

RIJKSINSTITUUT VOOR
VOLKSGEZONDHEID EN MILIEUHYGIENE
BILTHOVEN

Rapport nr. 610059002

**Niet-ioniserende straling in de gezondheidszorg
en effecten op de volksgezondheid**

E.J.J. Kirchner, G.J. Eggink en M.J.M. Pruppers

juli 1995

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht en ten laste van het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, Directoraat-Generaal Volksgezondheid, Directie PAO en is beschreven onder projectnummer 610059.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven
tel. 030-749111, fax 030-742971

VERZENDLIJST

1-30	Directeur Directie Preventie, Algemene gezondheidszorg en Opleidingen
31	Directeur Generaal Volksgezondheid
32	Depot van Nederlandse publikaties en Nederlandse bibliografie
33	Directie RIVM
34	Directeur Volksgezondheid RIVM
35	Hoofd Voorlichting & Public Relations RIVM
36	Directeur Sector Stoffen en Risico's
37	Hoofd van het Laboratorium voor Geneesmiddelen en Medische Hulpmiddelen
38	Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
39-41	Auteurs
42	Bibliotheek LSO
43-44	Bibliotheek RIVM
45	Bureau rapporten- en projectenregistratie
46-65	Reserve-exemplaren LSO
66-80	Reserve-exemplaren

INHOUDSOPGAVE

VERZENDLIJST	2	
INHOUDSOPGAVE	3	
ABSTRACT	5	
SAMENVATTING	7	
1	INLEIDING	9
1.1	Aanleiding en doelstelling	9
1.2	Indeling en afbakening van het aandachtsgebied	10
1.3	Verschillen en overeenkomsten met ioniserende straling	11
1.4	Begrippen, grootheden en eenheden	12
1.5	Leeswijzer	13
2	ULTRAVIOLETTE STRALING	14
2.1	Mogelijke schadelijke effecten	14
2.2	UV-straling van de zon	19
2.3	Bronnen in medische toepassingen	20
2.4	Bronnen uit andere toepassingen	21
2.5	Stralenbescherming en beleid	23
3	ZICHTBAAR LICHT EN INFRARODE STRALING	27
3.1	Schadelijke effecten	27
3.2	Bronnen in medische toepassingen	28
3.3	Overige bronnen	30
3.4	Stralenbescherming en beleid	31
4	RADIOFREQUENTE STRALING EN MICROGOLVEN	33
4.1	Mogelijke schadelijke effecten	33
4.2	Bronnen in medische toepassingen	35
4.3	Overige bronnen	36
4.4	Stralenbescherming en beleid	39
5	EXTREEM LAAGFREQUENTE ELEKTRISCHE EN MAGNETISCHE VELDEN	41
5.1	Mogelijke schadelijke effecten	41
5.2	Bronnen	43
5.3	Stralenbescherming en beleid	46

6	ULTRA- EN INFRAGELUID	51
6.1	Mogelijke schadelijke effecten	51
6.2	Bronnen in medische toepassingen	52
6.3	Overige bronnen	56
6.4	Stralenbescherming en beleid	56
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	59
	REFERENTIES	68

ABSTRACT

This report presents an overview of the use of non-ionising radiation in health services and the effects on patients and on public health in general. It points out the *controllable* problems where (policy-)measures are possible.

In health services the use of non-ionising radiation for therapeutic and diagnostic means increases.

Ultraviolet radiation is applied for the treatment of specific skin diseases. The doses used are sufficiently high that it can cause skin cancer.

The most common use of light and infrared radiation is the use of lasers. Although there are important risks involved, the number of injuries is limited because safety regulations and protocols are available and well used. However, the use of new wavelengths and new applications makes continuous attention and control necessary. The translation of exposure limits into hazard distances or demands to protective equipment (clothing, goggles, etc) is still missing.

Radiofrequent radiation is used for local heating of tissue (e.g. in physiotherapy), and in Magnetic Resonance Imaging (MRI). In combination with ELF, MRI uses RF radiation as an imaging technique for diagnostic purposes (detection of tumours, heart- and vascular diseases). In this MRI can replace partly radiodiagnostic CT-scans. International recommendations concerning safety of patients in this field are available. In the Netherlands these are still lacking. To what level the protocols used in Dutch hospitals correspond to the international recommendations is unknown. There are at least protocols excluding patients with metal implants from MRI-diagnostic research, because negative effects can occur resulting from the interaction between the strong magnetic field or RF and the implant.

Ultrasound is used in physiotherapy, surgery and hyperthermia to heat tissue locally, or destroy specific tissues by overheating. In lithotripsy (of vesical and renal calculi) this technique is used to focus ultrasound and produce a shockwave that pulverizes the calculus. In diagnostic imaging ultrasound scans are used for prenatal controls and the detection of pelvic abscesses. The effectiveness of prenatal ultrasound diagnosis is still under discussion, and routine controls should not be promoted, unless a clear diagnostic profit is expected. A sound evaluation of the pro's and contra's should be carried out before routine controls with ultrasound are implemented.

Also in non-medical environments people can be exposed to non-ionising radiation. Solar UV radiation can lead to pigmentation, but also to skin cancer induction. Protection against overexposure (esp. around noon during summer) can effectively contribute to a significant reduction of the total dose. Also information and education about the negative effects can lead to adaptation of behaviour and a reduction of skin cancer incidence on the long term. The use of solarium or other tanning equipment also increases the risk of skin cancer and offers hardly any protection against erythema (esp. when the source has no

UV-B component).

Exposure to laser radiation (e.g. in disco's) can lead to eyedamage. Further research should indicate if surveillance or regulations for the use of these high power lasers are necessary. In the Netherlands technical (PTT) standards are available for exposure from RF-emitters. In general these standards also protect against health hazards. Exposure to RF radiation from hand held telephones and theft-prevention equipment can possible interfere with medical implants like pacemakers or insulin pumps. The new GSM-communication network forms a special problem because the connected phones also emit (on another frequency) when they are in stand-by mode. Medical equipment can be sensitive to these frequencies.

In spite of frequently returning newspaper articles claiming negative effects, radio- and tv-broadcasting emitters in the Netherlands do not exceed standards and do not lead to acute health hazards. Nevertheless, parts of the population fear for stochastic effects from RF as well as from ELF.

Also on the exposure to ELF and static magnetic and electric field from power lines and electric equipment concern and fear among parts of the population exist. Exposure to radiation from powerlines in the Netherlands is below the limits, but for certain domestic apparatus they can be exceeded. Specific information can create clarity on the actual exposure and contribute to reducing the concern among people.

SAMENVATTING

Deze rapportage biedt een overzicht van de toepassingen van niet-ioniserende straling in de gezondheidszorg (in enge zin) en in het dagelijks leven en gaat in op de daaruit voortvloeiende effecten op de mens en op de volksgezondheid (in brede zin). Deze probleemanalyse signaleert de *beheersbare* problemen waarvoor (beleids-)maatregelen mogelijk zijn.

In de gezondheidszorg wordt niet-ioniserende straling in toenemende mate gebruikt voor zowel therapeutische als diagnostische doeleinden.

UV straling wordt onder andere toegepast bij de behandeling van bepaalde huidziekten. Deze toepassing kan op termijn leiden tot huidkanker.

De meest bekende therapeutische toepassing van licht en infrarood straling is die met behulp van lasers. Hoewel hier de nodige risico's aan verbonden zijn, blijft het aantal ongevallen beperkt, voornamelijk omdat de veiligheidsvoorschriften en protocollen in de meeste gevallen gevolgd worden. Gebruik van nieuwe golflengtes en nieuwe toepassingen houdt echter in dat op dit gebied continue aandacht en controle noodzakelijk blijft. Ook een adequate vertaling van blootstellingslimieten naar veilige afstanden en eisen aan beschermingsmiddelen ontbreekt in veel gevallen nog.

Radiofrequente straling (RF) wordt onder andere gebruikt voor de lokale verwarming van weefsel (bv in de fysiotherapie), en bij toepassing van magnetische resonantie afbeeldingstechniek (MRI). Hierbij wordt RF gecombineerd met extreem laagfrequente straling (ELF) voor diagnostisch onderzoek (bv. opsporing van tumoren, of hart- en bloedvatenonderzoek). MRI-onderzoek kan daarbij deels radiodiagnostisch onderzoek (CT-scans) vervangen. In internationale kaders zijn voorschriften of aanbevelingen uitgebracht inzake de veiligheid van patiënten. In Nederland is dat op nationale schaal nog niet het geval. In hoeverre de praktijk in Nederland met de buitenlandse aanbevelingen overeenstemt is niet bekend. Wel zijn er gebruiksregels en protocollen die bijvoorbeeld patiënten met metalen implantaten uitsluiten van onderzoek in verband met mogelijke schadelijke effecten veroorzaakt door sterke magneetvelden of RF straling.

Ultrageluid wordt in de fysiotherapie, chirurgie en hyperthermie toegepast om weefsel lokaal te verwarmen, of zover te verhitten dat dit wordt vernietigd. Ook de nier- en blaassteenvergruizer maakt van het principe van focuseerbaar ultrageluid gebruik, waarbij een schokgolf wordt geproduceerd die de niersteen verpulvert. Als diagnostische methode wordt echoscopie o.a. gebruikt bij het uitvoeren van zwangerschapscontroles, en het opsporen van abcessen in de buikholte. De effectiviteit van met name prenataal echoscopisch onderzoek is nog niet zodanig dat dit uitvoerig routinematig onderzoek rechtvaardigt, en een grondige evaluatie hiernaar is wenselijk, alvorens hiertoe over te gaan.

Ook buiten de medische toepassingen worden mensen aan niet-ioniserende straling blootgesteld.

UV straling uit zonlicht leidt tot bruining, maar ook tot toename van het huidkankerrisico. Bescherming tegen overmatige blootstelling (vooral rond het middaguur in de zomermaanden) draagt bij aan de reductie van blootstelling. Voorlichting op dit gebied kan leiden tot het terugdringen van de incidentie van huidkanker.

Halogeenlampen kunnen dermate hoge intensiteiten UV straling uitzenden dat afscherming aan de bron (b.v. m.b.v. een glasfilter) gewenst is. Het gebruik van solararia en andere bruiningsapparatuur verhoogt het huidkankerrisico, en biedt (zeker wanneer geen UV-B wordt gebruikt) nauwelijks bescherming tegen verbranding door de zon.

Blootstelling aan laserstraling (bijvoorbeeld in discotheken) kan leiden tot oogschade. Nader onderzoek zou kunnen uitwijzen of toezicht op of regelgeving betreffende het gebruik van dergelijke apparatuur wenselijk is.

In Nederland bestaan technische (PTT)-normen voor blootstelling aan radiofrequente straling. Deze bieden in het algemeen ook voldoende bescherming tegen gezondheidsschade. Blootstelling aan radiofrequente straling afkomstig van bijvoorbeeld draagbare telefoons en diefstalbeveiliging zou in een aantal gevallen kunnen leiden tot interferentie met medische apparatuur of met elektronische implantaten bij personen. Het GSM-net vormt hierbij een speciaal probleem omdat de aangesloten telefoons ook zenden wanneer er niet mee gebeld wordt, en wel op een andere frequentie. Ook medische apparatuur kan gevoelig zijn voor deze frequenties.

Ondanks steeds terugkerende berichten in de media leiden radio- en tv-zenders in Nederland in het algemeen niet tot overschrijding van de daartoe gestelde normen. Er zijn daarom geen directe gezondheidsrisico's te verwachten. Wel heerst er, evenals voor ELF vrees voor niet-acute effecten.

Ook over blootstelling aan ELF straling en elektrische en magnetische velden afkomstig van het elektriciteitsnet (hoogspanningslijnen, elektrische apparatuur) bestaat de nodige onrust en angst bij sommige delen van de bevolking. Blootstelling aan de straling van het hoogspanningsnet is in Nederland gebonden aan een norm, maar bij bepaalde (huishoudelijke) apparaten kan deze overschreden worden. Gerichte voorlichting kan bijdragen aan het verminderen van de kans op overschrijden van de norm en van onrust onder (delen van) de bevolking.

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding en doelstelling

Door blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische straling kan schade aan de gezondheid ontstaan. De overheid heeft de taak om de bevolking tegen die schadelijke effecten te beschermen. Voor blootstelling aan ioniserende straling is er reeds een omvangrijke wetgeving [BE93]. In deze wetgeving is sprake van een taakverdeling voor de verschillende ministeries. Het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport draagt zorg voor de bescherming van personen die met behulp van ioniserende straling worden onderzocht of behandeld ('patiënten'), het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid van personen die beroepsmatig aan ioniserende straling worden blootgesteld (bijvoorbeeld artsen en radiologische werkers), en het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu van de 'algemene bevolking' tegen de effecten van ioniserende straling.

Op nieuwe ontwikkelingen op het gebied van niet-ioniserende straling wordt veelal *ad hoc* gereageerd. Bij het Ministerie van VWS is nu de vraag gerezen of het Ministerie beleid moet gaan voeren op dit gebied. De doelstelling van het voorliggende rapport is een antwoord te formuleren op de vraag: 'Is er een probleem op het gebied van niet-ioniserende straling, en is er beleidsmatig wel iets aan te doen?' Bij het beantwoorden van deze vraag wordt uitsluitend ingegaan op stuurbare problemen waarvoor maatregelen en oplossingsrichtingen mogelijk zijn. Het karakter van het rapport is dan ook eerder signalerend en verkennend dan dat het een gedetailleerd overzicht geeft van de huidige wetenschappelijke kennis. Voor dat laatste wordt veelvuldig verwezen naar rapporten van de Gezondheidsraad, en naar nieuwe wetenschappelijke resultaten en discussies die daar een aanvulling op geven. Rond 1970 heeft de Nederlandse regering de Gezondheidsraad om advies gevraagd over de schadelijke effecten van niet-ioniserende straling [Pa89]. Vervolgens heeft de Gezondheidsraad in de loop der jaren in een serie rapporten de effecten van de diverse soorten niet-ioniserende straling behandeld. Deze zijn met een brede inzet van deskundigen tot stand gekomen en worden daarom veelvuldig geraadpleegd in beleidsmatige aangelegenheden. Hoewel deze rapporten voldoende wetenschappelijke kennis en daaruit voortvloeiende adviezen voor op te stellen limieten bevatten, hebben zij tot dusver niet geleid tot structureel beleid [Pa91].

Naast de blootstelling van de patiënt aan niet-ioniserende straling uit medische bronnen wordt ook blootstelling van de algehele bevolking aan andere bronnen van niet-ioniserende straling beschouwd. Behalve de huidige situatie komt, waar mogelijk, ook de toekomstige situatie aan de orde. Op dit moment bestaat er in Nederland nauwelijks regelgeving die stralingsnormen bevat waar apparatuur die niet-ioniserende straling uitzendt aan moet voldoen, noch voor medische apparatuur noch voor op de consumentenmarkt vrij verkrijgbare apparatuur. Er zijn geen typekeuringen voor deze apparatuur voorgeschreven.

