

STRALINGSHYGIËNE VOOR DUMMY'S

Deel 1

STRALINGSHYGIËNE ALGEMEEN



Willem van Gaalen

Bevat informatie op het gebied van Stralingshygiëne
voor een algemeen inzicht.

∞

Doelgroep

"Stralingshygiëne Algemeen" 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 SBD/AV-99.9381C1 van 1 september 1996. Om een bredere doelgroep te kunnen bedienen is alle bedrijfsgevoelige informatie hieruit verwijderd. Dit uitreikstuk bevat de tekst van de voordracht over de algemene beginselen van de stralingshygiëne bij het omgaan met radioactieve stoffen en ioniserende- en niet-ioniserende straling uitzendende toestellen.

Er wordt onder andere aandacht besteed aan de verschillende stralingssoorten, de natuurlijke- of achtergrondstraling, voorkomende stralingsbronnen en aan de algemene veiligheidsmaatregelen voor zowel de ioniserende als de niet-ioniserende straling.

Met de basisuitleg over de theorie, regels en praktijksituaties wordt beoogd meer inzicht te verschaffen over de wijze waarop de lezer kan om gaan met de hieraan verbonden risico's. De lezing is ook als een powerpoint presentatie en op overheadsheets beschikbaar.

Veel leesplezier, Willem

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 Algemeen-AV999381-v2.docx

0-0-0

HOOFDSTUK		Bladzijde
	SAMENVATTING	2
	INHOUDSOPGAVE	3
1	INLEIDING TOT DE STRALINGSHYGIËNE	4
1.1	- Doelstelling	
1.2	- Elektromagnetische straling	
1.3	- Absorptie van EM-straling	5
2	IONISERENDE STRALING	6
2.1	- Ionisatie	
2.2	- Stralingssoorten	7
2.3	- Grootheden bij radioactieve stoffen	9
2.4	- Effecten	10
2.5	- Regelgeving	11
2.6	- Achtergrondstraling	12
2.7	- Stralingsbelasting in Nederland	14
2.8	- Stralingsbronnen in de krijgsmacht	15
2.9	- Merkteken / Het herkennen	
2.10	- Toepassingen en Controle op aanwezigheid	17
2.11	- Stralingshygiëne / Zelfbescherming	16
2.12	- Werkzaamheden / Ongevallen	
2.13	- Opslag van radioactief materieel	19
2.14	- Vervoer van radioactief materieel	
2.15	- Radioactief afval	21
2.16	- Voorschriften	
3	OPTISCHE / LASERSTRALING	22
3.1	- Begripsbepaling	
3.2	- Lasersoorten	
3.3	- Toepassingen	
3.4	- Gevarenklasse	23
3.5	- Identificatie	
3.6	- Normen	24
3.7	- Veiligheidsmaatregelen	
4	RADIOFREQUENTE STRALING	26
4.1	- Inleiding	
4.2	- Neveneffecten	
4.3	- Risico's	27
4.4	- Frequentieafhankelijkheid	
4.5	- Biologische effecten van blootstelling	
4.6	- Het thermisch of opwarmeffect	28
4.7	- Natuurlijke koeling	
4.8	- Het waarnemen van opwarmingseffecten	29
4.9	- Andere biologische effecten	30
4.10	- Indirecte effecten	
4.11	- Specific Absorption Rate	31
4.12	- Normen	34
4.13	- Veilig werken met RF-straling uitzendende apparatuur	
4.14	- Overbestraling	36

0-0-0

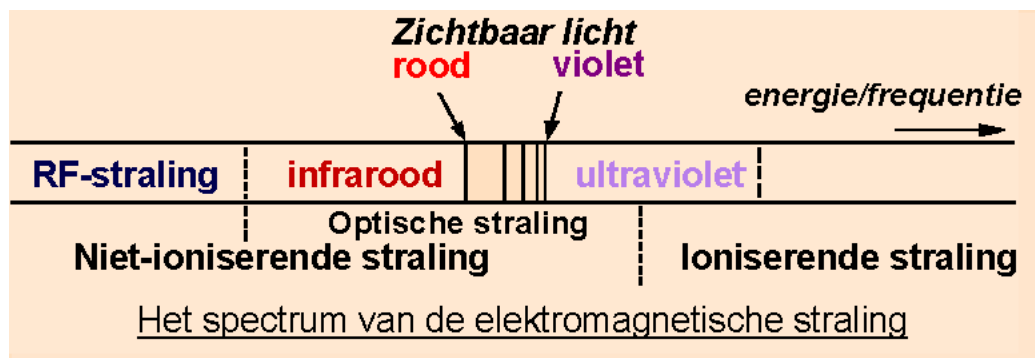
HOOFDSTUK 1. INLEIDING TOT DE STRALINGSHYGIËNE

1.1 DOELSTELLING

De bedoeling van deze voordracht is om informatie te geven over de basisbeginselen van de stralingshygiëne zoals die ook in de krijgsmacht worden toegepast. Daartoe worden - *in algemene zin* – de soorten en eigenschappen van bronnen, toepassingen, mogelijke risico's en de veiligheidsmaatregelen nader toegelicht. Waar men in de feitelijke werksituatie daadwerkelijk met straling in aanraking komt is altijd meer deskundigheid vereist en zijn aanvullende veiligheidsmaatregelen nodig.

1.2 ELEKTROMAGNETISCHE STRALING

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



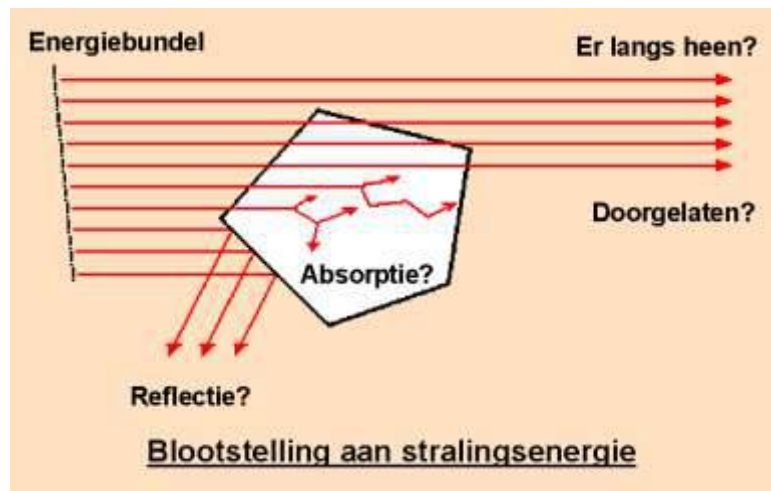
Figuur 1. Het spectrum van elektromagnetische straling

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. Deze stralingssoorten uit het EM-spectrum kunnen alleen rondom en in het gebied van het zichtbare licht door onze zintuigen worden waargenomen. In de andere gebieden laten de zintuigen ons geheel of gedeeltelijk in de steek!

De militaire toepassingen van stralingsbronnen vallen ook binnen het EM-spectrum. In het EM-spectrum worden, naast het zichtbare gedeelte, verschillende gebieden onderscheiden. De onderlinge relatie hiervan en de veel gebruikte benamingen worden in figuur 1 aangegeven. In deze instructie worden achtereenvolgens behandeld; de **Ioniserende straling**, de **Optische straling** en de **RF-straling**.

1.3 ABSORPTIE VAN EM-STRALING

Men kan stellen dat bij EM-straling het risico primair zit in de geabsorbeerde hoeveelheid van de energie. Het is echter onzeker of we altijd blootstaan aan de gehele energiebundel van een stralingsbron. In figuur 2 is de theoretisch mogelijke verdeling weergegeven. Om te bepalen hoeveel energie er bij blootstelling wordt geabsorbeerd is dus inzicht nodig in de factoren die een rol spelen. Onderzoek wijst uit dat in gebieden met veel zon, waar de bevolking veel in de buitenlucht werkt, meer huidkanker voorkomt dan elders. Dit is echter géén reden om alle absorptie van straling dan negatief te beoordelen.



Figuur 2.

Sinds mensenheugenis zijn we vertrouwd met de absorptie van energie. Voorbeelden van absorptie van energie in biologisch weefsel zijn:

In positieve zin:

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

In negatieve zin:

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

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

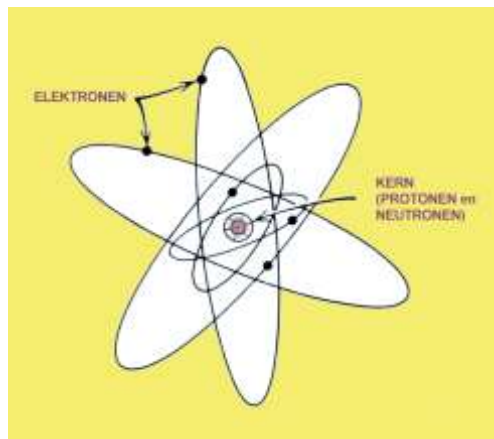
0-0-0

HOOFDSTUK 2. IONISERENDE STRALING

2.1. Ionisatie

Ioniserende straling wordt zo genoemd, omdat deze straling in staat is atomen te ioniseren. Dit verschijnsel kan **in het kort** als volgt worden verklaard:

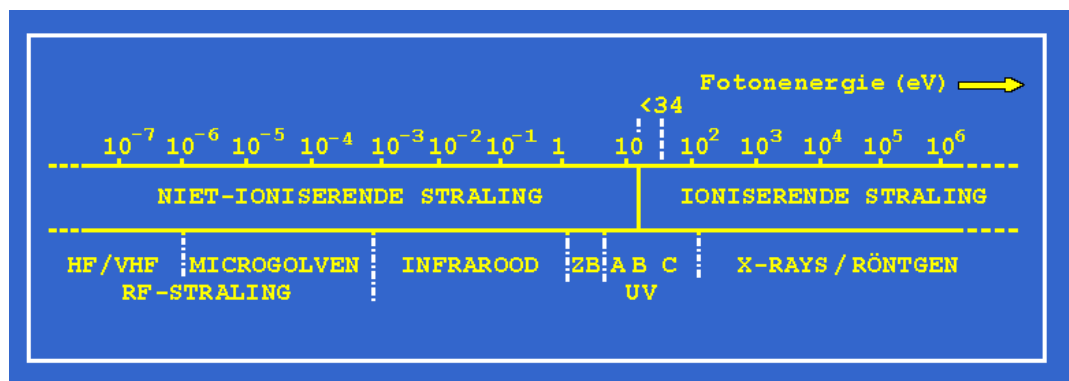
- Een atoom bestaat uit een elektrisch **positief** geladen kern met daaromheen draaiend een wolk van elektrisch **negatief** geladen elektronen, zie figuur 3. Bij een chemisch stabiel atoom is de **som** van de positieve en negatieve lading gelijk aan **nul**.



