen slechts gebeurt door de aangewezen verwervingsinstantie en op de juiste wijze wordt opgeslagen, verpakt, verplaatst, vervoerd, of afgevoerd;
- c. Het als blootgestelde werker aangewezen personeel:
 - is aangemeld bij de toezichthouder (VROM Handhaving KEW);
 - voorzien is van een gewenst PDM en hiermee op de juiste manier omgaat;
 - bij beëindiging van de radiologische werkzaamheden van categorie A werkers een beëindigingkeuring wordt aangevraagd bij de toezichthouder.
- d. Mutaties betreffende dosisregistratie worden gemeld.
- e. Indien op grond van een vergunning een verantwoordelijk deskundige is aangewezen, de werkzaamheden verricht worden door of onder leiding dan wel toezicht van deze deskundige;
- f. Het overige personeel voldoende is geïnstrueerd betreffende hun deel in de werkzaamheden met of aan kernmaterieel en in bezit wordt gesteld van een schriftelijke veiligheidsinstructie.
- g. Dat de alarmregeling en de te nemen maatregelen bij brand en bij stralingsongevallen in ruime kring bekend zijn.
- h. Geconstateerde tekortkomingen zo spoedig mogelijk op worden opgeheven.
- i. In de maand februari van elk jaar ter controle een overzicht wordt gemaakt en opgestuurd aan de Arbeidsinspectie van alle onder hem ressorterende blootgestelde werkers, die een PDM in gebruik hebben. Op dit overzicht, naar de toestand per 1 februari van dat jaar, dient het registratienummer van de persoon en het PDM te worden vermeld.
- j. De voorgeschreven meldingen tijdig worden gedaan;

De verantwoordelijk deskundige houdt toezicht op alle werkzaamheden met of aan kernmaterieel en toestellen. Dit houdt niet in dat hij tijdens alle werkzaamheden aanwezig moet zijn, maar wel dat hij altijd de verantwoordelijkheid draagt voor de juiste wijze van omgaan met kernmaterieel. Hij/Zij:

- a. adviseert de directie bij het opstellen van schriftelijke veiligheidsinstructies en het brandbestrijdingsplan;

- b. adviseert de Directie zo nodig schriftelijk, over werkwijzen en veiligheidsmaatregelen, bijvoorbeeld over beëindiging van radiologische werkzaamheden, indien de veiligheidsvoorschriften niet voldoende of niet op de juiste wijze worden nageleefd;
- c. draagt er zorg voor dat het personeel is voorzien van de veiligheidsinstructie en brandbestrijdingsplan; draagt er zorg voor dat direct stralingshygiënische maatregelen worden genomen indien zich een onveilige situatie voordoet;
- d. stelt de Directie onmiddellijk op de hoogte van alle incidenten, zoals ongevallen en (vermeende) overbestraling.

Het kernenergiewet dossier. Alle administratieve bescheiden moeten in het Kernenergiewetdossier worden opgeborgen (zie voorbeeld in Bijlage D). Dit dossier wordt beheerd door de verantwoordelijke deskundige.

Radiologische werkzaamheden zijn werkzaamheden waarbij het aannemelijk is dat het personeel, door de aanwending van radioactieve stoffen of het gebruik van een toestel, een bepaald dosisequivalent kan ontvangen. In de praktijk omvatten radiologische werkzaamheden:

- a. Handelingen welke bestaan uit het **geregeld** omgaan met ingekapselde radioactieve stoffen (instructeurs die met oefenbronnen werken);
- b. Handelingen met niet-ingekapselde radioactieve stoffen (radioactieve stoffen voor medische toepassingen en radioactieve lichtgevendende verf);
- c. Handelingen door personen die zich **geregeld** voor de uitvoering van hun taak moeten bevinden in ruimten waar toestellen worden gebruikt;
- d. Onderhoud- en reparatiewerkzaamheden aan toestellen.

Verplichtingen van de blootgestelde werker. Niet iedereen is direct een blootgestelde werker (zie punt 6). Een blootgestelde werker categorie A moet, indien hij aan straling wordt blootgesteld, anders dan uit hoofde van zijn functie of door medisch onderzoek, zijn leidinggevende hiervan op de hoogte stellen. Deze geeft dit door aan de Directie/ toezichthouder.