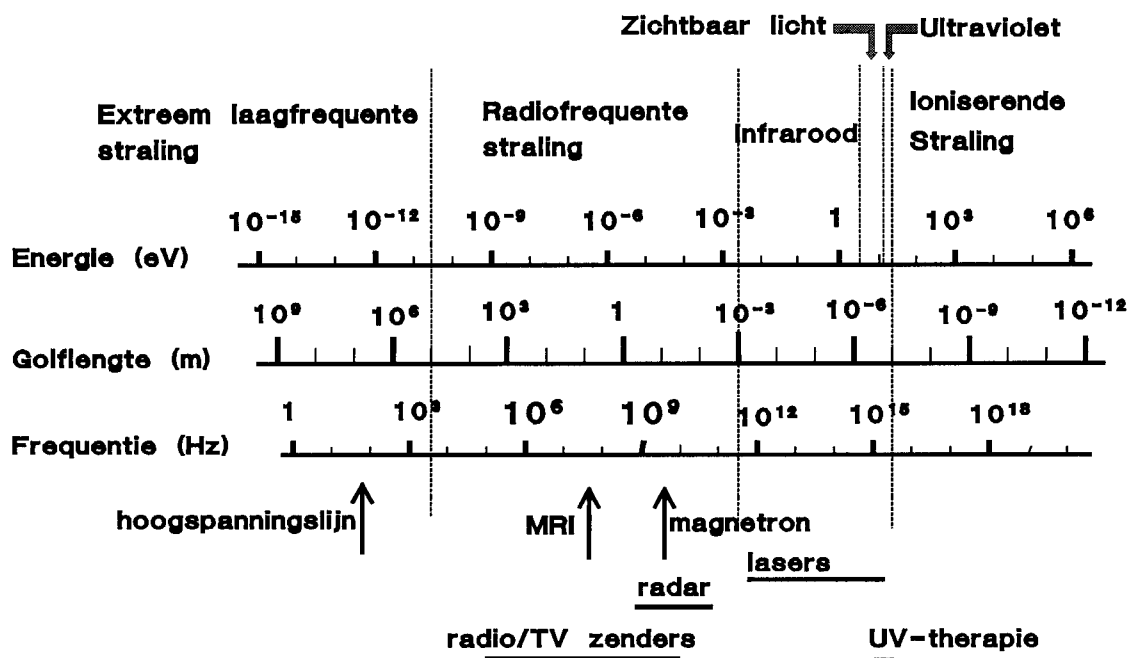
Het keuren van deze apparatuur (door bijvoorbeeld TNO) wordt alleen uitgevoerd op expliciet verzoek van leveranciers of van de overheid. Dit laatste kan in de praktijk bovendien ernstig worden bemoeilijkt wanneer leveranciers medewerking weigeren [He90]. Wat de veiligheid op de werkplek betreft hanteert het Ministerie van SZW (i.c. de Arbeidsinspectie) normen die worden ontleend aan de rapporten van de Gezondheidsraad of van internationale organisaties. Voor een beschrijving van Niet-ioniserende straling en velden in de arbeidssituatie wordt verwezen naar een rapport van Ameco, uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid [Am95]. Bescherming op de werkplek vergt een andere wijze van regelgeving. Hier wordt volstaan met de opmerking, dat momenteel bij de Raad van Ministers van de Europese Unie een ontwerprichtlijn is ingediend, die werkers moet beschermen tegen blootstelling aan 'fysische agentia'. Daartoe behoren ondermeer alle soorten niet-ioniserende straling [Pa94].

1.2 Indeling en afbakening van het aandachtsgebied

De term niet-ioniserende straling wordt in het algemeen gebruikt voor alle vormen van elektromagnetische straling en elektrische en magnetische velden waarvan de primaire wisselwerking met materie niet door ionisatie plaatsvindt. Dit betekent dat de golflengte van deze straling langer moet zijn dan 100 nm (dat wil zeggen een energie lager dan 12,4 eV en een frequentie lager dan 3000 THz). In figuur 1.1 zijn de verschillende vormen van elektromagnetische straling gerangschikt naar toenemende energie. Dit komt overeen met een toenemende frequentie en een afnemende golflengte, zoals in de figuur is aangegeven.

Ter wille van de stralenbescherming worden ook ultrageluid en infrageluid tot de niet-ioniserende straling gerekend, hoewel het daarbij niet gaat om elektromagnetische straling maar om mechanische trillingen in een medium. Van infrageluid spreekt men bij geluidstrillingen met frequenties lager dan 20 Hz, te laag om hoorbaar te zijn, terwijl de frequenties van ultrageluid boven de 20 kHz liggen, en dus juist te hoog zijn voor het menselijk gehoor [IR85, WHO82]. Bekende toepassingen van ultrageluid zijn sonar ('onder water' detectieapparatuur), lasapparatuur en echoscopie. Bronnen van infrageluid zijn bijvoorbeeld koelkasten, verwarmingsketels en luidsprekers in openbare gelegenheden (o.a. disco's) [Bo88c].

Ondanks alle verschillen hebben de diverse vormen van niet-ioniserende straling voldoende overeenkomsten om ze alle tezamen in één rapport te bespreken. Zo leiden de meeste vormen van niet-ioniserende straling, bij blootstelling aan hoge vermogensdichtheden, tot warmteontwikkeling in het lichaam. Deze warmteontwikkeling wordt vaak therapeutisch gebruikt. Voorbeelden zijn de vele fysiotherapeutische toepassingen van ultrageluid en van microgolven (diathermie) en de chirurgische toepassingen van ultraviolet en zichtbaar-licht lasers en van microgolfstraling in de elektrochirurgie. In dit kader past ook de hyperthermie. Bij deze relatief nieuwe techniek



Figuur 1.1 Overzicht van de diverse vormen van elektromagnetische straling.

wordt ultrageluid of microgolfstraling gebruikt om kankercellen te verhitten tot temperaturen hoger dan 43 °C, waardoor deze cellen afsterven [B192].

Er bestaat een aantal gemeenschappelijke schadelijke effecten van de verschillende vormen van niet-ioniserende straling. Zo kunnen infrarode en radiofrequente straling staar veroorzaken. De reden hiervoor is wederom de warmteontwikkeling die ontstaan bij blootstelling aan deze soorten niet-ioniserende straling, indien het blootstellingsniveau hoog is. Een slecht doorbloed orgaan als de ooglenzen (maar hetzelfde geldt voor bijvoorbeeld blaas, testikels en sommige tumoren) kan de toegevoerde warmte niet voldoende snel afvoeren en loopt dan de kans op thermische schade [GR75M, GR93OP]. Via een ander mechanisme kan ook ultraviolette straling tot de vorming van staar leiden.

Een andere overeenkomst tussen de diverse typen van niet-ioniserende straling is dat zij tot kanker zouden kunnen leiden. Anders dan bij ioniserende straling, waarvoor de carcinogene werking reeds lang bekend is, is dit bij niet-ioniserende straling wetenschappelijk omstreven. Alleen voor ultraviolette straling staat vast dat deze huidkanker kan veroorzaken.

1.3 Verschillen en overeenkomsten met ioniserende straling

In dit rapport worden twee diagnostische toepassingen van niet-ioniserende straling uitgebreid besproken, namelijk MRI en ultrasonografie (echografie). Deze technieken

kunnen in plaats van röntgendiagnostiek worden toegepast. De ontwikkeling en toepassing van echografie en MRI levert daarmee mogelijk een bijdrage aan de reductie van de belasting met ioniserende straling.

Zowel ioniserende straling als niet-ioniserende straling (met uitzondering van infra- en ultrageluid) zijn vormen van elektromagnetische stralingsvelden, maar de biologische werking van de twee soorten straling is zeer verschillend. Ioniserende straling laat in weefsel een spoor van geïoniseerde atomen en moleculen achter, wat onder andere tot de vorming van kanker kan leiden. Niet-ioniserende straling leidt tijdens de blootstelling voornamelijk tot warmte-ontwikkeling in blootgesteld weefsel. Een ander belangrijk verschil is dat onbedoelde blootstelling aan ioniserende straling vaak optreedt door de verspreiding van radioactieve stoffen, terwijl niet-ioniserende straling niet via stoffen verspreid kan worden.

Hoewel de energieinhoud van niet-ioniserende straling lager is dan van ioniserende straling, zijn de schadelijke effecten van niet-ioniserende straling niet per definitie minder van belang dan die van ioniserende straling. Het belangrijkste voorbeeld in dit geval is ultraviolette straling. Het sterfterisico dat met blootstelling aan voornamelijk natuurlijke ultraviolette straling wordt geassocieerd is van dezelfde orde grootte als het sterfterisico dat met blootstelling aan eveneens voornamelijk natuurlijke ioniserende straling samenhangt. De cijfers zijn voor Nederland respectievelijk circa $(0,5-2,5) \times 10^{-5}$ per jaar en $(2-5) \times 10^{-5}$ per jaar [Bo88d]. Het Ministerie van VROM heeft zich ten doel gesteld om de bevolking te beschermen tegen verhoging van het sterfterisico door additionele blootstelling aan ioniserende straling als gevolg van menselijk handelen. Het is de vraag of eenzelfde doelstelling ook voor niet-ioniserende straling moet gaan gelden. Het overheidsbeleid om de productie van CFK's terug te dringen en zo de verdunning van de ozonlaag tegen te gaan, waardoor de potentiële blootstelling van de bevolking aan ultraviolette straling van de zon niet verder toeneemt, is een actie die al in dit kader past.

1.4 Begrippen, grootheden en eenheden

Niet-ioniserende straling wordt beschreven met behulp van diverse begrippen, grootheden en eenheden. De straling kan worden gekarakteriseerd naar de frequentie (eenheid: Hertz, symbool Hz) of golflengte (eenheid: meter, symbool m). De energie (eenheid: Joule, symbool J; soms wordt de eenheid electronvolt ofwel eV gebruikt) van de fotonen hangt direct samen met de frequentie en de golflengte: hoe groter de frequentie van de straling is des te kleiner de golflengte en des te groter de energie (zie figuur 1.1).

De sterkte van een stralingsbron wordt aangeduid met het begrip vermogen (eenheid: Watt, symbool W). Het vermogen is de hoeveelheid energie die de bron per tijdseenheid uitzendt. Door het oppervlak van een voorwerp dat aan deze straling wordt blootgesteld loopt een energiestroom. Deze wordt uitgedrukt als vermogensdichtheid (eenheid: Watt per vierkante meter, in W/m^2). De vermogensdichtheid bepaalt samen met de frequentie

van de straling grotendeels het effect van de straling. Voor geluidsbronnen gebruikt men als maat voor vermogen de decibel (symbool dB).

Voor extreem laag frequente straling en voor radiofrequente straling wordt gewerkt met de sterkte van het elektromagnetische veld, dat een elektrische en een magnetische component heeft. De thermische effecten van radiofrequente straling beschrijft men met het begrip SAR (Specific Absorption Rate, in W/kg). Deze beschrijft de hoeveelheid energie die het lichaam per seconde per kilogram lichaamsgewicht uit het stralingsveld absorbeert. Bij ultraviolette straling wordt de hoeveelheid invallende energie per oppervlak vaak uitgedrukt in de zogenaamde MED (Minimale Erythemale Dosis). Een dosis van 1 MED komt per definitie overeen met de 'dosis die bij gemiddeld gevoelige ongewende huid van een blank proefpersoon een juist waarneembare roodheid (erytheem) veroorzaakt' [S191].

1.5 Leeswijzer

De hoofdstukken in dit rapport behandelen elk een verschillend type niet-ioniserende straling. Hierin worden de categorieën uit figuur 1.1 gebruikt. In elk hoofdstuk worden eerst de begrippen, die voor het betreffende hoofdstuk van belang zijn, kort geïntroduceerd. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de schadelijke effecten die de betreffende straling kan hebben op de mens. Dan volgen de verschillende bronnen die de betreffende straling uitzenden. Eventuele medische toepassingen worden meestal apart behandeld. In de laatste paragraaf van elk hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van bestaande normen en limieten, en wordt er gesignaleerd of er sprake is van een probleemsituatie. Een probleem kan zich voordoen als er geen of niet toereikende regelgeving is, of als één of meer van de eerder besproken bronnen niet aan deze normen voldoen. In het laatste hoofdstuk wordt een totaalanalyse en een samenvatting gegeven van de gesignaleerde problemen, gevolgd door conclusies en aanbevelingen.

2 ULTRAVIOLETTE STRALING

De verhoogde blootstelling aan ultraviolette straling die het gevolg is van de aantasting van de ozonlaag heeft geleid tot veel belangstelling voor de effecten van ultraviolette straling, ook onder de algemene bevolking. Zeer recent hebben RIVM en KNMI een gezamenlijk rapport uitgebracht over de huidige toestand van de ozonlaag en de UV-belasting in Nederland [Eg95]. De Gezondheidsraad heeft een advies uitgebracht over ultraviolette straling uit zonlicht [GR94UV]. Daarom zal dat onderwerp hier slechts zeer summier worden besproken, met als doel een referentiekader te bieden voor andere bronnen van ultraviolette straling. Een eerder advies van de Gezondheidsraad betrof juist de kunstmatige bronnen van ultraviolette straling [GR86UV].

Men onderscheidt UVA (golflengte 315 - 400 nm), UVB (280 - 315 nm) en UVC (100 - 280 nm). Bij ultraviolette straling wordt de hoeveelheid invallende energie per oppervlak vaak uitgedrukt in de MED (Minimale Erythemale dosis). Een dosis van 1 MED komt per definitie overeen met een '*dosis die bij gemiddeld gevoelige ongewende huid van een blank proefpersoon een juist waarneembare roodheid (erytheem) veroorzaakt*' [SI91]. In dit rapport definiëren we de MED als 200 J invallende energie per vierkante meter, waarbij de energie is gewogen volgens het actiespectrum van erytheem (zie figuur 2.1). In de Nederlandse zomer doet men met een kwartier zonnen rond het middaguur een dosis van ongeveer 1 MED op [VTV93].

2.1 Mogelijke schadelijke effecten

Van alle soorten elektromagnetische niet-ioniserende straling hebben de stralingsdeeltjes van ultraviolette straling de hoogste energie, en zouden daardoor het meest effectief kunnen zijn in het toebrengen van schade aan biologisch materiaal. Ultraviolette straling dringt echter niet ver door in weefsel, zodat de effecten ervan beperkt blijven tot de huid en de ogen. Binnen het ultraviolette deel van het elektromagnetisch spectrum is de penetratie in huid of oog van het kortgolvlige UVC en UVB minder diep dan van het langgolvlige UVA [WHO82].

De primaire effecten van ultraviolette straling zijn onder te verdelen in thermische en fotochemische effecten. De thermische effecten vinden hun oorsprong in de temperatuurstijging van weefsel, die wordt veroorzaakt door absorptie van stralingsenergie. Wanneer de ultraviolette straling wordt geabsorbeerd door moleculen en hierdoor bepaalde chemische reacties kunnen plaatsvinden, spreekt men van fotochemische reacties [GR94UV]. Deze reacties zijn niet per definitie schadelijk. Een bekend voorbeeld van een dergelijke fotochemische reactie is de productie van vitamine D in de huid. De mens heeft een zekere dosis ultraviolette straling nodig om te voorkomen dat er gebrek aan vitamine D optreedt. Bij kinderen kan dit leiden tot problemen in de skeletopbouw (*rachitis*, of Engelse ziekte) en bij ouderen kan het bijdragen aan de ontkalking van het bot

(osteoporose) [GR86UV].

Effecten op de huid

De structuur van de huid kan per individu sterk verschillen, en is van grote invloed op de mate waarin ultraviolette straling erop inwerkt. Daarom onderscheidt men vaak de huidtypen zoals die in tabel 2.1 vermeld staan. In deze tabel zijn voor de verschillende huidtypen de minimale doses ultraviolette straling aangegeven, die erytheemvorming (zie hieronder) veroorzaken. De aangegeven doses zijn relatief ten opzichte van de minimale dosis die bij huidtype I erytheem veroorzaken [GR86UV].

Tabel 2.1 Definitie van verschillende huidtypes.

huidtype	Effect bij blootstelling aan de zon	Minimale dosis voor erytheemvorming (relatief)	Uiterlijke kenmerken van de bevolkingsgroep
I	Snel verbranding, nooit bruining	1,0	Rood haar, sproeten, zogenaamd Keltisch type.
II	Bijna altijd verbranding, minimale bruining	1,7	Lichte, blanke huid, blond haar, blauwe ogen.
III	Matige zonnebrand, geleidelijke bruining (tot lichtbruin)	2,5	Een wat donkerder maar blanke huid.
IV	Minimale zonnebrand, goede bruining (tot matig bruin)	3,9	Blanken van Mediterrane afkomst
V	Zelden zonnebrand, snelle bruining (tot donkerbruin)	3,9	Personen uit het Midden-Oosten en Latijns Amerika.
VI	Nooit zonnebrand, donkere huidskleur	9,7	Personen met een zwarte huid.