Figuur 3. Het atoommodel

- indien door ioniserende straling één of meer elektronen uit deze wolk 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 - *het is geïoniseerd*.

De grootte voor de energie is de fotonenergie. Deze wordt uitgedrukt in de eenheid elektronvolt. In het algemeen wordt straling met een fotonenergie groter dan circa 34 elektronvolt (eV) gerekend tot de ioniserende straling, zie figuur 4. Het ontstaan van ioniserende straling wordt in de volgende paragraaf behandeld.

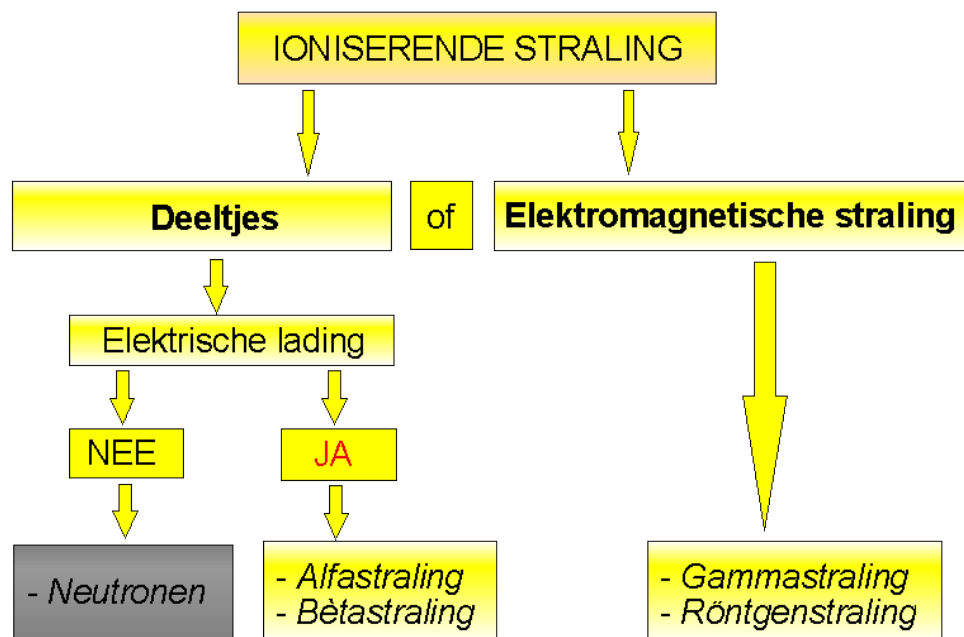


Figuur 4. De fotonenergie, ioniserende- en niet-ioniserende straling.

2.2 Stralingssoorten

Oorsprong van ioniserende straling. Onomstotelijk is komen vast te staan dat alle radioactieve stoffen op den duur weer stabiel worden. Wanneer instabiele atomen overgaan naar een stabielere toestand (vervallen), wordt de overtollige energie in de vorm van straling uitgezonden. Deze straling wordt ioniserende straling genoemd. Hierbij onderscheiden we de volgende stralingssoorten (zie [figuur 5](#)):

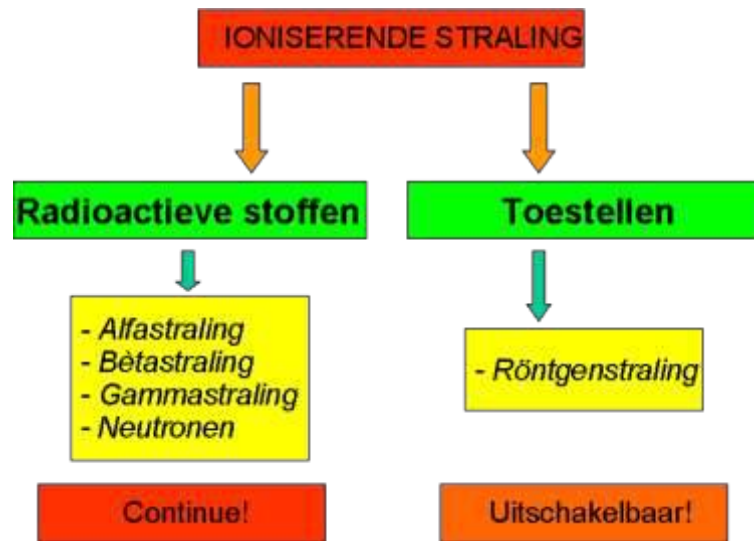
- **EM-straling van zéér hoge frequenties** die, al naar de wijze van ontstaan, röntgen- of gammastraling wordt genoemd.
- **Elektrisch geladen deeltjes**, zoals alfa- (heliumkernen) en bèta- (elektronen) straling.
- **Elektrisch ongeladen deeltjes**, de zogenaamde neutronen, die in deze lesstof verder niet worden behandeld.



Figuur 5. Vormen van ioniserende straling

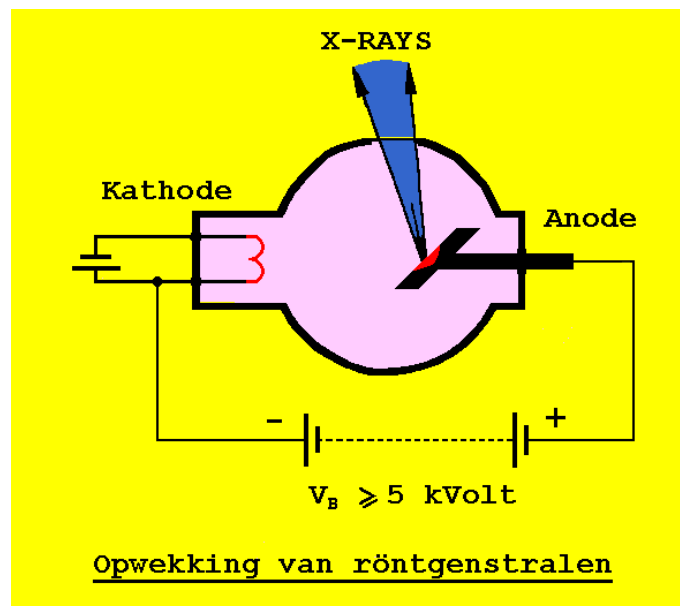
Radioactieve stoffen. Het overgrote deel van de Alfa-, bèta- en gammastraling ontstaat in de kernen van atomen van de radioactieve stoffen (instabiele atomen).

We kunnen echter géén invloed uitoefenen op het vrijkomen van de ioniserende straling uit radioactieve (instabiele) stoffen, maar wel bij het de röntgenstraling uit toestellen (zie [figuur 6](#)).



Figuur 6. Bronnen van ioniserende straling

Toestellen. Röntgenstraling kan ontstaan in toestellen waar in vacuüm elektronen door **hoge spanningen** worden versneld en door botsing worden afgeremd (zie figuur 7). Dit gebeurt "gewenst" zoals in medische röntgentoestellen en toestellen voor materieel onderzoek..

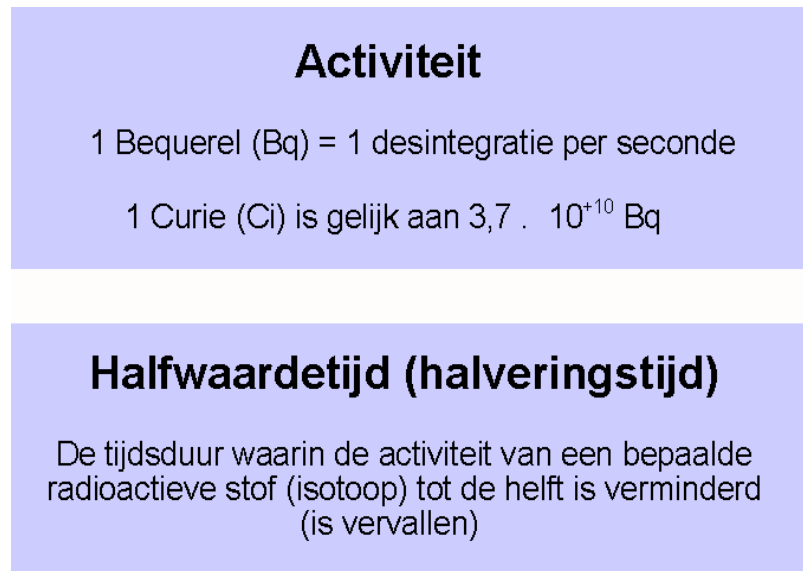


Figuur 7.

Op plaatsen waar spanningen groter dan circa 5000 Volt worden toegepast kan dit effect ook als "ongewenst" neveneffect optreden, dit noemen we de zogenaamde **parasitaire röntgenstraling**. Denk hierbij aan (buisen) kleuren- TV's, radar- en zendinstallaties voor hoge vermogens. **Deze röntgenstraling verdwijnt weer als het toestel wordt uitgeschakeld** (Figuur 6.).