De keuringsarts en de Directeur van de blootgestelde werker categorie A ontvangen schriftelijk bericht over de medische geschiktheid van de gekeurde tot het verrichten van radiologische werkzaamheden.

De blootgestelde werker moet in geval van ziekte de betrokken arts op de hoogte stellen van zijn functie en aan een keuring meewerken.

Dosisregistratie. Ter vaststelling van de door hem ontvangen stralings-belasting moet iedere blootgestelde werker de beschikking hebben over een op naam gesteld (PDM).

Het PDM wordt door of namens de Directie verstrekt en is voor strikt persoonlijk gebruik; zij mag daarom niet worden uitgeleend. Ter voorkoming van onjuiste meetresultaten moet het PDM buiten werktijd worden bewaard op een koele, droge en stralingsvrije plaats.

Het medisch dossier. In het medisch dossier, dat wordt bewaard bij de afdeling personeelszaken, zijn onder andere opgenomen:

- a. de uitslag van geneeskundige onderzoeken;
- b. de toegepaste dosisregistratiemiddel(en);
- c. inlichtingen betreffende de aard van de tewerkstelling alsmede de routine dosisregistratie; en
- d. de dosisregistratie bij incidentele bestralingen.

Vervoersdocumenten. In de praktijk valt bijna al het materieel dat radioactieve stoffen bevat onder de bepalingen van de Kernenergiewet en zijn in de vergunning vastgelegd.

Vervoer van kernmaterieel. De activiteit van het kernmaterieel is dusdanig dat, behoudens enkele uitzonderingen, de voertuigen niet behoeven te zijn voorzien van enig merkteken. Wel dient de chauffeur in bezit te zijn van een gevarenkaart en moet op de vervoersdocumenten de vermelding worden opgenomen:

- **ingeval van weg, binnenwater, spoortransport**
“UN2911, radioactieve stof, vrijgesteld collo, instrumenten, 7, ADR”;
- **ingeval van zeetransport**
“RADIOACTIVE MATERIAL, EXCEPTED PACKAGE, INSTRUMENTS, class 7, UN2911”;
- **ingeval luchttransport** is geen vervoersdocument noodzakelijk, wel moet op de Air Waybill in de kolom “nature and quantity of goods” worden vermeld:
“radioactive material, excepted package - instruments, UN2911”.

De organisatie dient te registreren welke artikelen en samenstellen radioactieve stoffen bevatten.

Toezicht Kernenergiewet. Het toezicht op de naleving van de Kernenergiewet en de daarvan afgeleide besluiten berust in bij de Inspectie Milieuhygiëne Zuid-West van het Ministerie VROM/RIMH (tel. 010-2244444). Deze dienst is aangewezen als verantwoordelijke dienst voor de afhandeling van alle meldingen en bij stralingsongevallen.

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).**

0-0-0

Gebruikte Grootheden en begrippen bij ioniserende straling

Activiteit

Te vergelijken met de sterkte van een lamp:

eenheid

Bq (Becquerel)

$1 \text{ Bq} \equiv 1 \text{ kernmutatie per seconde} (1 \text{ s}^{-1})$

Besmetting : Bq/cm^2

Specifieke activiteit: 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

**Voorbeeld VEILIGHEIDSINSTRUCTIE voor het werken met OPEN en GESLOTEN
radioactieve bronnen IN HET LABORATORIUM, KAMER xx.**

Bij het werken met open radioactieve bronnen wordt in de laboratoriumruimte K-26 verstaan het prepareren van monsters in de zuurkast voor nadere analyse met de Germanium- en of NaJ-detector.