Ultraviolette straling kan de volgende, min of meer geordend van 'nuttige' tot meest schadelijke, effecten op de huid veroorzaken:

- De produktie van vitamine D.
- Pigmentatie. Pigmentatie ontstaat zowel door migratie van het pigment naar plaatsen dichter bij het huidoppervlak, de zogenaamde directe pigmentatie, als doordat ultraviolette straling de pigment producerende cellen, de melanocyten, tot hogere produktie stimuleert [Ma93]. Dit laatste effect heet vertraagde pigmentatie ofwel bruining. Verder neemt men aan dat herhaalde blootstelling aan ultraviolette straling

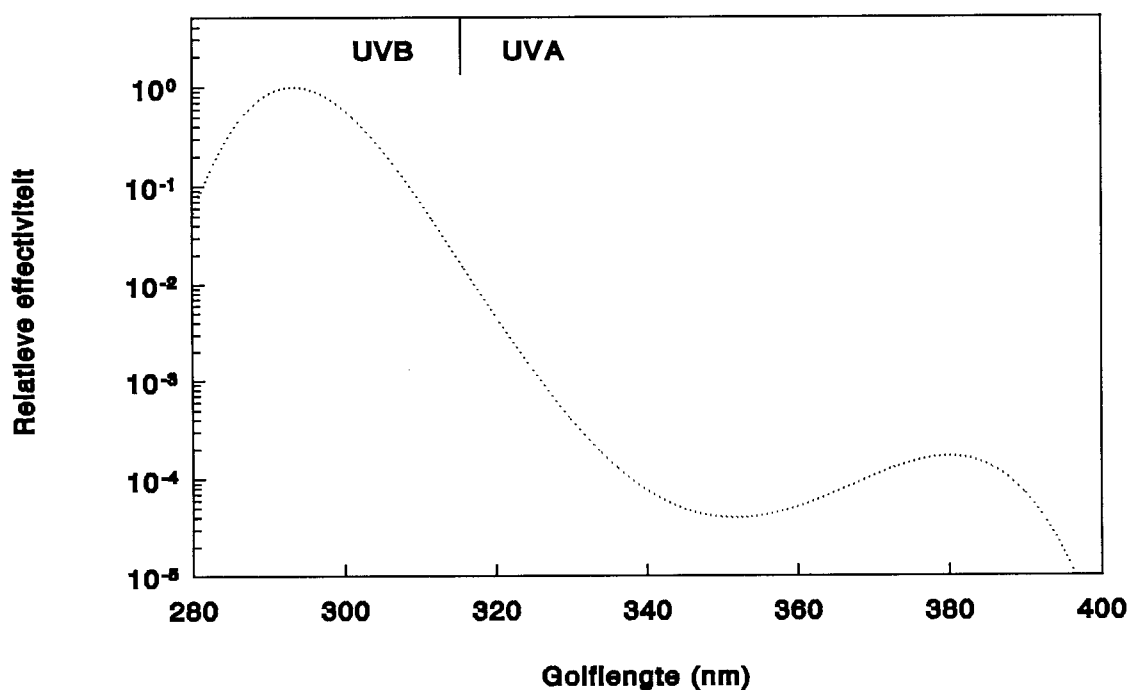
ook het aantal melanocyten in de huid doet toenemen [GR86UV].

In een goed gebruikte of van nature donkere huid beschermt pigment de onderliggende huid effectief tegen ultraviolette straling [Da68]. De bruining na UVA en UVB bestraling is pas na enkele dagen het best waarneembaar, en kan maandenlang zichtbaar blijven. De stralingsdosis die nodig is om dit te bereiken is voor UVB straling circa duizend maal kleiner dan voor UVA straling. Ook UVC levert bij dergelijke lage doses bruining op, maar deze is minder diep van kleur en verdwijnt al binnen enkele weken [GR86UV].

- Huidverdikking biedt de meest effectieve bescherming tegen ultraviolette straling. Gedurende meerdere dagen nadat de huid aan ultraviolette straling is blootgesteld vindt er versnelde celdeling plaats in de opperhuid, waardoor deze meerdere malen dikker kan worden. Deze verdikking, die maandenlang stand houdt, kan de hoeveelheid ultraviolette straling die dieper doordringt dan de hoornlaag met 90 procent verminderen. Voor huidverdikking blijkt vooral UVB en in veel mindere mate UVA straling effectief te zijn [GR86UV].
- Erythemvorming of zonnebrand ontstaat in tegenstelling tot pigmentatie al binnen korte tijd na blootstelling aan ultraviolette straling, en verdwijnt binnen hooguit enkele weken. Dit effect treedt alleen op indien de dosis een bepaalde drempelwaarde overschrijdt. Het rood worden van de huid wordt veroorzaakt door een verwijding van de bloedvaten in de huid, wat vermoedelijk wordt geïnitieerd door fotochemische reacties in de opperhuid. Bij ernstige gevallen van zonnebrand kan blaarvorming optreden, en derde graads verwondingen [GR86UV]. Net als pigmentatie geschiedt de vorming van erythem veel effectiever door UVB en UVC dan door UVA. Ook zonnebrand kan worden gezien als een, zij het indirect, beschermingsmechanisme tegen ultraviolette straling, omdat de ermee gepaard gaande pijn de impuls tot verdere blootstelling zal doen afnemen.
- Een aantal zich in de huid bevindende immuunregelsystemen, die min of meer onafhankelijk werken van de rest van het immuunsysteem, wordt beïnvloed door ultraviolette straling. Hierdoor vermindert de afweer [GR94UV]. Deze immunologische reacties treden al op bij bestraling met relatief lage doses UVB [Ve94].
- Huidveroudering. Ultraviolette straling veroorzaakt na herhaalde blootstelling een onomkeerbare degeneratie van de huid, wat tot uitdrukking komt in onder meer rimpeling, verminderde elasticiteit en een leerachtige huid. Vooral bij mensen die beroepsmatig veel aan zonlicht zijn blootgesteld, zoals zeelieden en agrariërs, treft men deze verschijnselen aan [Jo92, GR86UV]. Door de diepere doordringing in de huid is vooral UVA straling verantwoordelijk voor de versnelde veroudering van de huid [Di91].
- Huidkanker. De onderdrukking van het immuunsysteem en de mutaties die ultraviolette straling kan veroorzaken in DNA en in bijvoorbeeld melanine (= pigment), kunnen leiden tot huidtumoren [Mo94]. Er bestaan drie vormen van huidkanker: basaalcelcarcinomen (bcc), plaveiselcelcarcinomen (pcc) en melanomen.

Voor het ontstaan van huidcarcinomen (bcc en pcc), vormt ultraviolette straling

verreweg de belangrijkste factor [GR86UV, Jo92]. Het zijn kwaadaardige tumoren van epitheelcellen. Op grond van dierexperimenten wordt aangenomen dat de effectiviteit van ultraviolette straling in erythemvorming en in het optreden van huidcarcinomen op een min of meer gelijke wijze van de golflengte afhangen. De mate waarin verschillende golflengten bijdragen aan het ontstaan van huidcarcinomen is vrij goed bekend. Figuur 2.1 toont de relatieve effectiviteit van de verschillende golflengten in het induceren van huidcarcinomen. Uit dit zogenaamde actiespectrum blijkt dat UVB straling het meest effectief is in het induceren van huidcarcinomen, maar dierexperimenten hebben aangetoond dat ook UVA straling hiertoe in staat is [GR86UV, S189]. De MED wordt daarom gewogen met het actiespectrum. Personen met een verhoogde blootstelling, bijvoorbeeld doordat zij een buitenberoep uitoefenen, lopen een verhoogd risico op het krijgen van huidcarcinomen, en hetzelfde geldt voor personen met een gevoelige huid, huidtype I en II. Blootstelling aan ultraviolette straling, of deze nu wordt veroorzaakt door de verdunning van de ozonlaag, door het gebruik van zonnebanken of door blootstelling aan andere bronnen, geeft een extra sterftkans aan huidkanker van $(3,4 \pm 1,0) \times 10^{-7}$ per MED die men op de meest blootgestelde huidgedeelten per jaar oploopt boven het gemiddelde blootstellingsniveau in Nederland (100 MED per jaar) [S191, S195]. Overigens is de latentieperiode van huidcarcinomen vaak tientallen jaren [GR86UV].



Figuur 2.1 Actiespectrum van de inductie van huidcarcinomen.

Melanomen zijn kwaadaardige tumoren van pigmentcellen [GR86UV]. Over de latentieperiode voor melanomen bestaat veel onzekerheid, de schattingen lopen uiteen van 2 tot 30 jaar [Ga93, Pa93]. Eén van de factoren die het risico van het krijgen van melanomen vermoedelijk verhogen, is het hebben van een groot aantal moedervlekken. Melanomen worden vermoedelijk mede veroorzaakt door blootstelling aan ultraviolette straling [GR86UV]. Aanwijzingen hiervoor zijn voornamelijk gebaseerd op epidemiologisch onderzoek, aan de hand waarvan twee hypothesen zijn opgesteld. Volgens de eerste hypothese is blootstelling aan zonlicht tijdens de jeugd een belangrijke risicofactor. Dit concludeert men uit correlaties tussen melanoomincidentie in Australië en immigratie voor of na het twintigste levensjaar. De Gezondheidsraad vindt dat deze hypothese beter gefundeerd is dan de zogenaamde hypothese van de intermitterende straling. Volgens deze hypothese worden bepaalde vormen van melanomen veroorzaakt door relatief korte bestralingsduren met hoge intensiteiten zonlicht, bijvoorbeeld tijdens zonzvakanties [GR94UV]. In de literatuur worden overigens ook andere factoren genoemd die het risico verhogen om melanomen te krijgen, zoals blootstelling aan zwembadwater en aan chemische stoffen op de werkplek [Ne93].

De incidentie van huidkanker in Nederland in 1994 wordt door de Gezondheidsraad geschat op 160 ± 20 per miljoen inwoners per jaar voor plaveiselcelcarcinomen, 900 ± 300 per miljoen inwoners per jaar voor basaalcelcarcinomen. De meest recente cijfers van de Nederlandse Kankerregistratie geven aan dat de incidentie van melanomen in 1991 in Nederland 1535 bedroeg, ofwel circa 100 per miljoen inwoners per jaar [NCR94].

Een belangrijke vraag, die echter op grond van de gegevens uit de literatuur niet te beantwoorden is, is welk percentage van de incidenties van huidkanker toe te schrijven is aan blootstelling aan ultraviolette straling. Voor plaveiselcelcarcinomen en basaalcelcarcinomen is de sterfte laag in verhouding tot de incidentie, namelijk circa 3 en 0,3 procent, respectievelijk [GR94UV]. Deze verhouding is voor melanomen 21 procent, en leidde in 1991 tot een geregistreerde sterfte ten gevolge van melanomen van ongeveer 26 per miljoen inwoners per jaar [NCR94]. Zowel incidentie van als sterfte aan melanomen is de afgelopen jaren fors toegenomen. Zo is de incidentie in Nederland verdubbeld tussen 1975 en 1983, en vormen maligne melanomen samen met longkanker de soorten kanker met de grootste stijging in sterfte in Nederland gedurende de afgelopen decennia [GR94UV, Ma92c]. Deze stijging doet zich ook elders voor: kwaadaardige melanomen vormen de snelst stijgende maligniteit in de geïndustrialiseerde landen, waardoor bijvoorbeeld in de Verenigde Staten melanomen nu de tweede oorzaak van sterfte aan kanker is voor blanke mannen tussen de 15 en 35 jaar oud [Ga93]. De oorzaak van deze stijging wordt vaak gezocht in veranderingen in levensstijlen, vooral wat betreft de houding ten aanzien van zonnebaden [Mo94].

Effecten op het oog

Behalve aan de huid kan ultraviolette straling ook schade toebrengen aan de ogen. Enkele uren na blootstelling aan straling met een boven een drempelwaarde gelegen dosis, kan ontsteking optreden aan het hoornvlies (*keratitis*) of bindvlies (*conjunctivitis*). Deze effecten staan bekend als sneeuwblindheid of lasogen. Door het hoge reflectievermogen van sneeuw voor ultraviolette straling is dit verschijnsel vooral bekend bij wintersporters. Het gezichtsvermogen is meestal door spontane regeneratie van hoorn- en bindvlies binnen twee dagen weer volledig hersteld [GR86UV].

Staar (*cataract*) kan behalve door bepaalde stofwisselingsprocessen ook door ultraviolette straling worden veroorzaakt. Bij deze aandoening raakt de ooglenzen vertroebeld, wat zonder behandeling op termijn resulteert in blindheid. Staar komt vooral veel voor bij ouderen, en behoort tot de tien meest voorkomende ziekten en aandoeningen in ons land, met in 1990 181.700 patiënten [GR94UV, VTV93]. Behandeling is mogelijk door de troebele ooglenzen te vervangen door een lens van kunststof. Dergelijke lensextracties vonden in 1989 in Nederland 31.000 maal plaats, terwijl in 1991 39.330 staartoperaties werden uitgevoerd [So94]. De totale kosten hiervan worden door de Gezondheidsraad geraamd op tweehonderd miljoen gulden [GR94UV]. Dosis-effectrelaties voor het optreden van staar door bestraling met ultraviolette straling zijn niet goed bekend. Aangezien het hoornvlies het meest doorlatend is voor golflengten tussen 350 en 400 nm, wordt staar waarschijnlijk vooral veroorzaakt door UVA-straling [GR86UV]. Er bestaan geen indicaties in de literatuur welk percentage van de gevallen van staar werkelijk is veroorzaakt door ultraviolette straling.

2.2 UV-straling van de zon

Een aanzienlijk deel van de zonnestraling die de aarde bereikt wordt in de atmosfeer geabsorbeerd of verstrooid. De hoeveelheid ultraviolette straling die het aardoppervlak bereikt hangt vooral af van de hoogte van de zon boven de horizon. Hierdoor is het aandeel ultraviolette straling in zonlicht in de ochtend en namiddag kleiner dan rond het middaguur, en 's winters kleiner dan 's zomers [Da68].

Metingen hebben laten zien dat in Nederland binnenwerkenden op hoofd en handen een dosis ultraviolette straling van ongeveer 70 MED per jaar opdoen, en buitenwerkers ongeveer 150 MED per jaar [Br92]. De incidentie van huidcarcinomen is dan ook hoger bij mensen met buitenberoepen dan bij binnenshuis werkenden [GR86UV].

De extra dosis die tijdens vakanties wordt opgedaan is sterk afhankelijk van de activiteiten die men tijdens die vakanties ontplooit. Een realistische schatting voor de extra dosis die men oploopt tijdens een vakantie van drie weken aan de Middellandse Zee is gemiddeld 60 - 75 MED, en bij veel zonnebaden op het strand gemiddeld 100 - 150 MED [GR86UV]. Hierbij gaat het om naar schatting 5 miljoen Nederlanders die zich 'matig' aan de zon blootstellen, en 1 miljoen Nederlanders die zich daar 'intensief' aan blootstellen. Individuele blootstellingen als gevolg van extreem zongedrag kunnen veel

hoger zijn dan dit gemiddelde. Ongeveer vijf procent van de Nederlanders stelt zich jaarlijks aan meer dan 200 MED bloot [S191].

De mate van atmosferische absorptie van UVB straling wordt vooral bepaald door de hoeveelheid ozon, dat zich voornamelijk in de stratosfeer bevindt. Dat in de afgelopen tien jaar de dikte van de ozonlaag wereldwijd is afgenomen, is door satellietwaarnemingen aangetoond. Boven Nederland bedraagt de maximale afname zo'n acht procent. Volgens schattingen van de Gezondheidsraad zal een blijvende vermindering met tien procent van de hoeveelheid ozon in de atmosfeer in Nederland leiden tot $1,7 \pm 0,6$ extra sterfgevallen per miljoen inwoners per jaar aan plaveiselcelcarcinomen en van $0,5 \pm 0,2$ per miljoen inwoners per jaar aan basaalcelcarcinomen. De Gezondheidsraad acht het niet mogelijk om het aantal extra sterfgevallen door melanomen te schatten, vanwege de onduidelijkheid in de relatie tussen ultraviolette straling en het optreden van melanomen [GR94UV].

Inmiddels zijn er internationale afspraken gemaakt om de productie van CFK's te verminderen. Zelfs bij een wereldwijde navolging van de meest vergaande afspraken, namelijk die volgens het Protocol van Montréal en de Amendementen van Londen en Kopenhagen, zal de toename in de incidentie van huidcarcinomen die door de aantasting van de ozonlaag wordt veroorzaakt, nog zeker tot 2040 voortduren, omdat de reeds in de atmosfeer aanwezige CFK's nog jarenlang van invloed blijven, en omdat er tussen de blootstelling van de huid aan straling en het optreden van huidkanker vaak tientallen jaren verlopen [MR93, MV3, GR86UV, GR94UV]. Deze ramingen zijn gebaseerd op het zogenaamde UV-ketenmodel [S192].