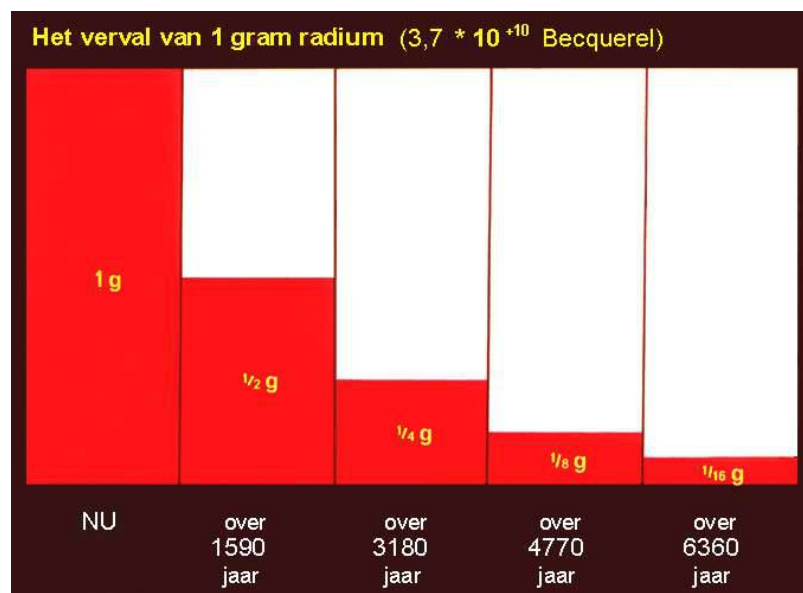
2.3 Grootheden bij radioactieve stoffen

Activiteit. Indien in een instabiele stof in één seconde één atoom verval, noemt men de activiteit van deze stof één Becquerel. De grootheden welke hierbij een rol spelen worden in figuur 8 weergegeven.



Figuur 8. Grootheden bij radioactieve stoffen

Halveringstijd. De halveringstijd ($T_{1/2}$) is de tijd waarin de helft van een bepaalde hoeveelheid radioactieve stof zal vervallen. Er bestaan radioactieve stoffen met een halveringstijd van fracties van een seconde, tot uren, dagen, maanden, jaren, eeuwen en miljarden jaren.



Figuur 8. Het verval van 1 gram radium.

2.4 Effecten

Wanneer (levend) weefsel wordt blootgesteld aan ioniserende straling, kunnen de ontstane ionen veranderingen of beschadigingen van de weefselcellen veroorzaken. Met name snelgroeiend weefsel is gevoelig voor stralingsschade.

De optredende biologische effecten zijn afhankelijk van:

- de soort ioniserende straling,
- de intensiteit van de straling,
- de blootstellingstijd,
- de gevoeligheid van het getroffen weefsel. (hoofd/romp, ledematen,
- Grootte van het blootgestelde oppervlak (hand, gehele lichaam),

De radiologische grootheden en eenheden, welke bij biologische effecten een rol spelen, worden in figuur 9, weergegeven.



Lading in lucht (exposietempo)	Geabsorbeerde dosis	Dosisequivalent (schade)
$2,58 \cdot 10^{-2} \text{ C/kg}$	1 Gray (Gy)	1 Sievert (Sv)
↑	100 cGy	↑
Oud 100 Röntgen (R)	100 rad	100 rem

Figuur 9. Grootheden bij biologische effecten

Directe effecten. Bij blootstelling aan grote hoeveelheden ioniserende straling in zéér korte tijd (reactorongevallen), kan de dood snel intreden. Er is een direct verband tussen oorzaak en gevolg.

Late effecten. Bij kleine hoeveelheden kunnen de effecten pas na lange tijd (dus niet altijd!) optreden. De persoon heeft dan kans op leukemie, tumoren (kankers) en staar (vertroebeling van de ooglen). Er is géén direct verband tussen oorzaak en gevolg. Het verband is alleen statistisch aan te tonen.

Genetische effecten. Tenslotte kan ook het nageslacht erfelijk worden belast. Bedenk wel dat niet iedere mutatie als negatief wordt ervaren!

2.5 Regelgeving

Kernenergiewet. Om biologische effecten te voorkomen worden regels in acht genomen. Deze regels zijn vastgelegd in de kernenergiewet. Zij gelden voor alle handelingen met radioactieve stoffen en (röntgen)toestellen. In de kernenergiewet worden normen en actieniveaus gegeven voor de verschillende toepassingen en situaties (voorhanden hebben, vervoer, opslag en gebruik). De kernenergiewet hanteert daarbij drie uitgangspunten:

- Rechtvaardiging voor de toepassing,
- ALARA (optimalisatie van stralingsbelasting),
- Dosislimieten.

De vergunning voor alle handelingen met radioactieve stoffen en röntgentoestellen moet aanwezig zijn voor aanvang van werkzaamheden en/of het voorhanden hebben van kernmaterieel. Deze kan worden aangevraagd, bij **Agentschap NL, Stralingsbescherming**, van het **ministerie van Economische Zaken**, Landbouw en Innovatie:

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

Elke organisatie moeten de verplichtingen van de vergunning en andere spelregels vastleggen in haar interne regelgeving. E.e.a. 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).

Apparaten of instrumenten van het "aangewezen type" kunnen van het vergunningstelsel worden vrijgesteld. Deze apparaten en instrumenten worden aangeduid met de tekst "aangewezen type". Aan een dergelijke aanwijzing kunnen wel bepaalde voorschriften worden verbonden voor gebruik, opslag, reparatie, en vervoer. Ook bij radioactieve stoffen waarvoor geen vergunning is vereist bij het aanwenden, gelden wel de regels voor opslag, verplaatsing, reparatie, onderhoud, vervoer en lozing!

Radiologische handelingen De kernenergiewet beperkt de stralingsbelasting bij radiologische handelingen. Er worden niveaus vermeld waaraan men bij handelingen per jaar maximaal mag blootstaan. Tot een belasting van 1 mSv/jaar spreekt men van een maximum toelaatbaar risico. Er zijn dan geen verdere maatregelen nodig. Het risico is dus in feite verwaarloosbaar.

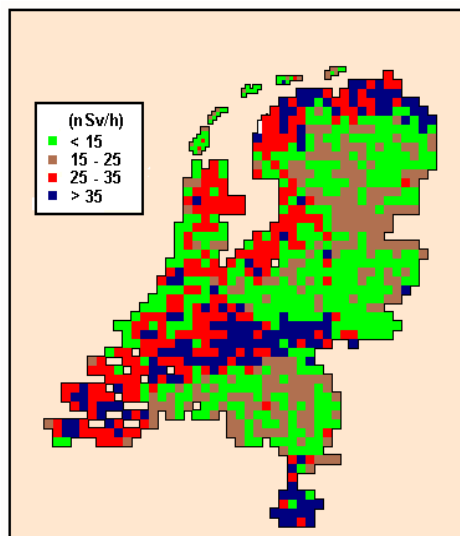
Boven de 1 mSv/jaar wordt een werker ingedeeld als blootgestelde werker categorie B. Hij/zij mag dan maximaal 6 mSv/jaar oplopen. Tussen 6 en 20 mSv/jaar is men blootgestelde werker in de categorie A. Voor deze beide categorieën geldt een verplichte dosisregistratie en medische controle.

Let op: De stralingsbelasting ten gevolge van radiologische handelingen is onafhankelijk van het ter plaatse aanwezige niveau aan achtergrondstraling! Bij verblijf in het buitenland kan men te maken krijgen met aanzienlijk afwijkende niveaus aan achtergrondstraling.

2.6 ACHTERGRONDSTRALING

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. In de natuur komt ook 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 ter plaatse aanwezige grondsoort. Zoals zand-, kleigrond en graniet (zie ook [figuur 10](#));
- 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.

Stralingsbelasting in Nederland door natuurlijke stralingsbronnen. Deze stralingsbelasting wordt ook wel de gemiddelde effectieve dosis genoemd en bedraagt **per jaar** circa 1 mSv (*Exclusief de longdosis van circa 0,9 mSv ten gevolge van alfadeeltjes uit thoron en radon, welke sterk afhankelijk is van de ventilatiegraad in woningen*) Men staat dus veelal onbewust bloot aan:

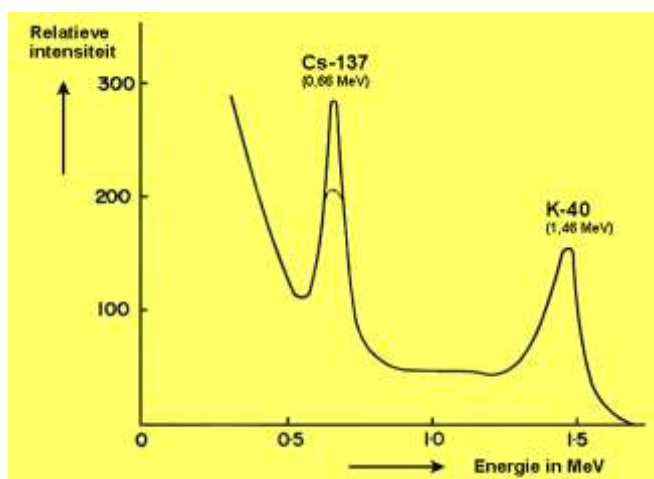
- kosmische straling (zeeniveau), circa 0,3mSv
- in het lichaam (o.a. K-40), circa 0,3mSv
- bodem en woonomgeving, 0,35 - 0,65mSv

Stralingsbelasting in Nederland door kunstmatige bronnen. In Nederland kan men jaarlijks ook door allerlei andere oorzaken een stralingsbelasting oplopen. Deze worden kunstmatige bronnen genoemd. De belasting per individu bedraagt, gemiddeld over 1 miljoen mensen, per jaar voor:

• röntgendiagnostiek		0,3 - 0,9	mSv
• nucleaire geneeskunde	circa	0,03	mSv
• radiologische werkzaamheden	circa	0,008	mSv
• fall-out (atoombom proeven)	circa	0,09	mSv
• fall-out Tsjernobyl	circa	0,05	mSv
• vliegereizen	circa	0,005	mSv
• kernenergie (lozing)		<0,01	mSv
• gebruiksgoederen (KTV, horloge)	circa	0,01	mSv
• diversen (industrie, aardgas)	circa	0,1	mSv

Kosmische straling en het ontstaan van radioactieve stoffen. In het bovenste deel van de atmosfeer worden zelfs radioactieve stoffen (nucliden) gevormd. Door de botsing van kosmische straling, met de daar aanwezige moleculen van stikstof, zuurstof en het edelgas argon, ontstaan daarbij onder andere tritium, beryllium, koolstof, natrium en chloor. De halveringstijd van deze radioactieve stoffen varieert van enkele minuten tot vele jaren. Denk aan Koolstof-14, met een halveringstijd van circa 5730 jaar.

Voedselketen. 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 echter een geringe bijdrage aan de totale stralingsbelasting in Nederland. Figuur 11 geeft de relatieve stralingsintensiteit weer tengevolge van de aanwezige radioactieve stoffen uit het menselijk lichaam.



Figuur 11. Stralingsintensiteit uit het lichaam

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 12).