1. **ETEN, DRINKEN en ROKEN** is in deze werkruimte verboden, evenals opslag en gebruik van serviesgoed in het keukenblok;
2. **GEBRUIK** de laboratoriumjassen **NIET** buiten de laboratoriumruimte;
3. **DRAAG** het Persoonlijk Dosisregistratie Middel (**PDM**);
4. **WERK** in de zuurkast uitsluitend met handschoenen aan;
5. **BEPERK** de hoeveelheid radioactieve stoffen in de laboratoriumruimte en inde zuurkast zo veel mogelijk:
 - * maximaal 1,85 GBq aan gesloten tritiumbronnen (Bètalights),
 - * maximaal 7,4 MBq aan ijkbronnen voor alle klassen tezamen
6. **DEPONEER** het radioactief afval uitsluitend in de hiervoor bestemde box;
7. **MANIPULEER** de ijkbronnen uitsluitend met een pincet;
8. **PLAATS** alle niet noodzakelijke ijkbronnen en monsters **DIRECT** terug in de bronhouder(s) en of de BERGPLAATS voor radioactieve stoffen (K-30);
9. **LOZING** op het riool van radioactief vloeibaar afval, met een concentratie groter dan 0,037 Bq/ml (maximaal 1,85 MBq/4 weken) is **NIET** toegestaan, dit wordt in de vloeistofafvaltank verzameld en afgevoerd in de 30-liter COVRA vaten;
10. **WAARSCHUW** bij calamiteiten de verantwoordelijk deskundige (**toestel xxxx**) en neem in geval van een tritiumcalamiteit direct een urinemonster;
11. **WAS** na afloop van de werkzaamheden de handen.

0-0-0

Criteria voor handhaving KeW

Nummer:

Onderwerp:

Opslag van kernmaterieel in radiotoxiciteitsgroep 4 (w.o. tritium).

Maximale activiteit voor de opslag van afzonderlijke items kernmaterieel, zonder extra eisen aan de ventilatie:

- in een gemarkeerd **opslagmedium** (metalen kast/kist) tot **1 TBq** aan gezamenlijke activiteit, ongeacht het aantal items;
- per **ruimte** tot **2 TBq** aan gezamenlijke activiteit, ongeacht het aantal opslagmedia;
- per **gebouw** minder dan **10 TBq** aan gezamenlijke activiteit, ongeacht het aantal ruimten.

Indien er géén opslagmedium wordt gebruikt en/of de activiteit **groter is dan 10 TBq**, is er sprake van opslag in een **bergplaats** (met maximale activiteit van 100 TBq). Hierbij geldt een brandvertraging van 1 uur en de voorziening tot extra ventilatie van 5x per uur bij een calamiteit.

Afwijkingen van het gestelde alleen mogelijk na overleg en toestemming Toezichthouder (VROM-Handhaving KeW)

Voor de richtkijker van het geweer geldt ook de de wapenkuis als een opslagmedium!

0-0-0

INHOUD KERNENERGIEWETDOSSIER.

Voor een goed beheer is een *Kernenergiewet dossier* (KEW-dossier) voor de inrichting noodzakelijk.

<u>Tab</u>	<u>Inhoud</u>
I	Calamiteitenplan met plattegronden • Brandbestrijdingsplan, zoals aangeboden aan / opgesteld door de lokale en civiele brandweer; • Situatietekening (actueel) op schaal van zowel de locatie als het gebouw met aanduiding van aanwezigheid van stralingsbronnen en de maximaal toegestane hoeveelheden.
II	Veiligheid en werkinstructie: • Veiligheidsinstructie: laatste versie; • Werkinstructie (eventueel uittreksel) van de toegestane handelingen met de stralingsbronnen, inclusief waarschuwingen en noodhandelingen.
III	Brongegevens • Registratie en informatieformulieren (RIF'en) van het kernmaterieel; • Register van aanwezige radioactieve stoffen; • Resultaat van RI&E.
IV	Vergunning • Afschrift of verwijzing naar plaats van opslag; • Formele toestemming van autorisatiehouder aan Directie; • Verzorgingsinstructie van de organisatie.
V	Correspondentie, w.o.: • Bedrijf (voering) gegevens, organigram, adres, telefoon en faxnummers, Emailadres; • Afschrift mandaat Verantwoordelijk deskundige van de Directie; • Lokale deskundigheidsstructuur met namen betrokkenen; • Medische geschiktheidverklaringen / dosimeter uitslagen; • Meldingsformulieren (vrijgave voor ingebruikname),...; • Laatste twee verslagen van controles door de toezichthouder; • Overzicht van het uitgevoerd onderhoud en de calibraties; • Handleidingen, bedieningsvoorschriften.

Indien genoemde gegevens niet voorhanden zijn, dient een kopie ervan bij de verantwoordelijke instantie schriftelijk te worden aangevraagd (afschrift aanvraag in dossier).

0-0-0