2.3 Bronnen in medische toepassingen

Therapieën met ultraviolette straling worden gebruikt voor de behandeling van psoriasis, en op experimentele basis bij acne, eczeem en andere huidziekten. Bij dergelijke therapieën is het werkingsmechanisme vaak gebaseerd op de onderdrukking van ongewenste reacties van het immuunsysteem na ultraviolette bestraling, en op het verminderen van ontstekingen [Ve94, S191, Li94, Br87]. Het medische gebruik van zogenaamde UV-lasers wordt overigens samen met dat van de andere typen lasers behandeld in hoofdstuk 3.

UV therapieën ter behandeling van psoriasis

Circa 300.000 Nederlanders lijden aan psoriasis, een erfelijke ziekte die wordt gekenmerkt door een schilferende huid. Deze symptomen kunnen worden bestreden met UVB fototherapie en PUVA therapie. PUVA therapie is een fotochemische therapie waarbij de patiënt zowel met *psoralenen* als met UVA bestraling wordt behandeld. Bij UVB fototherapie wordt de patiënt jarenlang regelmatig met UVB straling bestraald. Dit levert aanzienlijke stralingsdoses op voor de patiënt: de mediane dosering van UVB therapie is 240 MED per jaar, en 16 procent van de patiënten ontvangt meer dan 540 MED [S189]. De risico's voor het krijgen van huidkanker voor PUVA therapie zijn daardoor aanzienlijk

hoger dan voor UVB therapie. De kans op het krijgen van plaveiselcelcarcinoom blijkt voor patiënten die langdurig met PUVA-therapie zijn behandeld tot twaalf keer toegenomen. Voor langdurige UVB therapie en kortdurende PUVA therapie bedraagt deze verhoging circa vier maal [Bl93].

Alternatieven voor deze therapieën zijn fotodynamische therapie, waarbij *fotosensitizers* worden gecombineerd met bestraling met zichtbaar licht (zie hoofdstuk 3), en heliotherapie, dat wil zeggen zonnebaden [Bo94, Sn92]. Verder wordt momenteel een crème ontwikkeld met als werkzaam middel *tacalcitol*, die in de toekomst wellicht een alternatief kan bieden voor behandeling met ultraviolette straling [Ge94].

2.4 Bronnen uit andere toepassingen

Veel gewone lampen zenden zekere hoeveelheden ultraviolette straling uit. Bij de traditionele gloeilampen en tl-verlichting is het aandeel ultraviolette straling in de totale emissie klein. Zo wordt de UVA-emissie van tl-lampen geschat op een vijfduizendste van die van de herfstzou in Nederland [GR94-UV, Gr88]. Zeer sterke schijnwerpers met vermogens van 500 tot 5000 W, zoals de halogeen- of kwiklampen die in televisiestudio's worden gebruikt, kunnen bij ontbrekend filter aanleiding geven tot aanzienlijke doses ultraviolette bestraling [Br94].

Halogeenverlichting

Een potentieel belangrijke kunstmatige bron van ultraviolette straling is halogeenverlichting. De hoge gasdruk en hoge temperatuur van de gloeidraad in halogeenlampen zijn alleen mogelijk door de mantel van kwarts te maken in plaats van normaal glas zoals bij een gewone gloeilamp. Kwarts absorbeert echter veel minder ultraviolette straling dan glas [BfS91].

Uit een aantal onderzoeken, onder andere in Nederland verricht door de KEMA, blijkt dat halogeenlampen daardoor aanzienlijke hoeveelheden UVB straling kunnen uitzenden [KE91]. Bij het gebruik van halogeenlampen als bureaulamp kunnen jaarlijkse doses van 100 MED voorkomen, als er wordt uitgegaan van een jaarlijkse blootstellingsduur van 500 uur en een afstand tot de bron van 30 cm. Bij normaal gebruik, dat wil zeggen 500 uur blootstelling per jaar op een afstand van 1 meter, leveren halogeenlampen een dosis ultraviolette straling van 10 MED. Voor gloeilampen bedraagt het corresponderende getal 1 MED. De hieraan gekoppelde jaarlijkse sterfterisico's als gevolg van huidkanker zijn circa $3,4 \times 10^{-6}$ voor halogeenlampen, en circa $3,4 \times 10^{-7}$ voor normale gloeilampen [Br92].

De KEMA concludeerde in haar onderzoek dat halogeenlampen vrijwel geen UVC straling produceren en dat de UVA straling na 8 uur bestraling nog ruim onder de grenswaarden van de IRPA blijven. Het gebruik van reflectoren om het licht van halogeenlampen te bundelen geeft bovendien nog aanzienlijk hogere doses ultraviolette straling. Uit het onderzoek van de KEMA, en uit diverse soortgelijke onderzoeken, blijkt dat een

belangrijke verlaging van de UVB straling wordt gerealiseerd door het toepassen van filters [KE91].

Momenteel maken halogeenlampen in Nederland minder dan 5% van de verkochte lampen uit, maar indien de situatie in Duitsland mag worden geëxtrapoleerd naar ons land dan stijgt dit aandeel snel [BfS91, Br92]. Indien we er vanuit gaan dat ook 5% van alle verlichting door halogeenlampen wordt gegeven, dan kunnen we de omvang van de groep personen die 'normaal gebruik' maken van halogeenverlichting, schatten op circa 1 miljoen.

Bruiningslampen

Een ander mogelijke bron van hoge belasting door ultraviolette straling vormt bruiningsapparatuur. Een onderzoek dat in opdracht van het KWF in 1994 werd gehouden onder een representatief deel van de Nederlandse bevolking leverde als resultaat op dat één derde van de ondervraagden wel eens gebruik maakt van de zonnebank [Ko94]. Soortgelijke cijfers zijn recent ook gepubliceerd voor België en Duitsland [Au94, Ip89]. In Nederland was het overeenkomstige cijfer in 1984 nog 7% van de bevolking [Br87].

Om de bruiningslampen veiliger te maken passen de fabrikanten filters toe om de UVB component te blokkeren. Op grond van de nu aanwezige kennis is het echter moeilijk om te concluderen of bestraling door UVA nu werkelijk veiliger is dan door UVB [S189]. Uit dierexperimenten is gebleken dat het waarschijnlijk principieel onmogelijk is om te bruinen zonder een verhoogd risico op huidcarcinomen te lopen, omdat de relatieve effectiviteit van de verschillende golflengten van ultraviolette straling om bruining en huidcarcinomen te induceren, gelijk is [Ru90].

Hoe groot het toegevoegde risico is van huidkanker door het gebruik van bruiningsapparatuur, is sterk afhankelijk van de gebruikte apparatuur en van de gekozen bestralingsduur. Individueel kunnen excessief hoge UV stralingsdoses worden opgelopen. Ook voor bruiningsapparatuur geldt dat het risico op sterfte aan huidkanker toeneemt met $(3,4 \pm 1,0) \times 10^{-7}$ per jaarlijks extra opgelopen MED op de meest blootgestelde huidgedeelten, wanneer de achtergrondblootstelling 100 MED per jaar bedraagt [S195]. De Gezondheidsraad noemde in haar rapport van 1986 een gemiddelde jaarlijkse bestralingsdosis van 20 - 60 MED voor de gebruikers van deze UV-toestellen, waarbij circa 16% van de gebruikers (dat wil zeggen honderdduizend tot 1 miljoen Nederlanders) ongeveer 55 MED oploopt [Br87, GR86UV]. Personen die intensief gebruik maken van bruiningsapparatuur en bovendien ook intensief zonnebaden, zouden 150 - 200 MED extra kunnen oplopen. Wanneer dit gedrag dertig jaar lang wordt volgehouden, verhoogt de groep gemiddelde gebruikers het risico op huidtumoren met naar schatting 40%, terwijl de groep intensieve gebruikers dat risico met een factor 5 à 10 verhoogt [S189].

In deze risicoschattingen voor bruiningsapparatuur zijn de risico's op het krijgen van melanomen niet verwerkt, aangezien op dit moment niet bekend is hoe effectief de

verschillende golflengten zijn in het induceren van melanomen. In de loop der jaren zijn wel een drietal case-control studies verricht naar mogelijke relaties tussen het optreden van melanomen en het gebruik van zonnelampen en zonnebedden [Sw88, Wa90, Au94b]. Deze studies wijzen alle drie op een significant verhoogd risico voor het optreden van melanomen bij gebruik van kunstmatige UV-bronnen, vooral bij langdurig gebruik ervan, maar deze significante verhoging van het risico verdwijnt wanneer er wordt gecorrigeerd voor huidtype, kleur van haar en ogen, aantallen moedervlekken en blootstelling aan de zon [Sw88, Au94b].

Argumenten die worden genoemd om UV-toestellen te gebruiken zijn behalve bruining ook dat het gezond kan zijn, en om vóór een zonzakantie bescherming op te doen tegen de zon. Dit laatste argument is onjuist, omdat niet zozeer bruining maar vooral huidverdikking, vooral veroorzaakt door UVB straling, de huid het best tegen verdere schade door ultraviolette straling beschermt [Ru90, GR86UV, BfS90]. Volgens de Gezondheidsraad is het wel waarschijnlijk dat bij mensen die zich weinig aan straling van de zon blootstellen een extra bestraling van enkele tientallen MED per jaar door UV-apparatuur met een voldoende grote UVB component een gunstige werking heeft door de vorming van vitamine D. Andere positieve effecten van ultraviolette straling zijn er niet [GR86UV].

2.5 Stralenbescherming en beleid

In 1986 heeft de Gezondheidsraad limietwaarden opgesteld voor ultraviolette straling. Deze limietwaarden beschermen zowel de algemene als de beroepsbevolking. Voor de bestralingsdosis binnen een dag werd een drempelwaarde voorgesteld van 30 J/m^2 , waaronder geen oog- of huidschade ontstaat. Voor chronische blootstelling kwam men tot een richtwaarde van 1 W/m^2 voor het spectrum tussen 315 en 400 nm. Overigens wijken alleen in het UVA de voorgestelde blootstellingslimieten af van internationaal in 1985 door de IRPA voorgestelde waarden [GR86UV].

UV-straling in medische toepassingen

Psoriasis-patiënten kunnen aanzienlijke doses ultraviolette straling oplopen wanneer zij met PUVA of met UVB-therapie worden behandeld. De risico's van UVB-therapie worden lager geschat dan die van PUVA-therapie, zodat kan worden overwogen om te trachten PUVA-therapie terug te dringen ten gunste van UVB-therapie. Gezien de risico's die aan beide therapieën verbonden zijn en het feit dat alleen de symptomen van psoriasis ermee worden bestreden, en niet de oorzaak, blijft het een afweging tussen de schade die de UV-behandeling veroorzaakt en de gezondheidswinst door de behandeling [SI91]. Deze afweging kan alleen op individueel niveau en in samenspraak tussen arts en patiënt worden gemaakt, zoals reeds gebeurt. Bescherming van de patiënt, bijvoorbeeld door lichaamsdelen die niet hoeven worden bestraald ook daadwerkelijk af te dekken, blijven natuurlijk vereist.

Bescherming tegen ultraviolette straling van de zon

De enige brongerichte maatregelen die men kan nemen tegen blootstelling aan ultraviolette straling van de zon zijn maatregelen die de verdunning van de ozonlaag in de stratosfeer tegengaan. Een wereldwijde terugdringing van de produktie van CFK's, zoals overeengekomen in het Protocol van Montréal en de Amendementen van Londen en Kopenhagen, is daarvoor noodzakelijk.

Effectgerichte maatregelen zullen gericht zijn op terugdringing van de blootstelling aan ultraviolette straling. Het geven van voorlichting over de schadelijke effecten van ultraviolette straling is hierin heel belangrijk. De verantwoordelijkheid hiervoor ligt primair bij de overheid, die de uitvoering van haar taken op het gebied van voorlichting over kanker heeft gedelegeerd aan de Nederlandse Kankerbestrijding/KWF. Zij geeft hier op het gebied van ultraviolette straling invulling aan door onder andere jaarlijks in de zomer een publiekscampagne te organiseren. In 1994 gebeurde dit onder het motto 'Kijk uit voor je huid'. Behalve deze algemene benaderingen differentieert de Nederlandse Kankerbestrijding haar voorlichting ook naar onderscheiden doelgroepen zoals kinderen, ouders, leerkrachten, buitenwerkers, recreanten etc., in de vorm van onder andere televisiespotjes, folders en lesmateriaal. Op deze wijze kunnen gedragsadviezen gericht op de betrokken groep worden verstrekt, zoals voor recreanten het advies niet tussen 11.00 en 15.00 uur te zonnen en zonnebrandcrème te gebruiken. Dat dergelijke voorlichtingscampagnes in zekere mate het gedrag van de bevolking kan beïnvloeden is in een aantal onderzoeken aangetoond [GR94UV, Be92b].

Wat melanomen betreft is het te overwegen of een algemeen bevolkingsonderzoek nodig is, aangezien melanomen jaarlijks circa 400 sterfgevallen vereisen [NCR94, Ra90]. Dit dient te worden vergeleken met baarmoederhalskanker dat ongeveer 300 sterfgevallen per jaar veroorzaakt, en waarnaar al wel bevolkingsonderzoek wordt verricht [GR90LA, He94].

Om de ogen tegen ultraviolette straling te beschermen kan men een ultraviolet-absorberende zonnebril gebruiken. Bij wintersportactiviteiten is een goede skibril, die geen ultraviolette straling doorlaat en ook zijwaarts invallende straling blokkeert, aan te bevelen [GR94UV]. Bij tests blijken de onderzochte zonnebrillen UVB goed tegen te houden, terwijl de mate waarin ook UVA wordt geblokkeerd sterk varieert per bril, overigens onafhankelijk van de aankoop prijs [Bl91].

Zonnebrandcrèmes

Over de wenselijkheid van zonnebrandcrèmes woedt al enige tijd een discussie in de vakliteratuur, waarbij de kernvraag luidt of het gebruik van zonnebrandcrèmes niet kan leiden tot een verhoogd risico op de late effecten van ultraviolette straling [Ga94, Sk91, Ur93, Sl89]. De op zonnebrandcrèmes vermelde beschermingsfactoren (Sun Protection Factor, SPF) zijn namelijk gedefinieerd als de verhouding tussen de dosis ultraviolette straling die een met de zonnebrandcrème behandelde huid nodig heeft om minimale

erytheemvorming te tonen, en de corresponderende dosis voor een onbeschermd huid [Di91]. Omdat erytheemvorming vooral gekoppeld is aan de UVB component van de zonnestraling, kan het gebruik van zonnebrandcrèmes aanleiding geven tot het oplopen van aanzienlijk hogere doses UVA straling, dan wanneer de huid niet beschermd was geweest en de blootstelling aan de zon door het optreden van verbranding eerder gestopt zou zijn [Ga94, Me94]. Hoewel de fabrikanten de laatste jaren steeds meer 'total blocking' zonnebrandcrèmes op de markt brengen, die zowel UVA als UVB moeten blokkeren, zijn de beschermingsfactoren corresponderend met het UVA deel van het spectrum vele malen lager dan de aan erytheemvorming gekoppelde SPF factoren die de fabrikant vermeldt [Di91b, Di91, Ga93]. Overigens is de werkelijke beschermingsfactor tegen erytheemvorming van zonnebrandcrèmes zoals die door consumenten wordt gebruikt, waarschijnlijk aanzienlijk lager dan de vermelde SPF, omdat de dikte van de aangebrachte laag zoals men die aanneemt voor de bepaling van de SPF, 1,5 of 2 mg/cm², waarschijnlijk onrealistisch hoog is [Be93].

De Gezondheidsraad concludeert in haar recente rapport '*dat het ongewenst is om zonnebrandcrèmes te gebruiken om langer in de zon te kunnen blijven dan zonder deze beschermingsmiddelen*', en wijst op het belang om ook de minder snel verbrandende delen van de huid in te smeren [GR94UV]. Het Koningin Wilhelmina Fonds adviseert om zonnebrandcrèmes te gebruiken met een hoge beschermingsfactor en het verblijf in de zon niet te verlengen door het gebruik van zonnebrandcrèmes, onder het motto: 'smeer je goed in, en smeer 'm op tijd' [Ko94].