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	
Bergsteden Denver, Bogota,	1,5	3,3	2,25	4.000.000
Frankrijk Centraal Massief	1,8	3,5	2,0	7.000.000
Egypte Monazietgronden	2,0	4,75	2,0	7.000
Brazilië 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
India Kerala	8	80	15	100.000
Sri-Lanka Granietgebieden	30	70	30	1.000
Nederland	0,7	1,3	1,0	15.000.000

*) G.G. Eichholtz 1977, Environmental Aspects of Nuclear Power.

Figuur 12.

2.7 STRALINGSBRONNEN IN DE PRAKTIJK

De meest voorkomende bronnen van ioniserende straling treft men in de praktijk bij de toepassingen aan van:

Röntgenstraling

- röntgentoestellen bij hospitalen, tandartsen;
- technische röntgentoestellen voor materiaalonderzoek;
- parasitaire röntgenstraling uitzendende toestellen met klystrons, thyatronen, magnetronen, amplitronen, TWT's en beeldbuizen.

Radioactieve stoffen

- test- en oefenbronnen;
- rookmelders;
- elektronenbuizen (als vóór-ionisatie van onder andere zend-ontvangstschakelaars, overspanningsbeveiligingen en als "thoriated tungsten" gloeidraden en kathodes);
- lichtgevende verf (wijzerplaten, lichtbronnen);
- metaallegeringen en lenzen,
- Depleted Uranium (DU)-toepassingen als afscherming, pantser en munitie.

2.8 MERKTEKENS / HET HERKENNEN

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 afgaan op de waarschuwingstekens volgens figuur 13.



Figuur 13. Waarschuwingsteken voor ioniserende straling

Voor uurwerken, waarin een radioactieve lichtgevende verf is toegepast, geldt dat er géén waarschuwingssymbolen nodig zijn, wanneer de hoeveelheid radioactief materiaal beneden een bepaalde waarde 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, ter vaststelling of het materieel inderdaad radioactieve stoffen bevat.

2.9 TOEPASSINGEN en CONTROLE OP AANWEZIGHEID

Het toepassen van radioactieve stoffen in het materieel heeft in het gebruik voordelen; De kwaliteit en betrouwbaarheid zijn in het algemeen hoger. Echter 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 afvoer.

Elektronische componenten. Indien het niet al administratief bekend is, aan de hand van NSN's of merktekens, kan met meetapparatuur worden aangetoond dat elektronische componenten radioactieve stoffen bevatten. Hierbij geldt dat:

- Bij artikelen die tritium (H-3) 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), aan de buitenzijde net tot zeer goed kan worden aangetoond met een eenvoudige bèta/gammamonitor, zie figuur 14.



Figuur 14. Radioactieve bron in elektronenbuizen

In lichtgevende verf kan de radioactieve stof Radium (Ra-226), Promethium (Pm-147) of Tritium (H-3) voorkomen (Zie tabel 1).

Tabel 1.

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		

Lichtopbrengst. Men dient zich wel te realiseren dat na verloop van tijd de lichtopbrengst van 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 ($T_{1/2} \approx 1600$ jaar)! Het verfpigment en het hechtmiddel worden kapot gestraald. De verf wordt brokkelig en er is een kans op een ongecontroleerde verspreiding van radioactief materiaal.
- Van een met tritiumverf bestreken wijzerplaat is na circa 5 jaar de lichtopbrengst gehalveerd.

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, ook in het donker en na een adaptietijd van circa 15 minuten, of er nog lichtschijnsel is waar te nemen;
- Wanneer er géén lichtschijnsel aan het verfooppervlak meer is te zien, bevat de gebruikte verf géén radioactieve stof;
- "Gloeit" de verf nog steeds op, dan handelt het om een radioactieve verfsoort.

2.10 STRALINGSHYGIENE / ZELFBESCHERMING

Het is belangrijk te weten hoe men zich tegen ioniserende straling kan en moet beschermen:

- **Houdt afstand.** De hoeveelheid straling (dosis) is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tot de stralingsbron.
- **Tijdsduur kort.** De dosis is recht evenredig met de tijd van blootstelling aan de stralingsbron.
- **Schermaf.** Straling die in een afscherming wordt geabsorbeerd deert u niet!

Afscherming. De wijze van afscherming wordt bepaald door de eigenschappen van de af te schermen stralingssoort. Daarbij treden grote verschillen op in de benodigde afscherming:

- **Alfa-straling** gaat maximaal enkele centimeters door lucht en wordt al door een dun velletje papier gestopt.
- **Bèta-straling** gaat maximaal enkele meters door lucht en wordt door metaal of perspex van 6mm dikte volledig tegengehouden.
- **Röntgen- en gammastraling** kan niet worden gestopt, maar alleen worden verzwakt door metaal, beton of water. De benodigde afschermingdikte is afhankelijk van de energie van de straling.

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

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

Te nemen maatregelen. Naast het naleven van de werk- en veiligheidsinstructie spreekt het vanzelf dat **ROKEN, ETEN en DRINKEN niet** is toegestaan bij omgang met (defecte) artikelen die radioactieve stoffen bevatten. Na afloop van de werkzaamheden moet men **altijd** de handen wassen, om de kans op inwendige besmetting zo klein mogelijk te maken.

2.12 WERKZAAMHEDEN / ONGEVALLEN

Materiaal dat radioactieve stoffen bevat mag alleen door geïnstrueerd personeel worden behandeld. Het onderhoud, de reparatie en opslag mag uitsluitend geschieden in daarvoor ingerichte en goedgekeurde werkplaatsen en magazijnen.



Figuur 15. Elektronenbuizen met radioactieve gloeidraad (Th-232)

Veel elektronenbuizen bevatten als gesloten bron een kleine hoeveelheid radioactieve stof (zie [figuur 15](#)); de *straling* is aan de buitenzijde nauwelijks te meten. Bij breuk verandert deze gesloten bron in een "open" bron en is er grote kans op verspreiding van de radioactieve stof en dus op een besmetting.

Wanneer elektronenbuizen zijn gevuld met een radioactief gas (zie [figuur 16](#)), zoals tritium (H-3) of krypton (Kr-85), kan bij breuk de werkruimte met dit gas gevuld worden. Een goede ventilatie van deze ruimte, gedurende circa 30 minuten, is dan meestal voldoende om de gasresten af te voeren. Bij grotere bronnen is controle op besmetting door een deskundige altijd noodzakelijk!



Figuur 16. Radioactieve lichtbronnen met Tritium

Bij blootstelling aan tritiumgas, kan door veel te drinken - tenminste 3 liter extra per dag - het tritium versneld uit het lichaam worden verwijderd. Ter controle worden urinemonsters genomen, binnen 2 uur na het ongeval (nulmonster) en vervolgens na circa 3 dagen.

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 lokale geneeskundige dienst behandeld worden. Meld daar dan wel dat er een mogelijke besmetting kan zijn ontstaan!

Voor spoedeisende hulp en incidentmeldingen, dient de (verantwoordelijk) deskundige 24 uur per etmaal bereikbaar te zijn.

2.13 OPSLAG VAN RADIOACTIEF MATERIEEL

Voor de opslag van alléén kernmaterieel kan dienen:

- Een opslagmedium (van staal), ZOALS EEN KAST OF KIST,
- Een bergplaats.



Figuur 17. Markering van een bergplaats

Op 0,1 meter afstand van het oppervlak van een opslagplaats mag het dosisequivalent tempo niet hoger zijn dan 0,5 $\mu\text{Sv/h}$. Een bergplaats moet zijn goedgekeurd door de toezichthoudende deskundige, moet duidelijk gemerkt (zie figuur 17) en af te sluiten zijn. De te verlenen vergunning kan hiervoor nadere regels stellen.

2.14 VERVOER VAN RADIOACTIEF MATERIEEL

De artikelen die een radioactieve stof bevatten moeten zijn voorzien van een waarschuwingsteken (Een sticker met de tekst "radioactieve stof" en/of het vlindersymbool volgens figuur 13).

Wanneer de stralingsintensiteit (dosisequivalent tempo) aan het oppervlak van het collo NIET uitkomt boven **5 $\mu\text{Sv/h}$** , geldt bij het vervoer dat:

- De verpakking van de artikelen aan bepaalde normen moet voldoen en moet zijn gemerkt.
- Tijdens het vervoer géén lekkage (verspreiding) van radioactieve stoffen plaats kan vinden.
- De vervoersdocumenten aangeven welke radioactieve stoffen het betreft. Meestal kan worden volstaan met de vermelding op de transportpapieren van
 - ADR/ADNR/RID (Weg, binnenwater, spoor):
UN2911, radioactieve stof, vrijgesteld collo, instrumenten, 7, ADR, of
 - De IMDG-code (zee):
RADIOACTIVE MATERIAL, EXCEPTED PACKAGE, INSTRUMENTS, CLASS 7, UN2911
 - ICAO-TI/IATA-DGR (Lucht):
Géén vervoersdocument nodig, Wel dient op de Air Waybill in de kolom "nature and quantity of goods" de volgende tekst opgenomen te worden "**radioactive material, excepted package – instruments, UN2911**"
- Het voertuig behoeft **NIET** te zijn voorzien van enig etiket als waarschuwingssymbool.
- In het voertuig moet aanwezig zijn een "gevaarenkaart" over "Hoe te handelen bij incidenten".

Bijna al het in de praktijk voorkomende materieel dat radioactieve stoffen bevat, valt onder de bepalingen van het volgende punt 2.15. Voor uitzonderingen worden nadere regels in de vergunning, of in overleg met de toezichthoudende deskundige (Arbeidsinspectie en/ of VROM).

2.15 RADIOACTIEF AFVAL

In dit hoofdstuk wordt beknopt weergegeven hoe het verzamelen en verwerking van radioactief afval uit de krijgsmacht in de praktijk plaatsvond. Vele duizenden voertuigen, vliegtuigen en communicatie apparaten, deels verkregen via de z.g. Marshall-hulp, waren voorzien van aanwijsinstrumenten, teksten en merktekens met strontium (Sr-90) en radium (Ra-226) verf. Deze verf gaf allang géén licht meer, maar vormde wel een potentieel stralingsrisico!