Halogeenlampen

Halogeenlampen kunnen een aanzienlijke ultraviolette stralingsbelasting opleveren voor een groot deel van de bevolking, ongeveer 1 miljoen personen. Dit probleem kan voor het grootste deel worden opgelost wanneer in die gevallen dat er aanzienlijke blootstellingen kunnen worden verwacht, filters worden gebruikt. In elk geval dienen halogeenlampen met en zonder filter voor de consument duidelijk als zodanig herkenbaar te zijn.

UV-straling door bruiningsapparatuur

Personen die gebruik maken van bruiningsapparatuur lopen een verhoogd risico op het krijgen van huidcarcinomen, en mogelijk ook op het krijgen van melanomen. Hoe meer men zich van deze apparaten bedient, hoe groter de extra risico's die men loopt. Mensen die in de zon nauwelijks bruinen, dus met huidtype I en II, worden ook vaker door bruiningsapparatuur teleurgesteld, wat kan leiden tot overmatig gebruik van deze apparaten [Au94b]. Juist de mensen met deze huidtypes lopen een verhoogd risico op het krijgen van huidkanker ten opzichte van mensen met een andere huidtype [GR86UV]. Dit extra risico op het krijgen van huidkanker dient te worden afgewogen tegen de voldoening die deze personen ervaren van hun aldus gebruide huid. De aanzienlijk verhoogde risico's die men oploopt bij intensief gebruik van bruiningsapparatuur zou een argument kunnen zijn om door beleid excessief gebruik van bruiningslampen tegen te gaan. Een dergelijk beleid zou zich op twee fronten kunnen richten.

Men kan zich in de eerste plaats richten op de bruiningssalons. Hier zouden aan het personeel bepaalde eisen moeten worden gesteld op het gebied van kennis en opleiding. Op dit moment vindt er reeds overleg plaats tussen het KWF en de exploitanten van zonnestudio's over de opzet van een opleiding van dit personeel [KWF94]. Ook kan een registratiesysteem voor de cliënten overmatige blootstellingen helpen voorkomen. Tijd klokken die de zonnelampen na een bepaalde gebruikstijd automatisch uitschakelen kunnen te lange bestralingsduren tegengaan. In een klein onderzoek dat in 1985 onder een aantal Nederlandse bruiningssalons en dergelijke werd gehouden, bleken bijna alle onderzochte UV-toestellen van dergelijke tijdsschakelaars voorzien te zijn. Noodschakelaars die het toestel uitschakelen bij beschadiging van de lampen of opening van de filters werden slechts sporadisch aangetroffen [Co86].

In de tweede plaats kan men zich richten op de vrij in de handel verkrijgbare thuisapparatuur voor bruining. Degenen die zich hiermee thuis bestralen, maakten in 1984 meer dan de helft uit van alle personen die zich met UV-lampen lieten bestralen, maar zijn beleidsmatig het moeilijkst te bereiken [Br87]. Men kan overwegen fabrikanten te verplichten voorlichtingsmateriaal over de gezondheidsrisico's bij de bruiningsapparatuur in te voegen, hoewel het de vraag is hoe effectief een dergelijke maatregel is. Voor de verkopers van deze apparatuur kan men deskundigheidseisen formuleren. Een andere mogelijkheid is het verplicht stellen van eerder genoemde tijdschakelaars op de commercieel verkrijgbare bruiningstoestellen. De Stichting Consument en Veiligheid geeft een brochure uit die de koper en gebruiker van bruiningsapparatuur informeert over de gevaren van ultraviolette straling, en adviseert in het gebruik van de apparatuur [Pa94b]. In internationaal verband heeft de IRPA/INIRC een overzicht gepubliceerd van gezondheidsaspecten en -adviezen met betrekking tot bruiningsapparatuur [IRPA91b].

Als uitgangspunt voor het kiezen van een eventuele norm voor de extra blootstelling aan ultraviolette straling door bruiningsapparatuur wees de Gezondheidsraad in haar rapport uit 1986 op het verschil in bestralingsdosis die binnenwerkers en buitenwerkers per jaar ontvangen. De Gezondheidsraad kwam op grond van deze overweging op een norm van 100 MED per jaar, die bovendien *'het bereiken van de gewenste effecten van de bestraling niet onmogelijk maakt'* [GR86UV].

3 ZICHTBAAR LICHT EN INFRARODE STRALING

Van zichtbaar licht spreken we bij golflengten tussen 0,4 en 0,78 μm . Infrarode straling, met golflengten tussen 0,78 en 1000 μm , bestaat uit IRA (0,78 - 1,4 μm), IRB (1,4 - 3 μm) en IRC (3 - 1000 μm). De vermogensdichtheid van zichtbaar licht of infrarode straling die op een oppervlak valt wordt gegeven in W/m^2 .

3.1 Schadelijke effecten

Belangrijk voor de schadelijke effecten van straling in het algemeen is de penetratiediepte ervan in menselijk weefsel. IRB- en IRC-straling dringen hooguit enkele millimeters door in huid of ogen. IRA-straling en zichtbaar licht hebben een soortgelijke penetratiediepte in de huid, maar dringen in het oog door tot op het netvlies. De effecten van IRA-straling en zichtbaar licht in het oog treden daarom op in de ooglenzen, iris en het netvlies. Bij blootstelling aan te hoge lichtintensiteiten kan hierdoor verbranding in het netvlies optreden, waardoor een blinde vlek in het oog ontstaat [Va89]. De belangrijkste factor die de schade bepaalt is hierbij niet zozeer de golflengte van de straling, als wel het feit of het oog gefocuseerd is op de stralingsbron of niet [S180]. Voor zichtbaar licht omvatten de effecten op het netvlies overigens ook de fotochemische processen die het licht 'zichtbaar' maken. Bij bestraling van het oog kunnen IRA-straling en zichtbaar licht vooral thermische schade veroorzaken. IRB- en IRC-straling kunnen verbranding van het hoornvlies teweeg brengen [GR93OP].

Hoewel in de praktijk het gevaar voor schade aan de ogen belangrijker is, kunnen zichtbaar licht en infrarode straling net als ultraviolette straling verbranding van de huid veroorzaken [S180]. Bij korte bestralingsduren is de penetratiediepte in de huid belangrijk, omdat bij een kleine waarde ervan de straling in een dunnere laag van de huid moet worden geabsorbeerd, waardoor deze een grotere temperatuurstijging ondergaat. Bij lange bestralingsduren wordt de energieafgifte naar dieper gelegen weefsels belangrijk [GR93OP]. Voor verbranding van de huid zijn zeer hoge vermogensdichtheden nodig, hoger dan de drempelwaarden voor oogschade. Gewoonlijk kunnen alleen hoogvermogen lasers dergelijke vermogensdichtheden leveren. Bij vermogensdichtheden die te laag zijn om huidverbranding te veroorzaken treden ook geen andere effecten in de huid op. Wanneer het oog wordt blootgesteld aan zichtbaar licht met frequenties in het blauwe gebied, en bij vermogensdichtheden van meer dan $1 \text{ W}/\text{m}^2$ op het netvlies, dan is er sprake van het blauw-licht-gevaar ('*blue light hazard*') [S180]. Hierbij treedt schade op aan pigmentcellen van het netvlies [GR93OP]. Bij lagere vermogensdichtheden is waargenomen dat langdurige blootstelling van meer dan 8 uur schade aan het netvlies kan toebrengen ('*visual pigment hazard*'), hoewel dit wetenschappelijk niet algemeen aanvaard is [GR93OP].

Er zijn drie mechanismen bekend voor het veroorzaken van staar door infrarode straling.

Deze thermische schade aan de ooglenzen kan optreden door absorptie van de straling in de ooglenzen zelf (het Vogt-mechanisme), via indirecte verwarming door absorptie van de straling in de iris (het Goldmann-mechanisme) en via indirecte verwarming door absorptie van de straling in het hoornvlies (het Okuno-mechanisme). Afhankelijk van omgevingsfactoren en van de golflengte van de straling kunnen alle drie deze mechanismen optreden, hoewel het Okuno-mechanisme gewoonlijk het belangrijkste is. Drempelwaarden voor het optreden van staar zijn circa 1000 W/m^2 , en deze hangen af van de golflengte. Ook langdurige bestraling met lagere vermogensdichtheden van de ooglenzen kan leiden tot de vorming van staar [GR93OP].

3.2 Bronnen in medische toepassingen

Fototherapie wordt toegepast bij de behandeling van geelzucht en bij verschillende huidziekten, onder andere psoriasis. Het gebruik van fototherapie bij kanker bevindt zich nog in een experimenteel stadium. Bij deze therapeutische behandelingen wordt licht met een kleine vermogensdichtheid gebruikt [STG87]. Ter bestrijding van depressies wordt op onbepaalde schaal lichttherapie toegepast.

Bij fotodynamische therapie wordt een zogenaamde *photosensitizer* intraveneus toegediend, die zich daarna door het lichaam verspreidt. Door een nog niet goed begrepen mechanisme blijven deze stoffen langer in kwaadaardig weefsel en voorstadia daarvan aanwezig dan in normaal weefsel. Met zichtbaar licht, bijvoorbeeld afkomstig van lasers, kunnen de photosensitizers worden geactiveerd. Hierdoor wordt een fotodynamisch proces geïnitieerd dat tot de dood van kankercellen kan leiden. Deze vorm van kankertherapie is nog in ontwikkeling, en bevindt zich in de toetsingsfase [Ab92, STG87]. In Nederland is de therapie nog maar op enkele plaatsen mogelijk met experimentele apparatuur. De stichting Bokaal is opgericht om routinematige behandeling van patiënten met fotodynamische therapie te bewerkstelligen, tests uit te voeren en onderzoek te coördineren [St92b].

Omdat de penetratiediepte van zichtbaar licht in de huid gering is, zal het gebruik van fotodynamische therapie in de behandeling van kanker alleen in de bovenste 5-10 mm van de huid de beoogde celdood kunnen veroorzaken. De behandeling van kanker met deze techniek lijkt dan ook vooral geschikt voor kleine en dunne kwetsuren, hoewel ook gevorderde tumoren succesvol blijken te kunnen worden aangepakt door het reduceren van hun omvang [Ab92]. Tumoren die zich dieper in het lichaam bevinden kunnen toch met laserlicht worden bereikt door gebruik te maken van endoscopische fibers [Eg93]. Voor de behandeling van psoriasis vormt fotodynamische therapie een veelbelovende behandelingsmethode, die niet de geassocieerde risico's op het induceren van maligniteiten kent van de veelgebruikte PUVA therapie (zie hoofdstuk 2) [Bo94].

Geelzucht (*jaundice*) treedt op bij tien tot twintig procent van de pasgeboren baby's, en kan bij het achterwege blijven van een behandeling leiden tot blijvende

hersensbeschadiging. Geelzucht wordt veroorzaakt door een overmaat aan bilirubine, een geel afbraakproduct van hemoglobine. De afbraak van bilirubine wordt gestimuleerd door de baby's te bestralen met blauwlichtlampen. Hoewel onderzoekers het er over eens zijn dat groen en blauw licht het meest effectief zijn voor de behandeling, bevatten de blauwlichtlampen soms een ultraviolette component. Er zijn echter geen aanwijzingen dat deze lampen zouden leiden tot ultraviolet bestralingsdoses boven de IRPA normen [Gi90].

Lasers

Na de ontwikkeling van de laser in 1960 en de introductie ervan in de gezondheidszorg is het medisch gebruik van lasers ook in Nederland snel gegroeid [GR90LA]. Zo groeide het totaal aantal medische behandelingen met lasers in 1989 met meer dan 25 procent per jaar, en bedroeg in dat jaar circa 20.000 [St92]. Momenteel worden medische lasers in alle academische en in de meeste perifere ziekenhuizen in Nederland gebruikt [GR90LA]. De in de geneeskunde meest gebruikte soorten lasers zijn de argonlaser, de CO₂-laser en de Nd:YAG-laser [GR90LA]. In tabel 3.1 is een overzicht van de meest gebruikte medische lasers gegeven. Hoewel het bij de excimeerlaser gaat om UV-straling, is deze opgenomen in tabel 3.1 ter wille van de coherentie van het rapport.

Tabel 3.1 Overzicht van de meest gebruikte medische lasers.

	golflengte (µm)	gebruik	referentie
CO ₂	10,6 (IRC)	weefselverdamming	[Eg93]
Nd:YAG	1,06 (IRA)	sealing	[Eg93]
argonlaser	0,5 (zichtbaar licht)	fotocoagulatie	[Eg93]
Ar rhodamine dyelaser	0,63 (zichtbaar licht)	differentiële chemische vernietiging van weefsel, fotodynamische therapie	[Eg93] [St90]
He/Ne	0,63 (zichtbaar licht)	richtlaser, ook voor meten van bloedstroom	[Eg93]
dyelaser	0,32-0,98 (UVA, zichtbaar licht, IRA)	o.a. in dermatologie en oncologie	[SI91]
excimerlaser	0,19 0,25 0,31 0,35 (UV)	o.a. in oogheelkunde en cardiologie	[SI91]

Zowel excimeer- als dyelasers, met geëmitteerde straling in het ultraviolette gebied, worden toegepast om inwendig weefsel weg te snijden in bijvoorbeeld de chirurgie, of om weefsel te vernietigen tijdens fotodynamische therapieën [SI91].

Het voordeel van de laser als snij-instrument boven andere technieken is dat weefsel verdampt en wordt verwijderd zonder dat het hoeft te worden aangeraakt. Bovendien schroeit de laser bloedvaten dicht, waardoor bloedverlies wordt gereduceerd. Lasers

hebben hierdoor een plaats verworven in de oogheelkunde en de dermatologie. Daarbij gaat het om het verwijderen van de door staar aangetaste ooglens, of van tatoeages en moedervlekken. Andere toepassingen vinden plaats in de plastische chirurgie, de endoscopie en in de gynaecologie, bijvoorbeeld bij de behandeling van baarmoederhalskanker. Bij de behandeling van hart- en vaatziekten kunnen lasers worden gebruikt om blokkades thermisch te verwijderen [STG87].

In de excimeerlaserchirurgie wordt de UV-laser voornamelijk gebruikt om het hoornvlies van het oog te schaven (*iridectomie*), en daarmee bijziendheid te behandelen. In Nederland zijn er tot 1993 circa 1200 van deze behandelingen verricht [GR93LO, Be94b]. Deze behandelingen worden in Nederland uitsluitend in vijf privéklinieken toegepast, op kosten van de patiënt. De Gezondheidsraad wijst erop dat deze behandelingsmethode niet zonder risico's is, en geeft de voorkeur aan bekendere en zeer doeltreffende alternatieven, namelijk brillen en contactlenzen [GR93LO].

Diagnostische toepassingen van lasers zijn nog in ontwikkeling. Hierbij gaat het vooral om het snel analyseren van cellen via hun optische eigenschappen [STG87].

In tegenstelling tot waar doorgaans bij de gebruikers van wordt uitgegaan is de He/Ne-laser niet per definitie zonder risico's. Deze zichtbaar-licht-laser wordt vaak als 'richtlaser' gebruikt bij medische lasers die niet zichtbare infrarode of ultraviolette straling geven. Zo geldt voor een He/Ne-laser zoals die in een CO₂-laser wordt toegepast, met 2 mW vermogen, 1 mrad divergentie en 1 mm uittreediameter, een veilige afstand van nog altijd circa 10 meter. Dit vereist een laserbril met een zogenaamde optische dichtheid van 2.

Het gebruik van lasers kent naast de duidelijke stralingsrisico's ook enkele indirecte gevaren. Zo zijn er gevaren voor het oplopen van elektrische schokken, veroorzaakt door de bij lasers benodigde hoge elektrische spanningen, en de mogelijke toxische en carcinogene risico's van het inademen van rook, dat door de laser is veroorzaakt. Bij endoscopische chirurgie kan het gebruik van zuurstofgas in endotracheale tubes in combinatie met lasers leiden tot brandgevaar. Verder heeft het gebruik van gasgekoelde laserfibers in het verleden tot gasembolieën geleid [Eg91, Va89].

3.3 Overige bronnen

Bronnen van zichtbaar licht en infrarode straling zijn de zon, straalkachels, halogeenbronnen voor verwarming en verlichting, lampen en lasers in bijvoorbeeld discotheken en lasershows [GR93OP].

Voor de meeste felle visuele bronnen biedt de natuurlijke reactie, dat wil zeggen de knipperreflex en het wegdraaien van hoofd en ogen doorgaans adequate bescherming. Deze reacties treden gewoonlijk al op bij vermogensdichtheden van meer dan 1 W/m² op

het netvlies, wat slechts weinig boven de normale belasting van het netvlies ligt. De zon bestraalt het aardoppervlak met maximaal 10^3 W/m^2 op een heldere dag. Wanneer rechtstreeks in de zon wordt gekeken, dan levert dit een vermogensdichtheid op het netvlies van tijdelijk zo'n 10^5 W/m^2 . Ter vergelijking, het turen in een 1 W laser kan op het netvlies een vermogensdichtheid tot 10^{10} W/m^2 opleveren [S180]. De knipperreflex, die binnen circa 0,25 s optreedt kan in die gevallen niet snel genoeg zijn om schade te voorkomen. Bij lasershows, waar lasers worden gebruikt die veel hogere blootstellingen kunnen veroorzaken, kan dit mogelijk tot risicovolle situaties leiden.

In de industrie zijn diverse bronnen van zichtbaar licht en infrarood met een grote vermogensdichtheid in gebruik, zoals booglampen, lasers en lasapparatuur [S180]. Vooral 'glasblazersstaar', veroorzaakt door het regelmatig kijken in de hete glasoven, is een bekend effect dat samenhangt met langdurige blootstelling aan infrarode straling [Eg89].

3.4 Stralenbescherming en beleid

De Gezondheidsraad heeft in haar rapport over optische straling uit 1993 'gezondheidskundige advieswaarden' gepubliceerd. Hieruit kunnen maximaal aanvaardbare blootstellingstijden worden afgeleid wanneer van de stralingsbron eigenschappen als vermogen, divergentie en golflengte van de uitgezonden straling bekend zijn. Met deze limieten worden negatieve effecten op oog en huid voorkomen. De Gezondheidsraad adviseert overigens om de blootstellingsnormen om te rekenen naar veilige afstanden tot bijvoorbeeld lasers, maar deze omrekening blijkt vaak niet eenvoudig te zijn [GR93OP].

De Nationale Commissie Laserveiligheid (NCL) bracht in 1990 het rapport 'Laserveiligheid in het ziekenhuis' uit. Na toetsing door een commissie van de Gezondheidsraad en overleg met het toenmalige Ministerie van WVC verscheen in 1993 een tweede, verbeterde en uitgebreide editie onder de naam 'Laserveiligheid in de gezondheidszorg'. In 1995 zullen het Ministerie en de NCL gezamenlijk een GHI-bulletin uitbrengen over veilig gebruik van medische lasers, dat als richtlijn moet dienen voor de Geneeskundige Hoofdingspectie [Eg93].

Op Europees niveau wordt er gewerkt aan het standaardiseren van het beleid voor medische lasers [St92]. Een indeling van lasers in vier veiligheidsklassen is algemeen aanvaard [Va89]. Omdat er bij medische lasers vaak sprake is van diverse accessoires die van invloed zijn op de veiligheid, beveelt de Nationale Commissie Laserveiligheid aan om veiligheidsmaatregelen voor medische lasers niet op veiligheidsklassen maar op veilige afstanden te baseren [Eg93].

Het aantal ongevallen dat aan het gebruik van lasers is gerelateerd neemt toe met het aantal typen behandelingen dat met deze lasers wordt uitgevoerd. Thans bestaat er geen goede ongevalsregistratie, wat in het belang van laserveiligheid wel gewenst is. Een dergelijke registratie ontbreekt ook geheel bij schade veroorzaakt in discotheken. Hier

wordt vaak gebruik gemaakt van betrekkelijk sterke lasers die een potentieel risico inhouden voor de bezoekers. Of er hier sprake is van een probleem is, is door een gebrek aan gegevens onbekend. In de VS heeft de US Department of Health and Human Service een publicatie uitgebracht waarin de lasergebruiker gewezen wordt op de risico's en waarin richtlijnen worden gegeven deze tot een minimum te beperken [HH86]. Onderzoek naar de omvang van het gebruik en de mogelijke risico's in Nederland is gewenst, en moet uitwijzen of ook hier beleid op dit gebied wenselijk is.

In Nederland vinden regelmatig specialistische cursussen over het gebruik van medische lasers plaats [St92].

Om redenen van veiligheid moeten patiënt en wetenschappelijk personeel tijdens het gebruik van medische lasers in bepaalde gevallen speciale bescherming voor de ogen gebruiken. In het recente verleden gingen lasers vaak automatisch uit wanneer de deur van bijvoorbeeld de operatiekamer werd geopend. Dit kan gevaren voor de patiënt opleveren. In Nederland en Duitsland zei in 1992 circa de helft van de medische specialisten met dergelijke deur-interlocks te werken, terwijl dit in andere Europese landen veel minder was [St92]. De Nationale Commissie Laserveiligheid schrijft daarom voor dat deursloten het functioneren van de laser niet mogen beïnvloeden, en doet gedetailleerde aanbevelingen met betrekking tot dit veiligheidsaspect [Eg93].

4 RADIOFREQUENTE STRALING EN MICROGOLVEN

Elektromagnetische straling met frequenties tussen 3 kHz en 300 GHz (golflengte 1 mm - 10^5 m) wordt radiofrequente straling genoemd, hoewel voor het gedeelte boven 300 kHz ook de term microgolven wordt gebruikt. Omdat radiofrequente straling en microgolven voornamelijk thermische effecten in weefsel veroorzaken, heeft men het begrip SAR (Specific Absorption Rate, eenheid: Watt per kilogram, symbool W/kg) ingevoerd. Deze beschrijft de hoeveelheid energie die het lichaam per seconde per kilogram lichaamsgewicht uit het stralingsveld absorbeert. Zo ondergaat een stuk vlees in de magnetron een SAR van zo'n 700 W/kg [Os87]. Omdat de SAR in feite verschillend is voor de diverse organen werkt men vaak met een 'lichaamsgemiddelde SAR'. Een stralingsveld dat de plaats van het menselijk thermoregulier systeem moet innemen om de lichaamstemperatuur op 37 °C te houden, moet een lichaams-gemiddelde SAR van typisch 1 - 20 W/kg teweegbrengen [Mo88].

Voor radiofrequente straling en microgolven gebruikt men in plaats van het begrip vermogensdichtheid (eenheid: Watt per vierkante meter, symbool W/m^2) vaak de sterkte van het elektromagnetisch veld. Dit veld heeft twee componenten. Zo definieert men een elektrische veldsterkte (eenheid: Volt per meter, symbool V/m) en een magnetische veldsterkte (eenheid: Ampère per meter, symbool A/m). Tenslotte kunnen elektromagnetische velden stroompjes opwekken in bijvoorbeeld menselijk weefsel. De grootte van een stroom die door een oppervlak heen loopt, wordt aangeduid met de stroomdichtheid (eenheid: Ampère per vierkante meter, symbool A/m^2).

4.1 Mogelijke schadelijke effecten

Omdat de natuurlijke achtergrondstraling in het frequentiegebied van de radiofrequente straling vrijwel nihil is, heeft het menselijk lichaam nauwelijks beschermingsmechanismen tegen deze stralingssoort [VROM90]. Over de biologische effecten van microgolfstraling bestaat een omvangrijke hoeveelheid literatuur, met zeer uiteenlopende resultaten en soms tegenstrijdige conclusies. Hierdoor is het moeilijk een beknopte samenvatting te geven [Bo88b].

Frequentie-afhankelijkheid

Voor frequenties lager dan 10 à 100 kHz is het belangrijkste effect van blootstelling aan radiofrequente straling de prikkeling of stimulatie van zenuwcellen en spiercellen [Gr92]. Dit effect treedt alleen op bij velden met een hoge vermogensdichtheid, voor elektrische velden groter dan $25 MW/m^2$ en voor magnetische velden groter dan $850 MW/m^2$ [WHO82].

Voor frequenties hoger dan 10 à 100 kHz is het belangrijkste biologische effect vooral opwarming van het weefsel [Gr92]. Bij deze frequenties wordt de meeste straling die op

het lichaam valt weerkaatst. Pas bij de zogenaamde resonantiefrequentie van 70 MHz, of 35 MHz bij aarding, is de interactie tussen het lichaam en het stralingsveld maximaal, en neemt bij hogere frequenties weer af. Voor frequenties tussen 0,3 en 1,0 GHz, en boven 3 GHz wordt ongeveer 40 procent van de stralingsenergie door het lichaam geabsorbeerd. De penetratie van de straling is hooguit enkele centimeters voor 0,3 GHz straling, en neemt verder af bij toenemende frequenties zodat absorptie aan de oppervlakte domineert. Bij zekere frequenties kan focussing in bijvoorbeeld het hoofd optreden, wat leidt tot zogenaamde 'hot spots'. Verder is de penetratiediepte van de straling afhankelijk van het watergehalte van het weefsel [GR75M, Ku91].

Thermische effecten

De warmteontwikkeling in het weefsel, veroorzaakt door blootstelling aan radiofrequente straling, kan aanleiding geven tot een verhoging van de lichaamstemperatuur. Volgens berekeningen raakt het menselijk thermoregulier systeem overbelast wanneer het lichaam langere tijd aan 75 MHz straling met een vermogensdichtheid groter dan 300 W/m^2 wordt blootgesteld [Mo88]. Extra gevaar lopen mensen bij wie de thermoregulatie al verslechterd is, bijvoorbeeld door hart- en vaatziekten [Be92].

De ooglen is extra gevoelig voor thermische effecten, omdat deze niet doorbloed is en warmte daardoor slecht kan worden afgevoerd. Het optreden van staar is dan ook een groot potentieel gevaar van microgolfbestraling [Mo88]. Bij korte bestralingsduren treedt staar alleen op bij zeer hoge vermogensdichtheden, hoger dan 1500 W/m^2 [Bo88b]. Ondanks veel onderzoek is niet aangetoond dat langdurige blootstelling aan straling met kleine vermogensdichtheid tot de vorming van staar kan leiden [Be88, WHO82].

Overige effecten

Er is een aantal epidemiologische onderzoeken uitgevoerd naar mogelijke lange termijn effecten van radiofrequente straling. Onderzoeken onder radarwerkers, gepensioneerd marinepersoneel en anderen die beroepsmatig veel aan microgolven waren blootgesteld hebben geen significante effecten aangetoond voor wat betreft mortaliteit, leukemie en diverse andere soorten kanker of morbiditeit in het algemeen [Be88, Be92, WHO82]. Er bestaat weinig literatuur over eventuele schade die radiofrequente straling aan de menselijke foetus kan toebrengen [WHO82], en nadelige effecten op de groei of de ontwikkeling van het embryo zijn niet aangetoond [WHO82]. In dierexperimenten zijn dergelijke effecten van thermische aard wel waargenomen wanneer de straling waarmee het lichaam wordt bestraald vermogensdichtheden groter dan 100 W/m^2 heeft.

Er is nog een aantal indirecte effecten van radiofrequente straling mogelijk, zoals het opwarmen van metalen implantaten, en elektrische schokken of verbrandingen bij het aanraken van opgeladen metalen voorwerpen [Be88]. De invloed van radiofrequente velden op ionentransport in het lichaam, zoals de efflux van calcium uit hersenweefsel, is klein. In de literatuur wordt een groot aantal 'athermische effecten' van radiofrequente straling vermeld, variërend van gedragsveranderingen tot vermindering van het

weerstandsvormogen. Voor al deze effecten ontbreekt een plausibele verklaring, en geen enkele van deze 'athermische effecten' wordt als zodanig algemeen erkend [Bo88b].

4.2 Bronnen in medische toepassingen

De twee belangrijkste therapeutische toepassingen van microgolfstraling zijn diathermie en hyperthermie. In deze toepassingen wordt de mogelijkheid van microgolven gebruikt om diepliggend weefsel te verwarmen, zonder dat daarvoor het lichaamsoppervlak buitensporig hoeft te worden verhit [Ku91].

Diathermie

In de fysiotherapie is diathermie, letterlijk 'doorwarming', een belangrijke methode om diepgelegen weefsel te verwarmen en zo het metabolisme en de bloedcirculatie te verhogen [Ku91]. Hierdoor is diathermie de voornaamste medische toepassing van microgolfstraling [GR75M]. Al naar gelang de golflengte van de gebruikte microgolven onderscheidt men ultrakortegolftherapie (golflengte 11,06 m en frequentie 27,12 MHz), decimetergolftherapie (golflengte 69 cm en frequentie 433 MHz) en radardiathermie ofwel microgolftherapie (golflengte 32,8 cm en frequentie 915 MHz, of golflengte 12,25 cm en frequentie 2450 MHz). Het aantal mensen dat jaarlijks blootgesteld wordt aan fysiotherapeutische radiofrequente straling vormt een onbekend deel van de circa 2 miljoen Nederlanders die jaarlijks een fysiotherapeut bezoeken [CBS95].

Bij metingen die werden verricht aan de diathermie-apparatuur die op vier Nederlandse fysiotherapie-instituten werden gebruikt, bleken vrijwel alle behandelingsmethoden equivalente vermogensdichtheden voor de patiënt op te leveren van minder dan 100 W/m^2 ; bij enkele ultrakortegolf-behandelingen werd meer dan 100 W/m^2 gemeten [Wo85]. Vooral bij decimetergolftherapie is het belangrijk ervoor te waken dat de toegediende doses niet te hoog zijn, omdat de patiënt daarvoor niet wordt gewaarschuwd door een duidelijk warmtegevoel [GR75M].

Bij ultrakortegolftherapie plaatst men twee elektrodes op het te behandelen lichaamsdeel van de patiënt, of kabels worden om het lichaamsdeel of in een spoel gewonden bij het lichaamsdeel gehouden. Ook andere lichaamsdelen, die niet hoeven worden behandeld, worden blootgesteld aan elektrische en magnetische velden. Hiervoor zijn vermogensdichtheden gemeten van $25 - 2500 \text{ W/m}^2$ voor de elektrische velden, en 1000 W/m^2 voor de magnetische velden [Be92].

Bij microgolftherapie wordt stroom via een coaxiale kabel naar een zogenaamde applicator of aerial gevoerd, die op een vaste positie boven het te behandelen lichaamsdeel van de patiënt wordt geplaatst [Mo88]. Hier ligt de belasting voor de patiënt aanzienlijk lager dan bij ultrakortegolftherapie, maximaal is een vermogensdichtheid van 85 W/m^2 gemeten [Bo88b]. Niet alle straling waar de patiënt aan wordt blootgesteld is ook effectief voor de behandeling, omdat slechts een deel van deze dosis, dat overigens moeilijk te berekenen

is, ook werkelijk door het weefsel wordt geabsorbeerd [GR75M].

Behalve voor fysiotherapie bestaat er ook een chirurgische toepassing van diathermie, de zogenaamde elektrochirurgie. Hierbij wordt een hoogfrequente stroom door een elektrode geleid waardoor een plasmaboog ontstaat waarmee weefsel lokaal kan worden verhit [Mo88]. Als chirurgisch mes wordt de techniek veel gebruikt in de urologie, gynaecologie en neurochirurgie [Bo88b]. Er wordt gebruik gemaakt van frequenties tussen 0,3 en 3 MHz [Be88]. Op 16 cm afstand van de plasmaboog kunnen elektrische velden worden gemeten met vermogensdichtheden van 100 - 2500 W/m², en magnetische velden met vermogensdichtheden van 1,3 - 200 W/m² [Mo88].

Hyperthermie

De warmte die in weefsel ontstaat bij blootstelling aan microgolfstraling kan ook worden gebruikt om kankerweefsel te bestrijden. Frequenties vanaf 27,12 MHz worden gebruikt voor deze behandelingsmethode, die hyperthermie wordt genoemd, terwijl ook waarden van 915 GHz worden genoemd. Bij laatstgenoemde frequentie is op 5 cm van de elektrode lekstraling gemeten met een equivalente vermogensdichtheid lager dan 150 W/m² [Mo88, Bo88b]. Om hersentumoren te behandelen wordt momenteel een speciale techniek, de hersenhyperthermie ontwikkeld [Ry94b].