Het was een verplichting om het radioactieve materieel, waaronder ook elektronenbuizen, te merken voordat dit in gebruik genomen en of afgestoten werd. Omdat de artikelen die niet-radioactief zijn NIMMER als radioactief afval mogen worden aangeboden, was een uitgebreide registratie noodzakelijk. Alle artikelen, waarvan bekend was of een sterk vermoeden bestond dat zij enige vorm van radioactiviteit bevatten, waren opgenomen in een centrale lijst. In deze zogenaamde BARK-1009 lijst, welke werd uitgegeven en bijgehouden door het RO, werden ook de mogelijke parasitaire röntgenstralingsbronnen (klystrons, thyatronen en dergelijke) vermeld.

De afvalketen begon op het moment dat een artikel met een radioactieve stof niet meer bruikbaar was en moest worden afgevoerd. We spraken dan van:

"Overtollig materieel dat radioactieve stoffen bevat"

Zoals in de voorschriften was aangegeven, mocht afvoer van dit materieel alleen geschieden via een speciale procedure en door de daartoe aangewezen instantie. Vanaf 1969 t/m 1989 werd dit, vanuit de afvoerplaatsen en magazijnen, gedaan door tussenkomst van de Interservice Controleploeg Ioniserende stralen en tot 1994 door het Toezichthoudende orgaan (TSD).

Op de krijgsmachtonderdelen wordt het overtollige radioactieve stoffen bevattend materieel (kernmaterieel) verzameld. Dit kon geschieden in de originele verpakking en/of in 60-liter verzamelvaten. Het materieel moest hierin zodanig worden gedeponeerd dat breuk en dus verspreiding in het vat niet mogelijk is. De vaten moesten altijd op een droge, geventileerde plaats worden opgeslagen.



Figuur 18. Radioactief afval vaten.

Het door de krijgsmachtdelen ingebrachte overtollige kernmaterieel werd in afwachting van verwerking centraal opgeslagen. Bij de verwerking werden de niet-radioactieve bestanddelen, overtollige verpakkingen en merktekens verwijderd. De overblijvende radioactieve delen werden gesorteerd in, door de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) beschikbaar gestelde, vaten van 100-liter gestort. Op deze manier worden de kosten laag gehouden (zie figuur 18).

Deze 100-liter vaten worden bij verdere verwerking door de COVRA met een 1500-tons pers samengeperst. De overblijvende "schijven" (zie figuur 18 midden) werden in een 200-liter vat gedeponneerd, dat al voorzien was van een 10 cm dikke betonnen afscherming (zie ook figuur 19). Na het vullen hiervan werden deze vaten in een beveiligde loods opgeslagen



Figuur 19. Dummy radioactief afvalvat

2.16 VOORSCHRIFTEN

Iedere organisatie waar radioactieve stoffen bevattend materieel, oefen- en test- en ijkbronnen en röntgentoestellen in gebruik zijn moet de omgang daarmee, zoals dit in de verleende vergunning is vastgelegd, in interne voorschriften aan het personeel bekend stellen.

Zo hebben de krijgsmacht delen voorschriften gebaseerd op het MP/DP35-311, de "Handleiding Stralingshygiëne Defensie", welke weer op de verleende vergunningen is gebaseerd.

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

HOOFDSTUK 3. OPTISCHE / LASERSTRALING

3.1 BEGRIPSBEPALING

Dit hoofdstuk beperkt zich in het gebied van de optische straling voornamelijk tot Laserstraling. Het woord "LASER" is samengesteld uit de eerste letters van de engelse omschrijving "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation". Laserstraling komt voor in het gebied van het ultraviolette-, zichtbare- en infrarode licht. Een laser verschilt met een gewone gloeilamp:

- Een gloeilamp zendt ordeloos een geheel spectrum van zichtbaar licht, met weinig ultraviolet en veel infrarood, in alle richtingen uit.
- Een laser zendt licht uit van één frequentie, in een zeer nauwe bundel. Bovendien lopen hierbij de lichtgolven nog ordelijk in fase ("in de pas" zoals bij een compagnie soldaten).

3.2 LASERSOORTEN

Er zijn vele soorten lasers. Deze worden benoemd naar de wijze van opwekking. Men onderscheidt daarbij:

- Vaste stof lasers (onder andere met een robijnstaaf) met een middelmatig vermogen.
- Gaslasers (onder andere met kooldioxidegas), het vermogen kan hierbij zeer hoog zijn.
- Halfgeleider lasers (GaAs = gallium arsenide), meestal met een vrij laag vermogen.

Tevens is er een onderscheid te maken tussen CW-lasers (Continuous Wave = ononderbroken uitzending van straling, minstens 0,25 s), gepulste lasers (pulsen van 0,4 tot 10 ms) en de zogenaamde Q-switched lasers (pulsen van 1 ns tot 0,1 ms). Bij CW-lasers wordt meestal de output in watt en bij gepulste Q-switched lasers de energie per puls in joules opgegeven.

3.3 TOEPASSINGEN

In het algemeen worden lasers gebruikt bij:

- Onderzoek in laboratoria (hologrammen/ analyse apparatuur)
- Medische toepassingen (netvlieschirurgie, uitharding composiet materiaal)
- Industriële toepassingen (lassen en meteorologie)
- Informatieoverdracht (glasvezel, kabeltelevisie)
- Afstandsbepaling/richtmiddelen
- Audiovisuele gebruikapparatuur (compactdisc, beeldplaat)
- Demonstraties (scholen, disco's)



Binnen Defensie bij richtmiddelen, zoals afstandsmeters, doel-aanstraallasers, de wolkenbasis-hoogtemeter en calibratie-lasers,

3.4 GEVARENKLASSE

Licht is elektromagnetische straling; er vindt dus energietransport plaats. Een laser concentreert deze energie in een nauwe bundel en kan daarom bij hogere vermogens gevaarlijk zijn. In Nederland bestaan voor lasers de volgende gevarenklasse (volgens NEN-EN 60825 en IEC825):

Klasse 1 zijn vrijgestelde lasers, omdat zij niet in staat zijn, onder welke condities ook, een schadelijke hoeveelheid straling uit te zenden.

Klasse 2 omvat lasers met een laag risico; deze zijn alleen gevaarlijk als de gebruiker zijn natuurlijke aversie tegen fel licht overwint en langere tijd in de lichtbron blijft staren (langer dan 0,25s). Dit is te vergelijken met het gevaar van minuten lang in de zon staren. In deze klasse komen alleen lasers voor die zichtbaar licht uitzenden (golflengte van 400-760 nm) met vermogen tot 1 mWatt.

Klasse 2A, als klasse 2, echter de blootstellingstijd mag maximaal 1000 seconden bedragen zonder dat de directe bundel schade kan geven aan het netvlies.

Klasse 3R omvat lasers met een beperkt risico met een maximaal vermogen van 5 mWatt in het gebied van 400 - 760 nm. Oogschade kan ontstaan indien gebruik wordt gemaakt van optische hulpmiddelen in het niet zichtbare gebied. Nog géén (ernstige) beschadiging van de huid. Diffuse reflecties worden hier ongevaarlijk geacht.

Klasse 3B Deze lasers kunnen (van alle golflengtes) ook zonder gebruik van optische hulpmiddelen oogschade veroorzaken. Bij een blootstelling aan de directe bundel en spiegelende reflecties kan beschadiging van het oog optreden binnen de normale oog-reflextijd (0,1 - 0,15 s). Diffuse reflecties van het laserlicht kunnen géén oogschade veroorzaken indien de afstand tot het reflecterend oppervlak groter is dan 13 cm is bij een blootstellingstijd kleiner dan 10s 'Het vermogen is beperkt tot 500 mWatt.

Klasse 4 omvat alle lasers van hoog vermogen. Naast de directe bundel en spiegelende reflecties, kunnen nu diffuse reflecties (zeer) ernstige schade aan het oog toebrengen. Ook kunnen secundaire effecten, als het ontvlammen van brandbare materialen optreden.

3.5 IDENTIFICATIE

In het handboek of gebruiksaanwijzing van de Laser wordt aangegeven welke veiligheidsmaatregelen moeten worden getroffen. **Ter identificatie moet de klassenaanduiding duidelijk op de laser zijn aangebracht!** Indien de laser uit een ander land afkomstig is, kan een andere (afwijkende) klassenidentificatie voorkomen. Uit het betreffende handboek moet dan, aan de hand van de specificaties, zijn af te leiden in welke gevarenklasse de laser thuishoort.

3.6 NORMEN

De binnen Defensieorganisatie geldende normen, welke bekend gesteld zijn als “Aanwijzing/HMA Blootstellingnormen Laserstraling Defensie” van 13 september 2002 (nr G/2002001848), zijn gebaseerd op de ICNIRP en Standard NATO Agreements (STANAG). Voor een praktische uitwerking daarvan is de “Richtlijn laserstraling” van kracht.

3.7 VEILIGHEIDSMAAATREGELEN

In tegenstelling tot röntgen-, gamma- en radiofrequentiestraling is het gevaar van laserstraling zeer direct en wel in het bijzonder voor het oog (brandglaswerking). Een enkele puls van een hoogvermogen laser kan al tot 50% blindheid leiden!

Lasers werken vaak met hoge spanningen, waardoor als neveneffect parasitaire röntgenstraling en het gevaar van elektrocutie kan optreden.

Bij de bescherming tegen de gevaren van lasers is een vergelijking met vuurwapens te maken. In beide gevallen is er deskundig personeel nodig om de onveilige afstanden en -zones te bepalen (onveilige afstanden van 20 km kunnen voorkomen!).

Zonder direct een laserveiligheidsdeskundige te zijn, kunt u zich al goed beschermen door de volgende regels in acht te nemen:

- Houdt u niet onnodig op waar met lasers wordt gewerkt. Let op het waarschuwingsbord (zwart op gele ondergrond), zoals dat in figuur 20 is weergegeven.



Figuur 20. het waarschuwingssteken voor laserstraling

- Gebruik de laser alleen, indien u van te voren over de veiligheidsaspecten en beschermingsmiddelen bent geïnstrueerd.
- Zorg voor adequate inrichting van de onderhoudsruimte.
- Kijk **NOOIT** direct in een laserbundel.
- Vermijdt het kijken naar reflecties van laserbundels. Een oppervlak dat zichtbaar licht slecht reflecteert, kan voor infrarood toch als spiegel werken.