4.3 Overige bronnen

In het microgolfstralingsgebied is het niveau van de natuurlijke achtergrondstraling zeer gering, onder andere omdat de ionosfeer het aardoppervlak beschermt tegen straling uit het heelal [Mo88]. Radio- en televisiezendmasten, en in mindere mate radar en satellietcommunicatie, vormen dan ook de belangrijkste bronnen van microgolfstraling in het buitenmilieu. In 1980 is in de Verenigde Staten een onderzoek verricht naar de blootstelling van de bevolking aan de microgolfstraling die deze bronnen uitzonden. Hieruit volgde een gemiddelde blootstelling van 50 μ W/m². Voor 0,6 procent van de bevolking was de blootstelling hoger dan 10 mW/m² [Be88].

De kenmerken van een aantal radiofrequente stralingsbronnen zijn weergegeven in tabel 4.1. Naast het vermogen van de bron en de frequentie van de uitgezonden straling, is ook de vermogensdichtheid vermeld van het uitgezonden veld op de aangegeven afstand van de bron vandaan. De in de tabel vermelde getallen gelden als typisch voor de genoemde bronnen, maar kunnen afwijken voor specifieke gevallen.

Tabel 4.1 Enkele bekende bronnen van radiofrequente straling, met typische waarden voor frequentie en vermogen, en daarbij behorende vermogensdichtheid op een opgegeven afstand van de bron.

bron	frequentie (MHz)	vermogen (W)	afstand (m)	vermogensdichtheid (W/m ²)	ref.
radiozender, middengolf	0,5 - 1,6	1.800.000 ¹⁾	50	500	Be92
sterke radio- en tv-zender, FM	88 - 108	< 100.000	1.500	< 0,05	Be88
CB-radio, walkie-talkie	27	4	0,12	< 1000	A191
televisietoestel	0,001 - 10	²⁾	0,25	< 0,5	Bo88b
winkeldiefstalalarm (etiketsysteem)	915	²⁾	³⁾	< 2	Be88
verkeersradar ⁴⁾	9.000 - 35.000	0,0005 - 0,1	3	< 0,25	Be88
grondradar ⁴⁾ Schiphol (verkeerstoren)	16.175	60.000	69	10	St93

- ¹⁾: De omroepzenders in Nederland hebben een lager vermogen dan de in de tabel vermelde literatuurwaarde. Zo bestaat het voor Nederlandse begrippen zeer krachtige omroepstation Flevoland uit drie zenders met 600.000 W vermogen, waarvan er één als reserve dienst doet; meestal blijkt er niet meer dan 400.000 W vermogen te worden gebruikt [Wo85]. De radio- en tv-zender in Lopik heeft een uitstralend vermogen van 100.000 W [NOZ95].
- ²⁾: Geen precieze gegevens voorhanden.
- ³⁾: Binnen de werkingsafstand van het alarmsysteem.
- ⁴⁾: Bij radarsystemen gaat het overigens meestal niet om continue maar om gepulste zenders.

In de tabel valt vooral de grote vermogensdichtheid op die vlakbij de veelgebruikte 27 MHz amateurzenders ('bakkies') en walkie-talkies wordt gemeten. Deze hoge waarden worden door verschillende bronnen bevestigd. Vooral voor in de hand vastgehouden modellen kan de blootstelling normen overschrijden [Be88, Be92, Bo88b, A191].

Een onderwerp dat recent veel aandacht in de media en van bijvoorbeeld de Inspectie van de Gezondheidszorg heeft gekregen is de interferentie van radiofrequente straling, afkomstig uit commercieel verkrijgbare bronnen als draagbare telefoons, walkie-talkies en winkelpoortjes voor diefstalbeveiliging, met medische apparatuur in ziekenhuizen, maar ook met implantaten in het lichaam. Anekdotische verhalen voeren hierbij de overhand:

airbags die door de autotelefoon worden geactiveerd, pacemakers die acuut stoppen bij het betreden van een tegen diefstal beveiligde winkel, enzovoort. De Stichting Samenwerkende Telecommunicatie Vakhandelaren wijst op problemen met autotelefoons in auto's met airbag, injectiesysteem en ABS-remsysteem [Vk93].

Een belangrijke aanleiding voor deze commotie vormt een nieuw communicatienet dat recent in Nederland in gebruik is genomen. Naast de oudere netten is in juli 1994 een nieuw digitaal net in gebruik genomen, het Europese GSM-net (Global System Mobile communications) voor mobiele telefoons. Dit net opereert met zendfrequenties van 900 MHz en schakelfrequenties van 200 Hz. De aangesloten telefoons hebben een maximaal zendvermogen van 2 W. De 650 basisstations in Nederland zenden continu met 20 W vermogen uit, maar vormen geen storingsbron door de lengte van de zendmast [PTT95]. Het GSM-net vormt een speciaal probleem omdat de aangesloten telefoons ook zenden wanneer er niet mee wordt gebeld. Vooral de schakelfrequentie leidt tot interferentie met bijvoorbeeld gehoorapparaten. Ook pacemakers en medische apparatuur in ziekenhuizen zouden door het GSM-net kunnen worden beïnvloed.

Magnetrons

Voor de consument is de magnetron waarschijnlijk de meest wijdverbreide toepassing van microgolflstraling, in dit geval met een frequentie van 2,45 GHz [Be92]. In Duitsland werd er in 1992 in circa 34 procent van de huishoudens gebruik gemaakt van een magnetron, en het corresponderende cijfer voor Nederland zal hier vermoedelijk niet veel van afwijken [Ma92].

De gebruiker van een magnetron zou aan microgolflstraling kunnen worden blootgesteld door lekstraling die tijdens het gebruik uit het apparaat ontsnapt, of door falen van het mechanisme dat de straling in de oven doet stoppen wanneer het deurtje wordt geopend. Dit laatste komt maar zeer sporadisch voor [Ma86]. Wat betreft de lekstraling bestaat er een internationale norm, de IEC 335-25, 'Safety of household and similar electrical appliances, part 2: Particular requirements for microwave cooking appliances'. Deze stelt dat maximaal 50 W/m² aan lekstraling mag worden gemeten op 5 cm van de magnetron. Op grotere afstanden neemt de vermogensdichtheid van de lekstraling af met het kwadraat van de afstand, dat wil zeggen dat tweemaal zo ver van het apparaat een viermaal kleinere vermogensdichtheid wordt gemeten [Bo88b]. Voor een magnetron die precies de hoeveelheid lekstraling heeft van deze internationale norm, wordt een lichaamsgemiddelde SAR geschat van 0,04 W/kg op 30 cm afstand van het apparaat [A191]. In een aantal onderzoeken is gebleken dat de lekstraling op de aangegeven plaats gemiddeld een vermogen van minder dan 10 W/m² heeft, en er slechts in één enkel geval niet aan de norm werd voldaan. Er bleek geen verband te bestaan tussen de hoeveelheid weglekkende straling en het vermogen of de mate van gebruik van de magnetron, noch van het merk. Of de hoeveelheid lekstraling toeneemt met de ouderdom van de magnetron wordt door verschillende auteurs verschillend beoordeeld. Echte gevaren vanwege te grote vermogensdichtheden lekstraling ontstaan alleen bij beschadigingen, storingen en

ondeugdelijke reparaties [Bo88b, Ma92, Ma92b].

Een aantal andere veiligheidsaspecten van koken met de magnetron genoot in het verleden veel belangstelling van de media. Zo zouden microgolven tijdens het verwarmen van melk met behulp van een magnetron racemisering van zekere aminozuren veroorzaken, en daarmee productie van D-aminozuren veroorzaken [Lu89]. In verschillende onderzoeken bleken dergelijke specifieke microgolfeffecten niet te kunnen worden aangetoond [De92]. Andere vermeende problemen van het koken met de magnetron, zoals de ongelijke verwarming van voedsel of vloeistoffen, vallen buiten het bestek van dit rapport [Lu89b, Ma86, Ju91].

4.4 Stralenbescherming en beleid

De Gezondheidsraad heeft in 1975 in haar advies over microgolfstraling limietwaarden voorgesteld voor zowel de gebruikers van microgolfapparatuur als voor incidentele blootstelling. Het doel van deze richtlijnen is het beschermen tegen thermische effecten. De Gezondheidsraad heeft de niet-thermische effecten niet in aanmerking genomen, aangezien daarvan de biologische werking onbekend is. Bij continue bestraling werd per etmaal een maximale vermogensdichtheid van 10 W/m^2 gemiddeld over 1 seconde aanbevolen. Voor korte blootstellingen stelde men een maximale vermogensdichtheid van 500 W/m^2 voor, terwijl de maximaal toegestane blootstellingstijd in minuten per uur wordt berekend als $600/Q$, met Q de vermogensdichtheid in W/m^2 [GR75M]. Het ziet er naar uit dat (alleen) CB-radio's en walkie-talkies niet aan deze norm voldoen.

De IRPA neemt in de richtlijnen van 1988 als basisrichtlijn de lichaamsgemiddelde SAR. Voor blootstelling van de algemene bevolking aan radiofrequente straling met frequenties hoger dan 10 MHz formuleerde men een limietwaarde van $0,08 \text{ W/kg}$, gemiddeld over een periode van 6 minuten. Deze limiet is gebaseerd op het optreden van thermische effecten. Bij meer lokale blootstelling geldt als schadedrempel voor handen en voeten 20 W/kg , en voor andere delen van het lichaam 10 W/kg [IR88].

De gangbare typen scheepsradar, met een gemiddeld vermogen van minder dan 10 W, zijn volgens de Gezondheidsraad ongevaarlijk, mits de leverancier een handleiding met installatie- en gebruiksvoorschriften meeleverd, en er een goede beveiliging is die de straling uitschakelt wanneer de radar niet ronddraait [GR75M].

De Gezondheidsraad hield in haar richtlijnen van 1975 geen rekening met specifieke gezondheidseffecten van gepulste radiofrequente straling. Gezien het snel groeiend aantal technische toepassingen van gepulste radiofrequente straling zou vooral op dit punt een nieuw advies van de Gezondheidsraad nodig kunnen zijn [GR75M].

Voor het fysiotherapeutisch gebruik van microgolven heeft de Gezondheidsraad in 1975 een aanbeveling opgesteld omtrent de deskundigheidseisen waaraan de fysiotherapeut en

diens paramedisch personeel dienen te voldoen. Een nauwkeurige omschrijving van deze deskundigheidseisen in termen van ervaring en theoretische kennis werd buiten het bestek van het toenmalig advies geacht, maar is niettemin wenselijk om een wettelijke regeling aangaande deskundigheid voor microgolffstraling mogelijk te maken [GR75M].

De media schenken regelmatig aandacht aan eventuele risico's die bewoners ondergaan door de blootstelling aan elektromagnetische straling afkomstig van radio- en televisiezenders in de buurt van woningen. Een recent voorbeeld is de aandacht voor de geplande versterking van het vermogen van de zender in Lopik, in de buurt waarvan bovendien een nieuwe woonwijk gebouwd gaat worden. In een hierop gelijkende situatie wees in 1988 de toenmalige minister van Milieubeheer er op dat voor zendinstallaties een hinderwetvergunning nodig is, waarin gemeenten voorschriften kunnen opnemen over een maximaal toelaatbare veldsterkte [NVS88].

Interferentie met medische apparatuur en andere technische voorzieningen

In 1996 wordt een Europese wet in Nederland ingevoerd die voor elektronische apparatuur de afscherming tegen elektromagnetische strooivelden regelt. Deze wet zal strenger zijn dan de huidige Nederlandse normen. Wanneer de huidige Nederlandse normen worden toegepast, dan volgt voor er een 'veilige afstand' van een maximaal vermogen zendende GSM tot medische apparatuur van 2,6 meter. De Inspectie voor de Gezondheidszorg adviseert om het gebruik van draadloze telefoons te verbieden in ziekenhuizen en andere medische instellingen. De ziekenhuizen reageren verschillend op het advies [PTT95].

Magnetrons

Voor magnetrons stelde de Gezondheidsraad in 1975 als norm dat op 5 cm van enig oppervlak de optredende lekstraling de 50 W/m^2 niet mag overschrijden [GR75M]. Soortgelijke normen bestaan in Duitsland en in de VS [Bo88b]. Wanneer de resultaten van onder andere Duitse onderzoeken naar de veiligheid van magnetrons mogen worden geëxtrapoleerd naar de situatie in Nederland, dan is er geen reden om er aan te twijfelen dat de magnetrons die voor de consument te koop zijn aan deze normen voldoen.

5 EXTREEM LAAGFREQUENTE ELEKTRISCHE EN MAGNETISCHE VELDEN

Extreem laag frequente (ELF) straling is elektromagnetische straling met frequenties lager dan 3000 Hz, ofwel golflengten langer dan 100 km. Hieronder rekent men ook de statische elektrische en statische magnetische velden. De sterkte van het elektromagnetische veld wordt aangegeven met de elektrische veldsterkte (eenheid: Volt per meter, symbool V/m) en de magnetische veldsterkte (eenheid: Ampere per meter, (A/m^2)) of magnetische fluxdichtheid (eenheid: Tesla, symbool T).

5.1 Mogelijke schadelijke effecten

Acute effecten van statische elektrische velden treden op doordat deze elektrische ladingsverdelingen aan het lichaamsoppervlak opwekken. Bij blootstelling aan statische magneetvelden of wisselende ELF-elektromagnetische velden ontstaan elektrische stromen in het lichaam. De stroomdichtheid, uitgedrukt in A/m^2 , is bepalend voor de fysiologische effecten van ELF-elektromagnetische velden. Het blijkt moeilijk te zijn een verband te vinden tussen bijvoorbeeld frequentie en sterkte van de aangelegde elektromagnetische velden, en de in het lichaam optredende stroomdichtheden. Voor magnetische velden met een frequentie van 50 Hz is de stroomdichtheid, in A/m^2 , ruwweg gelijk aan driemaal de magnetische fluxdichtheid in Tesla (symbool: T). Een elektrisch veld van 10.000 V/m en 60 Hz levert ter hoogte van de hals een stroomdichtheid van ongeveer $5 mA/m^2$ [GR92ELF]. De stroomdichtheid is recht evenredig met de sterkte van het elektrisch veld waar de stroomdichtheid door wordt veroorzaakt [BWEF93].

De kleinste stroomdichtheden die van nature in het lichaam voorkomen zijn waarschijnlijk circa $1 mA/m^2$, opgewekt door de velden die tussen hersencellen voorkomen [WHO82]. Fysiologische effecten van blootstelling aan externe ELF-elektromagnetische velden die stroomdichtheden induceren lager dan deze waarde zijn niet vastgesteld. Voor stroomdichtheden kleiner dan $10 mA/m^2$ zijn de fysiologische effecten gering. Boven de $10 mA/m^2$, overeenkomend met de maximale stroomdichtheid van de meeste natuurlijk voorkomende processen in het lichaam, zijn er wel duidelijke fysiologische effecten [IN90]. Voorbeelden zijn visuele gewaarwordingen van de blootgestelde persoon (*magnetofosfenen*) en effecten op het zenuwstelsel, maar ook een stimulerend effect op de heling van botbreuken [Sc91]. Bij $100 mA/m^2$ worden neuronen geprikkeld, en boven deze waarde treden fysiologische effecten op die schadelijk voor de gezondheid kunnen zijn. Bij stroomdichtheden boven de $1000 mA/m^2$ worden zenuwcellen geprikkeld, en treedt er acuut gevaar voor de gezondheid op door bijvoorbeeld hersenbeschadiging en hartfibrillatie [Ob88, GR92ELF, WHO82]. Overigens kunnen stroomdichtheden groter dan $100 mA/m^2$ nooit uitsluitend worden veroorzaakt door elektrische velden in de lucht, omdat de benodigde elektrische veldsterkten hoger zijn dan de doorslagspanning van lucht [Ne88]!

In de literatuur zijn verschillende mogelijke lange termijn effecten onderzocht van blootstelling aan ELF-elektromagnetische velden, zoals effecten op de ongeboren vrucht en diverse ziekten. Bij langdurige blootstelling aan ELF-elektromagnetische velden met lage veldsterkte zijn dergelijke effecten niet gevonden. *In vitro* studies hebben laten zien dat deze velden op cellulair niveau waarneembare gevolgen kunnen hebben, bijvoorbeeld op neuro-transmitters en ionentransport. Wat betreft het ontstaan van kanker is het onwaarschijnlijk dat ELF-elektromagnetische velden mutaties in DNA kunnen veroorzaken, omdat de energie van de straling te klein is om chemische bindingen te breken. Beïnvloeding van de celdeling zou alleen bij hoge veldsterkten mogelijk kunnen zijn [GR92ELF].