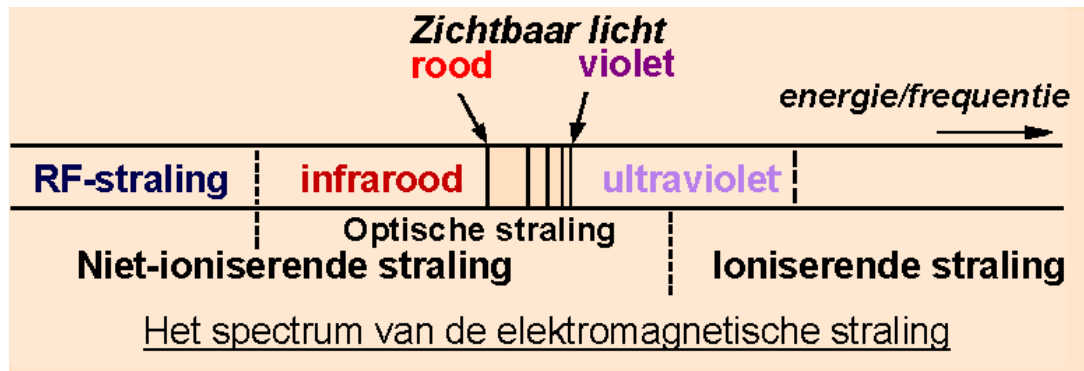
- Bij gebruik van optische versterkers, bijvoorbeeld een verrekijker (50x7), wordt de laser veiligheidsafstand vergroot met de versterkingsfactor van de versterker.
- Een laserstraal moet worden gestopt door Niet-spiegelend en brandwerend materiaal. Waar mogelijk dient de bundel door ondoorzichtige pijpen te worden geleid.
- Wees voorzichtig met lasers waarvan de bundel niet is te zien (infrarood of ultraviolet), omdat hierbij de schade aan uw ogen niet direct is te merken.
- Plaats geen delen van het lichaam bewust in de bundel zelfs al zijn deze voorzien van beschermende kleding; er kan toch schade ontstaan.
- Bij hoogvermogen lasers worden vaak brillen voorgeschreven, die alleen ondoorzichtig zijn voor het laserlicht van dat type. In het geval dat de laser werkt in het gebied van het zichtbare licht, ziet men de omgeving nog wel maar de bundel zelf niet meer.
- Gebruik daarom alleen een laserbril die voor de betrokken laser is gemaakt. Andere frequenties en beschadigingen (krassen en dergelijke) maken de bril waardeloos.
- Help voorkomen, of rapporteer zonodig dat er met een laser wordt gespeeld (bijvoorbeeld door het richten op nietsvermoedende personen), mede omdat bij moedwillige ongelukken vorderingen ten laste van het Ministerie van Defensie worden gebracht.
- Bent u ondanks vele voorzorgen door een laserbundel in het oog getroffen, raadpleeg dan direct de Geneeskundige Dienst (GGD) en/of de Arbeidsinspectie en vertel dat het om een laserongeval gaat!

0-0-0

HOOFDSTUK 4. RADIOFREQUENTE STRALING

4.1 INLEIDING

De voortschrijdende ontwikkelingen in de techniek maken het mogelijk een steeds groter deel van het Elektromagnetisch spectrum in gebruik te nemen.



Figuur 21.

Onder **radiofrequente (RF-) straling** wordt verstaan het gebied van de elektromagnetische straling met frequenties tussen 10 kHz en 300 GHz. Ook hierin zijn weer onderverdelingen te maken, zoals LG, MG, KG, VHF, UHF, SHF. Het gebruik van radiofrequente straling kan een risico geven. Hierbij worden de volgende toepassingen onderscheiden:

Verwarmingsdoeleinden. Hierbij wordt de toegevoerde energie zoveel mogelijk in warmte omgezet:

- medische toepassingen (diathermie);
- verwarming van voedsel (magnetronoven);
- industriële verhittingsprocessen (drukinkt, metaal en plastics).

Informatieoverdracht. De RF-straling wordt al dan niet sterk gebundeld in de ruimte gezonden:

- radarinstallaties (al sinds WO II);
- communicatiesystemen (radioamateurs, mobil telefoons en portofoons);
- straalverbindingen, GSM en omroep.

4.2 NEVENEFFECTEN

Bij bovengenoemde toepassingen dient men rekening te houden met het optreden van ongewenste neveneffecten. Deze neveneffecten kunnen ontstaan door:

Directe blootstelling aan:

- hoofdbundel, zijlussen (spill-over, side-lobes);
- hoogspanning (brandwonden);
- bestraling door parasitaire röntgenstraling.

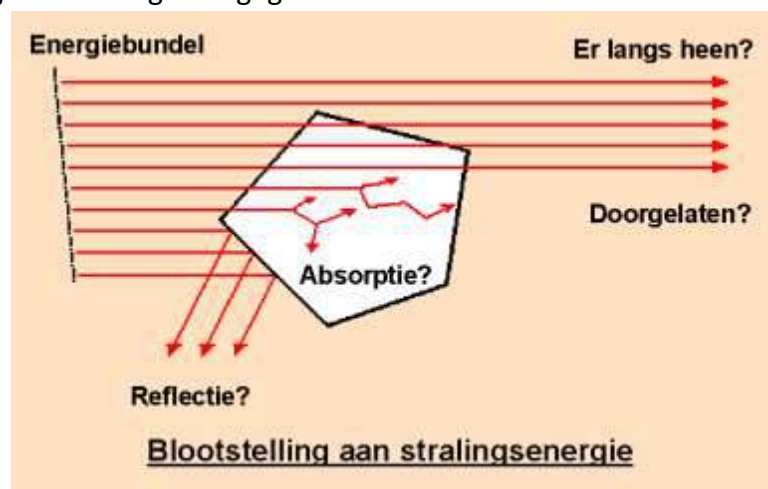
Indirecte blootstelling door effecten van inductie van spanning en stroom in geleiders:

- pacemaker (EMC, LFD en RFI)
- botpennen, gebit, ringen
- brand en explosie

De uitleg beperkt zich tot de biologische effecten van “directe blootstelling” aan radiofrequente straling.

4.3 RISICO's

Ook bij RF-straling kan men stellen dat het risico zit in de geabsorbeerde hoeveelheid van de opvallende energie. In onderstaande figuur 22 is de mogelijke verdeling weergegeven.



Figuur 22.

De hamvraag blijft: "Hoeveel energie wordt bij blootstelling geabsorbeerd?"

4.4 FREQUENTIEAFHANKELIJKHEID

De geabsorbeerde hoeveelheid energie is bij RF-straling sterk afhankelijk van de frequentie. Dit komt mede door het verschil in eigenschappen van biologische weefsels, onder invloed van RF-straling en de afstand waarover absorptie plaatsvindt. Deze afstand, de zogenaamde *indringdiepte*, kan een waarde hebben tussen het 0,1 en 0,01-ste deel van de golflengte van de opvallende RF-straling.

Bij frequenties boven 2000 MHz - golflengte kleiner dan 15 cm - is de indringdiepte klein, waardoor absorptie hoofdzakelijk plaatsvindt in de buitenste weefsellagen van het lichaam. Bij lagere frequenties vindt de absorptie plaats over grotere afstanden, zodat dieper liggende weefsels en organen schade kunnen ondervinden.

4.5 BIOLOGISCHE EFFECTEN VAN BLOOTSTELLING

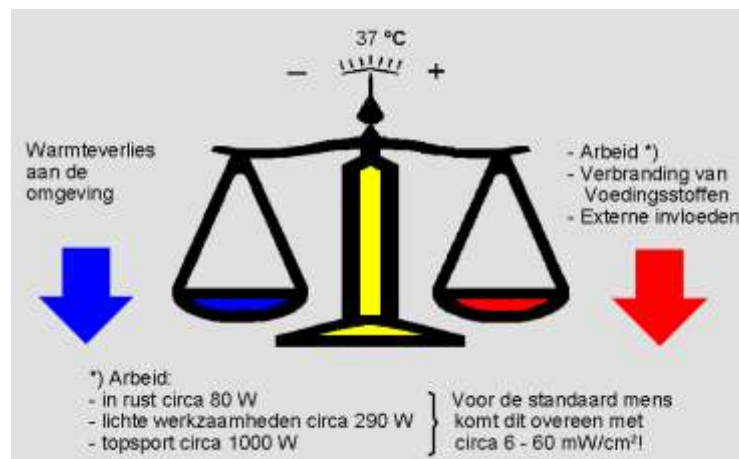
Als gevolg van blootstelling aan RF-straling kunnen de volgende effecten optreden:

- Het "opwarming- of thermisch effect".
- Andere biologische effecten, zoals in laboratoriumonderzoek is vastgesteld:
 - Resonantieverschijnselen
 - Bloedafwijkingen
 - Verstoring EEG en ECG
 - ChromosoomafwijkingenDeze effecten waren géén reden voor bijstelling van de normwaarde en zijn nog steeds gebaseerd op het "thermische effect".
- Subjectieve bevindingen.

4.6 HET THERMISCH OF OPWARMINGSEFFECT

Bij het opwarmingseffect wordt het menselijk lichaam opgewarmd doordat de geabsorbeerde EM-straling in warmte wordt omgezet. Niet alle hierdoor veroorzaakte warmte wordt als schadelijk ervaren. Bij diathermie maakt men om genezingsprocessen te bevorderen hiervan reeds lange tijd een dankbaar gebruik.

De lichaamstemperatuur schommelt rond de 37° Celsius en wordt enerzijds bepaald door de eigen warmteproductie ten gevolge van de verbranding van voedingsstoffen en gedane arbeid, anderzijds door warmteverlies aan de omgeving. Bepalend voor de schadelijke gevolgen is de mate waarin het temperatuursevenwicht rond de 37° Celsius wordt verstoord door de extra toegevoerde warmte. Bij verhoging van temperatuur tracht het lichaam het teveel aan warmte door natuurlijke koeling af te voeren (zie [figuur 23](#)).



Figuur 23. De natuurlijke warmtebalans

4.7 NATUURLIJKE KOELING

De dieper in het lichaam aanwezige organen en weefsels zijn voor koeling uitsluitend aangewezen op het transport van warmte door het bloed. De koeling kan worden vergroot door vaatverwijding, waardoor een grotere hoeveelheid bloed de organen en weefsels koelt, totdat het evenwicht weer is bereikt. Het bloed transporteert de warmte naar en verdeelt die over een groter oppervlak van het lichaam.

Het is duidelijk dat (inwendige) organen, waarin de doorbloeding - en dus de koeling - minder is, zoals de ooglen en vetweefsel en de testes (zaadballen), buitengewoon gevoelig zijn voor een te hoge stijging in temperatuur. Voor de huid en de weefsels dicht onder het oppervlak van het lichaam spelen de volgende factoren een grote rol bij de mate van koeling:

- luchtstroming langs de huid,
- mate van transpireren,
- luchtvochtigheid en temperatuur,
- soort kleding waarmee de huid is bedekt.

Door deze factoren is het mogelijk dat de voor het organisme kritische temperatuur **NIET** of pas na zeer lange tijd van blootstelling wordt bereikt.

4.8 HET WAARNEMEN VAN OPWARMINGSEFFECTEN

De opwarming door RF-straling kan onder bepaalde omstandigheden zintuiglijk worden opgemerkt. In de huid geabsorbeerde warmte kan, doordat daar pijn- en warmtesensoren aanwezig zijn, als warmtesensatie worden waargenomen. Blootstelling aan RF-straling gedurende kortere tijden en of met lagere intensiteit kan als "aangename warmte" of als "behaaglijk" worden ervaren. Dit is te vergelijken met zonnebaden, zie figuur 24, waarbij we aan het gehele EM-spectrum van de zon bloot staan!

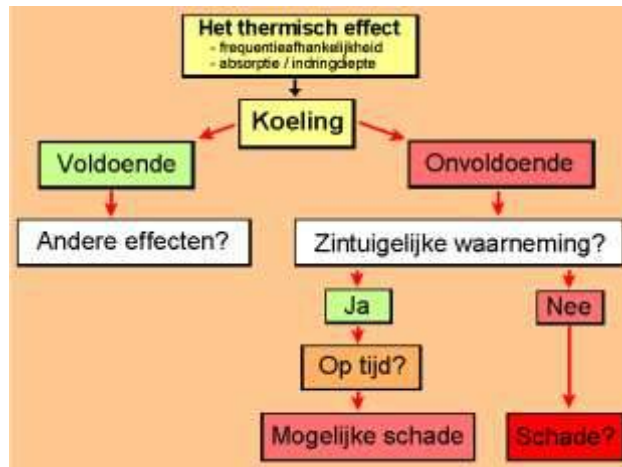


Figuur 24. EM-straling van de zon

Bij plotseling optredende warmtesensaties dient men na te gaan of dit mogelijk een gevolg is van blootstelling aan EM-straling.

In dieperliggende weefsels kan, indien de door absorptie van EM-straling veroorzaakte warmte niet voldoende wordt afgevoerd, dit aanleiding geven tot gekookte organen of delen ervan.

Helaas is dit pas vast te stellen nadat gebleken is dat deze organen slecht of niet meer functioneren. Pijn wordt daarbij veelal niet gevoeld, daar in de dieperliggende weefsels weinig of geen warmte- en pijnsensoren aanwezig zijn. De intensiteit van de straling kan dus **NIET DIRECT** worden waargenomen. In figuur 25 is het een en ander schematisch weergegeven:



Figuur 25. Het thermisch effect

4.9 ANDERE BIOLOGISCHE EFFECTEN EN SUBJECTIEVE BEVINDINGEN

Andere biologische effecten. Uit vele onderzoeken, in laboratoriumopstelling, is gebleken dat andere biologische effecten meestal pas bij langdurige en regelmatige blootstelling aan EM-straling kunnen optreden.

Subjectieve bevindingen. De volgende subjectieve bevindingen worden vaak ten onrechte aan blootstelling van EM-straling toegeschreven:

- vermoeidheid
- slapeloosheid
- hoofdpijn
- gebrek aan eetlust
- slecht concentratievermogen
- geheugenstoornis
- angst
- verminderde potentie

Deze effecten kunnen zelfs bij langdurige blootstelling van de normwaarde gedurende uren per dag en dagen achter elkaar niet worden aangetoond.

4.10 INDIRECTE EFFECTEN

De risico's van indirecte effecten kunnen zelfs catastrofaal zijn. De effecten berusten meestal op het feit dat metalen delen als een antenne werken. De hierdoor geïnduceerde spanningen kunnen weer andere, zogenaamde vervolgeffecten, veroorzaken. Zo kan met name vonkoverslag weer aanleiding zijn voor explosies en of brand. Ook kunnen storingen optreden in gehoorapparaten, pacemakers en andere elektrische- en elektronische systemen.

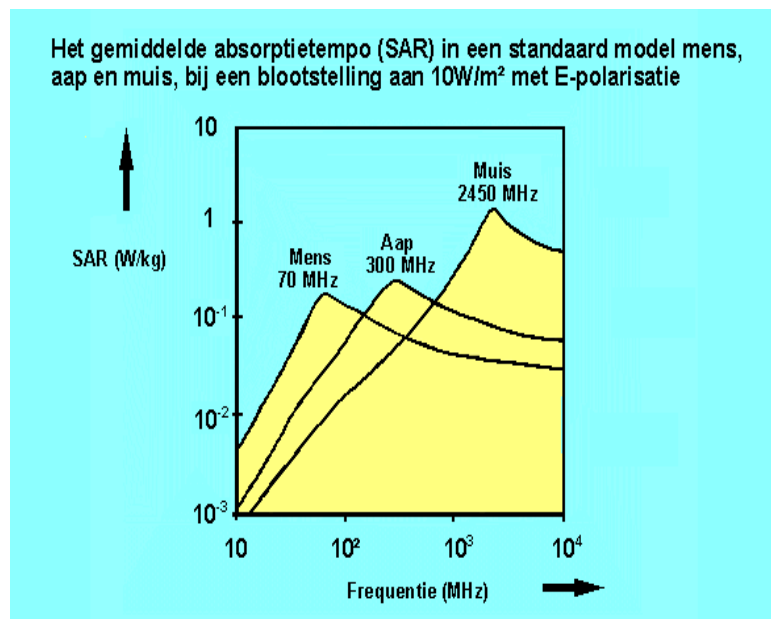
Bij de opwekking en het gebruik van radiofrequente straling komen hoge spanningen voor. Het aanraken van delen die deze spanning voeren is veelal dodelijk. Tevens kan in voedingskasten, bij zendermodulatoren en eindtrappen (denk aan thyatronen, klystrons, magnetronen en TWT's) parasitaire röntgenstraling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

4.11 SPECIFIC ABSORPTION RATE

Basisbeperking. De Specific Absorption Rate, kortweg **SAR** genaamd, is ingevoerd om biologische effecten te voorspellen. Deze grootte geeft de tijd afhankelijke toename van geabsorbeerde energie per massa-eenheid en wordt uitgedrukt in Watt per kg (W/kg). Hierbij wordt uitgegaan van de hoeveelheid hoogfrequent energie die nodig is om het menselijk lichaam **ten hoogste 1° Celsius** in temperatuur te laten stijgen.

Dit is een ongevaarlijk geachte temperatuursverhoging welke het lichaam nog heel goed op een natuurlijke wijze kan verwerken (zie ook figuur 23). Om deze temperatuurverhoging te bereiken is gemiddeld een vermogen nodig van **4 W/kg, welke de basisbeperking wordt genoemd**.

Het probleem is hierbij hoe de relaties te leggen tussen waargenomen biologische effecten, door externe en interne radiofrequente velden en de extrapolatie van de resultaten van dierexperimenten naar de mens (zie ook onderstaande figuur 26)



Figuur 26.

Bij de SAR domineert de magnetisch geïnduceerde component van het **Radio Frequentie(RF)-veld** in het frequentiegebied van 1 tot 20 MHz. In het gebied van 20 tot 200 MHz neemt zowel de gemiddelde als de maximale SAR proportioneel toe met de frequentie. Boven 200 MHz neemt de maximale SAR toe - in een steeds dunner wordende laag weefsel - echter de gemiddelde SAR blijft constant.

De grootte SAR is niet direct te meten, maar moet altijd uit andere grootheden worden berekend. Tot 10 MHz wordt de stroomdichtheid (mA/m^2) en de magnetische flux B (μT) gemeten, van 10 MHz tot 10 GHz de E- en H-veldsterkte (E/m en A/m) en vanaf 10 GHz de vermogensdichtheid (W/m^2).

Voor de beroepsbevolking wordt aangenomen dat de betrokkenen weten wat ze aan het doen zijn en hierover voorlichting en of instructie hebben gehad. De toelaatbare maximum waarden voor deze groep, die dus werkt in een gecontroleerde omgeving, liggen een **factor 10** onder deze SAR-waarde van 4 W/kg en bedraagt **0,4 W/kg** (zie onderstaande tabel 4.1).

Tabel 4.1. Basisbeperking voor de beroeps bevolking (artikel 3, lid 1, EU2004/L184/80).

Frequentiegebied	Stroom-dichtheid (f in Hz) mA/m ²	SAR in W/kg			Vermogens-dichtheid W/m ²
		Lichaam	Hoofd en Romp	Extremiteiten	
Tot 1 Hz	40	-	-	-	-
1 – 4 Hz	40/f	-	-	-	-
4 Hz – 1 kHz	10	-	-	-	-
1 kHz – 100 kHz	f/100	-	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	f/100	0,4	10	20	-
10 MHz – 10 GHz	-	0,4	10	20	-
10 GHz – 300 GHz	-	-	-	-	50

Voor deze werkers geldt een SAR-waarde welke wordt gemiddeld over enige periode van 6 minuten. Een lokale blootstelling (hot-spot) mag geen hogere SAR-waarde geven dan 8,0 W/kg gemiddeld over 10 gram weefsel. De limietwaarden van de SAR afgeleide grootheden (actiewaarden) worden globaal per frequentiegebied in tabel 4.2 gepresenteerd.

Tabel 4.2. Actiewaarden (ongestoorde middelbare waarden) (artikel 3, lid 2, EU2004/L184/80).

Frequentiegebied	Elektrische veldsterkte E (V/m)	Magnetische veldsterkte H (A/m)	Magnetische Fluxdichtheid B (μT)	Pd ^{*)} Seq (W/m ²)	Contact stroom I _c (mA)	Extremiteiten stroom I _L (mA)
0-1Hz	-	1,63 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵	-	1,0	-
1-8 Hz	20 000	1,63 x 10 ⁵ /f ²	2 x 10 ⁵ /f ²	-	1,0	-
8-25 Hz	20 000	2 x 10 ⁴ /f	2,5 x 10 ⁴ /f	-	1,0	-
0,025-0,82 kHz	500/f	20/f	25/f	-	1,0	-
0,82-2,5 kHz	610	24,4	30,7	-	1,0	-
2,5-65 kHz	610	24,4	30,7	-	0,4 f	-
65-100 kHz	610	1600/f	2000/f	-	0,4 f	-
0,1-1 MHz	610	1,6/f	2/f	-	40	-
1-10 MHz	610/f	1,6/f	20/f	-	40	-
10-110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110-400 MHz	61	0,16	0,2	10	-	-
400-2 000 MHz	3 f ^{3/2}	0,008 f ^{3/2}	0,01 f ^{3/2}	f/40	-	-
2-300 GHz	137	0,36	0,45	50	-	-

^{*)} Pd = Equivalente vermogensdichtheid vlakke golf.

De algemene bevolking (Publiek). Hieronder valt iedereen die niet tot de beroepsbevolking wordt gerekend, zoals ook gebruikers van de mobiele telefoons en wordt rekening gehouden met ouderen, zieken en kinderen. Voor deze groep gelden de maximum toelaatbare waarden van de basisbeperking voor een "uncontrolled environment". Het maximum ligt nu een **factor 50** onder de SAR-waarde van 4 W/kg en bedraagt **0,08 W/kg**. (zie Tabel 4.3).

Tabel 4.3. Basisbeperking voor de algemene bevolking

Frequentiegebied	Stroom- dichtheid (f in Hz) mA/m ²	SAR in W/kg			Vermogens- dichtheid W/m ²
		Lichaam	Hoofd en Romp	Extremiteten	
300 Hz – 1 kHz	2	-	-	-	-
1 kHz – 100 kHz	f/500	-	-	-	-
100 kHz – 10 MHz	f/500	0,08	2	4	-
10 MHz – 10 GHz	-	0,08	2	4	-
10 GHz – 300 GHz	-	-	-	-	10

Ook voor de algemene bevolking mag de maximum waarde voor blootstelling aan RF-straling over 6 minuten worden gemiddeld. De limietwaarden van de SAR afgeleide grootheden (actiewaarden) worden globaal per frequentiegebied in tabel 4.4 gepresenteerd.

Frequentiegebied	E-veldsterkte (V/m)	H-veldsterkte (A/m)	B-veld (μT)	Equivalente vermogensdichtheid voor vlakke golven S_{eq} (W/m ²)
0-1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	—
1-8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8-25 Hz	10 000	$4 000/f$	$5 000/f$	—
0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	—
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	—
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400-2 000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Tabel 4.4. Afgeleide limietwaarden algemene bevolking.

4.12 NORMEN

Europese aanbevelingen over blootstellingslimieten. De International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), een onafhankelijke organisatie van wetenschappers, heeft in 1998 na analyse van alle wetenschappelijke publicaties op dit gebied aanbevelingen opgesteld voor veilig verblijf in elektromagnetische velden. In 1999 heeft de Raad van Ministers van de EU het gedeelte voor de algemene bevolking overgenomen als aanbeveling aan de lidstaten.

Nederland hanteert, naast het advies van de Gezondheid Raad (GR nummer 2009/02 van 19 maart 2009), anno 2013 de Europese richtlijnen 2004/40/EG en EU2004/L184/80 voor werknemers en 1999/519/EG voor leden van de bevolking. Deze richtlijnen vormen sinds 2012 de bron waarop de Arbeidsinspectie handhaaft en zijn ook opgenomen in de Telecommunicatiewet.

4.13 VEILIG WERKEN MET RF-STRALING UITZENDENDE APPARATUUR

De grens van het gebied waarbinnen de normen overschreden kunnen worden wordt - **HET POTENTIEEL GEVAARLIJKE GEBIED** – genoemd en wordt met borden volgens figuur 26 aangegeven. Buiten dit gebied zal de te verwachten maximale gemiddelde vermogensdichtheid de norm niet meer overschrijden.



Figuur 26. waarschuwingstekens voor radiofrequente straling

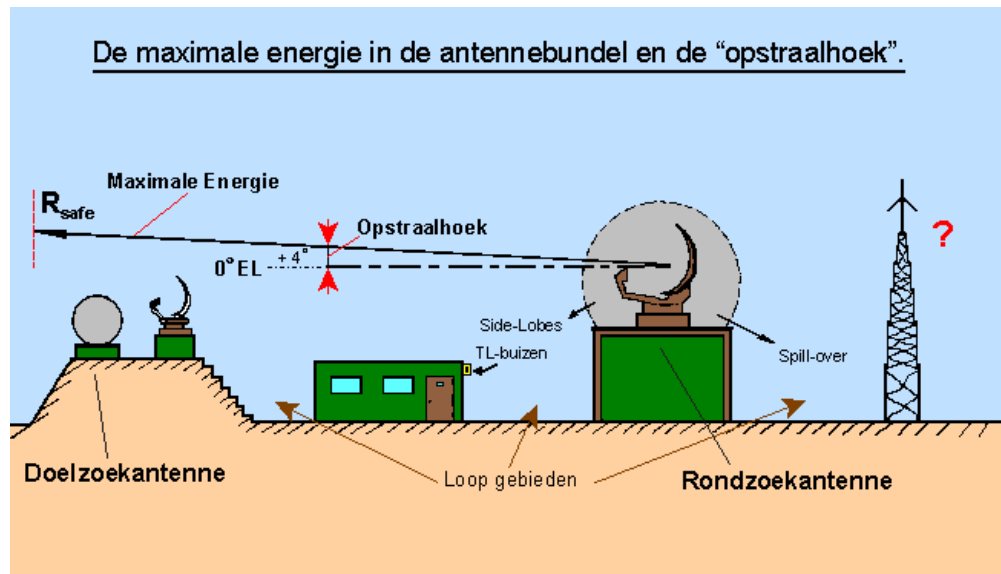
Potentieel gevaarlijke gebieden mogen uitsluitend na het nemen van maatregelen worden betreden. Bedenk dat de veilige afstanden, zoals die in de handboeken van de afzonderlijke installaties worden genoemd, niet altijd zijn gebaseerd op dezelfde normen!

Wanneer meerdere zend- of radarinstallaties in bij elkaar zijn opgesteld, zal een aanvullend veiligheidsonderzoek nodig zijn, omdat de vermogensdichtheid in de nabijheid van een installatie beïnvloed kan worden door de omgeving. In deze gevallen kunnen alleen metingen uitkomst brengen, ter vaststelling van de grenzen van het veilig te betreden gebied.



Figuur 27. Veldsterktemetingen

Het gebruik van een bepaalde zend- of radarinstallatie en spelen de hoogte waarop de antennes zijn geplaatst, een belangrijke rol bij het bepalen van het gevaar hiervan voor de omgeving (zie figuur 28).

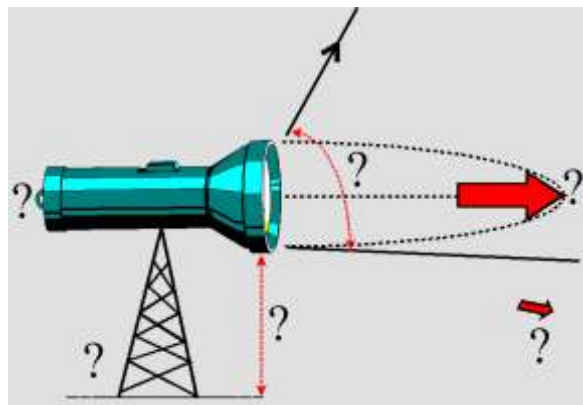


Figuur 28. De maximale energie in de antennebundel en de opstraalhoek.

Indien in het zogenaamde nabije veld van een antenne reflecties zijn te verwachten, dient het potentieel gevaarlijke gebied te worden vergroot.

Het is zinvol om het personeel te instrueren over de gevaren van RF-straling, zoals de mogelijke gevolgen van onnodige blootstelling en daarbij ter plaatse aan te geven hoe directe blootstelling is te voorkomen. De volgende punten kunnen daarbij een handleiding vormen:

- Kijk **NOOIT** van nabij in openingen van golfpijpen terwijl signaalgeneratoren of de zenders in bedrijf zijn.
- Blijf zover mogelijk weg van de hartlijn (met maximale energie) van de hoofdbundel aan de voorzijde van een antenne (Let Op: Stel daarom de antennebundel met radiofrequente energie voor als een lichtbundel, zie figuur 29).



Figuur 29. RF-energie, voorgesteld als een lichtbundel

- Stilstaande antennes dienen een zodanige elevatie en/of richting te hebben, dat de antennebundel altijd in de vrije ruimte is gericht en geen andere radarantenne, personen en of gebouwen door de bundel worden "belicht".
- Beschouw, indien bij een volgradarantenne de veilig aan te houden afstand (op de hartlijn van de hoofdbundel) groter is dan de afstand tot een "beschenen" object, het verblijf bij dit object als gevaarlijk!
- Vermijdt het doorkruisen van onveilige gebieden en als zodanig aangegeven zones.
- Werk bij onderhoud of instructie zoveel mogelijk met een kunstbelasting of met een gereduceerd zendvermogen.
- Neem altijd voorzorgsmaatregelen bij het gebruik van (radar)antenne installaties in besloten ruimten, zodanig dat de normen ook hier niet kunnen worden overschreden, door bijvoorbeeld de (radar)antennebundel af te schermen met radiofrequent- energie absorberend materiaal.
- Verzuim **NOOIT** een situatie te melden, waarvan u vindt dat deze onveilig of voor verbetering vatbaar is.

4.15 OVERBESTRALING (ONGEVAL)

In geval van het vermoeden van een overbestraling (ongeval) dient de betrokkene zich te wenden tot de Arbeids Inspectie en/of GGD en moet er een ongevalrapport worden opgemaakt.

0-0-0

PA0WJG; 6^{de} herziening, zomer 2013

Aanvulling over wetgeving ioniserende straling d.d. 6 februari 2018