Sinds het eind van de jaren zeventig zijn verschillende epidemiologische onderzoeken gepubliceerd naar mogelijke schadelijke gezondheidseffecten van langdurige blootstelling aan ELF-elektromagnetische velden. Vooral de onderzoeken naar correlaties tussen het wonen in de buurt van hoogspanningslijnen en het optreden van diverse soorten kanker, waaronder leukemie, hebben in de vakliteratuur en in de internationale media veel stof doen opwaaien. De Gezondheidsraad geeft in het advies uit 1992 omtrent ELF-elektromagnetische velden een samenvatting van de resultaten van deze onderzoeken, en concludeert dat deze *'niet de aannahme rechtvaardigen van een verband tussen blootstelling aan ELF-elektromagnetische velden en een verhoging van het risico op het krijgen van kanker. Het merendeel van de onderzoeken heeft methodologische onvolkomenheden. De resultaten laten geen consistent beeld zien en zijn in het algemeen niet reproduceerbaar gebleken in herhaald onderzoek'* [GR92ELF].

Indirecte wisselwerking van het lichaam met ELF-elektromagnetische velden kan plaatsvinden wanneer geleidende voorwerpen worden aangeraakt die door deze velden opgeladen zijn geraakt. Hierbij kan een contactstroom gaan lopen, of zelfs vonkontlading ontstaan. Wanneer de contactstroom groter is dan circa 10 mA dan is de optredende elektrische schok zeer pijnlijk, en is het mogelijk dat de persoon door ongecontroleerde spiercontractie het voorwerp niet meer los kan laten [Sc91].

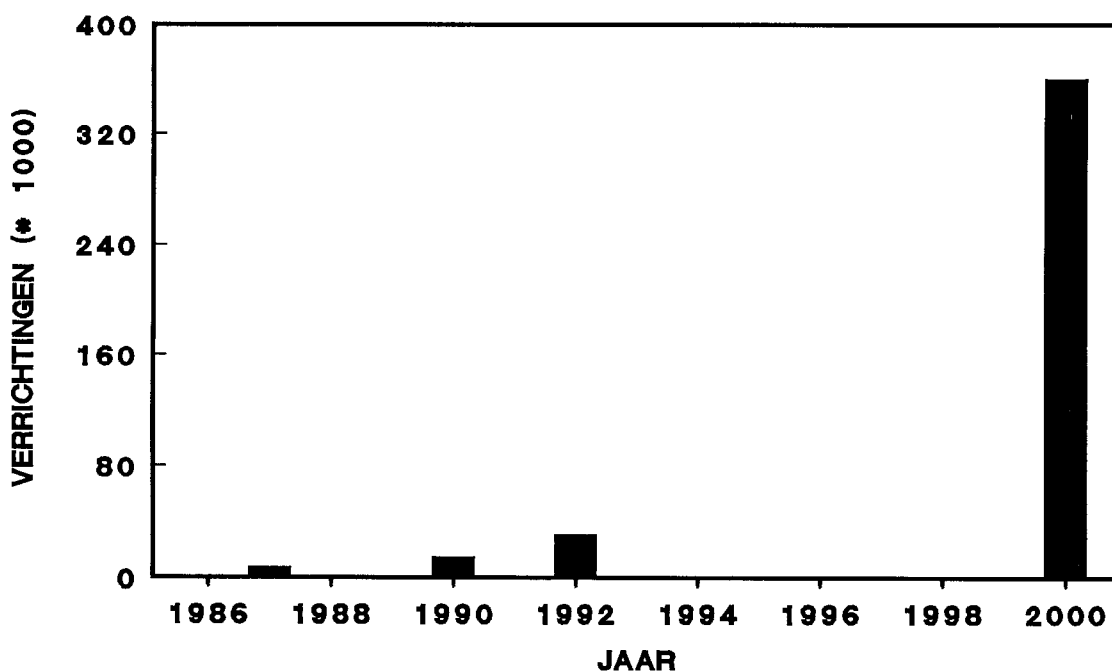
Elektrische velden kunnen tenslotte de werking van elektronische implantaten, zoals pacemakers beïnvloeden [IN90, IN94]. De wereldgezondheidsorganisatie stelde in 1984 dat elektrische velden met een frequentie van 50 Hz en met veldsterkten kleiner dan 2500 V/m geen gevaar opleveren voor de werking van pacemakers [IN90]. Ook de invloed van magneetvelden op geïmplanteerde pacemakers is onderzocht. Bij een onderzoek naar meer dan 1200 pacemakers van 18 verschillende fabrikanten bleek de werking van 87 procent van de pacemakers te worden beïnvloed bij statische magneetvelden sterker dan 2000 μ T, 1,7 procent bij 500 μ T, en de meest gevoelige pacemaker werd al bij 310 μ T beïnvloed [IN94].

5.2 Bronnen

Bij ELF-elektromagnetische velden wordt meestal gedacht aan kunstmatige bronnen, maar ook in de natuur komen deze velden voor. Het aardmagnetisch veld is een natuurlijk statisch magnetisch veld, met in Nederland een fluxdichtheid van ongeveer 50 μT . Het natuurlijke statische elektrische veld heeft gewoonlijk een sterkte van ongeveer 130 V/m, maar tijdens onweer worden sterkten tot 100.000 V/m gemeten. Zowel natuurlijke magnetische als natuurlijke elektrische velden hebben ook componenten met frequenties van 50 - 60 Hz, met een magnetische fluxdichtheid van $10^{-6} \mu\text{T}$ en een elektrische veldsterkte tot 0,0006 V/m (bij onweer maximaal 0,5 V/m) [Sc91, GR92ELF].

MRI

Kernspinresonantie (Magnetic Resonance Imaging of MRI) is een vrij nieuwe methode van beeldvormende diagnostiek, waarbij behalve ELF-elektromagnetische velden ook radiofrequente straling wordt toegepast. Sinds de eerste installatie van een MRI-apparaat in Nederland, in 1983, stijgt het aantal verrichtingen dat met MRI wordt uitgevoerd snel. Het totaal aantal verrichtingen in Nederland bedroeg in 1987 7.000, in 1990 14.000 en in 1992 30.000 [NRV93, Va90]. Vooral bij het onderzoek van het centrale zenuwstelsel, zoals bij hersendiagnostiek, bij het opsporen van tumoren en het onderzoek van gewrichten, pezen, banden en spieren vindt MRI haar grootste toepassingen. Het hart- en bloedvatenonderzoek met behulp van MRI vindt steeds vaker plaats [Ru92, Ry94].



Figuur 5.1 Het aantal MRI-verrichtingen in Nederland [NRV93, Va90].

De dalende aanschaf- en onderhoudskosten brengen MRI steeds meer binnen handbereik van de meeste ziekenhuizen. Het is daarom aannemelijk dat in het jaar 2000 alle grotere ziekenhuizen een eigen MRI-systeem zullen hebben. Op het moment wordt door de Nationale Raad voor de Volksgezondheid (NRV) geschat dat ongeveer een kwart van alle MRI-voorzieningen in de plaats van traditionele röntgendiagnostische voorzieningen zoals angiografie, computertomografie (CT) en fluoroscopie wordt uitgevoerd. In 1993 werd verwacht dat in het jaar 2000 het aantal CT-voorzieningen gehalveerd zal zijn [NRV93]. Hiermee overeenkomstig zal de groei van MRI in de komende jaren bijdragen aan verlaging van de stralenbelasting met ioniserende straling, en tevens aan vermindering van het gebruik van potentieel toxische röntgen-contrastvloeistoffen.

Het afbeelden van het menselijk lichaam met behulp van MRI vereist het simultaan toepassen van drie soorten niet-ioniserende straling, namelijk een statisch magneetveld, een in de ruimte en tijd wisselend magneetveld en radiogolven.

Effecten van het statisch magneetveld

De iets oudere MRI-apparaten hebben statische magneten met fluxdichtheden van 0,5 T, maar bij de nieuwste modellen is dit opgelopen tot 2-4 T [Kr88]. Bij magneetvelden met fluxdichtheden kleiner dan 1 T vallen microscopische effecten, zoals verplaatsingen en heroriëntaties op moleculair en cellulair niveau, in het niet bij de thermische bewegingen van moleculen. Vanaf een fluxdichtheid van 0,1 T kunnen er reversibele macroscopische effecten optreden ten gevolge van wisselwerking met ionen in de bloedbaan. De kracht die een magnetisch veld op het stromend bloed uitoefent is zeer gering en is slechts boven 5 T meetbaar [Do90]. De zichtbare vertekeningen van het electrocardiogram (ECG) zijn omkeerbaar en hebben geen invloed op de hartfunctie [A193, Do90]. Hoewel een magneetveld een kracht uitoefent op de elektrische stroom in de zenuwen, is er geen invloed op de hartspier te verwachten zolang de fluxdichtheid onder de 2 T blijft [A193]. Er zijn geen aanwijzingen voor het optreden van nadelige effecten bij het blootstellen van het hele lichaam aan velden tot 2 T [IRPA91, Ko91]. Bij blootstelling aan 5 T kunnen er merkbare effecten op het cardiovasculair systeem optreden, hoewel bij vrijwilligers die aan 10 T werden blootgesteld geen nadelige effecten zijn waargenomen, met uitzondering van een gevoel van ongemak [IRPA91]. Er zijn geen bewijzen voor nadelige effecten op de vruchtbaarheid of op de groei van het embryo, noch voor kankerinductie [GR92ELF, NVRL92, Do90, Ko91].

Effecten van het wisselend magneetveld

Hoewel theoretisch mogelijk, komen zenuw- en spierexcitatie, hartritmestoornissen en epileptogene activiteiten niet voor bij het bedrijven van routinediagnostiek [A193]. De kans op zenuwstimulatie van hart en ledematen, die de grootste bedreiging voor de patiënt vormen, is afhankelijk van de verhouding tussen de inschakeltijd en de tijdconstante van de betrokken celsoort. Daarom dient bij het stellen van de limiet aan de blootstelling van een bepaald lichaamsdeel niet alleen de hoogte van de tijdsgradiënt maar ook de inschakeltijd te worden gespecificeerd. In het algemeen geldt dat hoe korter de

inschakeltijden des te hoger de toegestane tijdsgradiënten [NRPB91, Le92]. De lichtflitsen die zijn waargenomen door personen die aan wisselende velden werden blootgesteld, vormen wellicht een van de meest gevoelige fysiologische responsen op wisselende velden die vanaf 4 T kunnen optreden [A193]. Tegenwoordig wordt dit effect niet meer door MRI patiënten gemeld [Do90]. De relatie tussen de fluxdichtheid van wisselende velden en hun effecten is niet duidelijk, zodat men in de praktijk kiest voor een limiet ruim onder de tijdsgradiënt van 40-70 T/s die stimulatie van perifere- en hartzenuwen kan veroorzaken [Le92]. De steeds sneller wordende opnametechnieken benaderen steeds dichter de veiligheidsgrenzen.

Effecten van de radiogolven

Een patiëntenonderzoek met behulp van MRI heeft normaliter SAR-waarden van 0,001 tot 0,1 W/kg tot gevolg. Het optreden van lokale oververhitting wordt onmogelijk geacht. Zelfs bij het scannen met een 1,5 T magneetveld en een SAR van 3 W/kg gedurende 20 minuten is er geen significante stijging van lichaamstemperatuur geconstateerd. De in gebruik zijnde MRI-systemen beschikken over een automatische beveiliging tegen opwarming. Van elk scanprotocol wordt eerst automatisch de overeenkomstige SAR-waarde bepaald. Indien deze de veilige limiet zou overschrijden wordt de scan door de apparatuur geweigerd [Do90].

Overige effecten

Aanwezigheid van elektromechanische implantaten zoals een pacemaker, een neurostimulator of een insulinepomp vormen een contra-indicatie voor een MRI-onderzoek [A193, Do90, IRPA91]. Een extern statisch magneetveld voert een kracht uit op eventueel in het lichaam aanwezige metalen. Gemakkelijk bewegende metalen implantaten, zoals vaatclips in de hersenen en metaalsplinters in het lichaam, kunnen gevaarlijk zijn. Dit in tegenstelling tot operatieclips en orthopedische implantaten in knie, heup of wervelkolom, die in het algemeen niet gevaarlijk zijn. Er wordt tegenwoordig in hartkleppen weinig ferromagnetisch materiaal verwerkt zodat de door het hart uitgeoefende kracht zijn overheersende invloed behoudt. De werking van de elektromechanische implantaten kan nadelig worden beïnvloed door inductiestromen die worden opgewekt door het wisselende magneetveld. Bovendien kan hun werking worden verstoord door radiogolven ten gevolge van ongewenste activering van relais-schakelingen [Do90].

Om voldoende beeldkwaliteit te krijgen is een onderzoekstijd van gemiddeld 45 tot 60 minuten nodig. Gedurende deze tijd moet de patiënt stil blijven liggen binnen een relatief kleine, enigszins afgesloten ruimte. Het verblijf in de tunnel leidt in voorkomende gevallen tot claustrofobie [Le92].

Elektrische apparatuur

In de literatuur zijn sterkten gepubliceerd van de elektromagnetische velden die rond een aantal huishoudelijke elektrische apparaten, werkend op een netspanning van 220 V, aanwezig zijn. Een aantal hiervan is samengevat in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Enkele bekende bronnen van ELF-elektromagnetische velden [GR92ELF, Co90, Bo88, Fl90].

apparaat	blootstelling (per dag)	afstand (cm)	magnetisch veld (μT)	elektrisch veld (V/m)
scheerapparaat	< 15 min.	< 3	5 - 1000	--
handmixer	< 15 min.	30	0,6 - 10	50
haardroger	< 15 min.	30	0,1 - 5	40
koffiezetapparaat	< 15 min.	30	0,05	30
strijkijzer	15 min. - 1 uur	30	0,5 - 1,5	60
wasmachine	15 min. - 1 uur	100	0,01 - 0,1	--
elektrische deken	> 1 uur	10	0,5 - 30	< 500
kleurentelevisie	> 1 uur	100	0,01 - 0,1	< 60

Er zijn geen metingen bekend van magnetische fluxdichtheden in Nederlandse woningen, maar voor Amerikaanse woningen bedragen deze 0,02 - 2 μT . In Nederland is het gemiddeld magnetisch veld waarschijnlijk kleiner dan deze waarden vanwege een andere realisatie van het elektrisch distributienet. Het elektrisch veld in woningen waar elektriciteit met een spanning van 220 V wordt gebruikt, heeft een sterkte van gemiddeld 1 - 10 V/m [GR92ELF].

Hoogspanningslijnen

Op hoogspanningslijnen staan in Nederland spanningen van 110, 150, 220 of 380 kV [GR92ELF]. Direct onder de hoogspanningslijnen met de hoogste spanning (380 kV), op 1 meter boven het maaiveld, zijn door de KEMA elektrische veldsterktes gemeten van maximaal 5500 V/m, en magnetische fluxdichtheden van maximaal 20 μT . Aan de rand van de zogenaamde 'zakelijk recht strook' is de sterkte van de elektromagnetische velden een factor 2 - 4 lager. Binnen deze strook, die circa 60 meter breed is en onder de hoogspanningslijnen loopt, zijn bouwactiviteiten aan bepaalde voorwaarden gebonden [GR92ELF].

De totale lengte van de hoogspanningslijnen in Nederland wordt geschat op 4000 km. Het aantal Nederlanders dat op minder dan 100 meter van deze lijnen woont ligt vermoedelijk tussen de 65.000 en 350.000 [Sc91].

5.3 Stralenbescherming en beleid

In industriële arbeidssituaties kunnen ELF-elektromagnetische velden optreden met sterkten die veel hoger zijn dan die van de velden zoals die in de woonomgeving optreden. Deze velden zouden direct waarneembare gezondheidsschade kunnen veroorzaken. De

Gezondheidsraad heeft dan ook geadviseerd om het overheidsbeleid te baseren op de normen voor 50/60 Hz velden zoals geformuleerd door de INIRC/IRPA en samengevat in tabel 5.2. Deze normen gaan uit van een maximale stroomdichtheid in het lichaam van 10 mA/m², wat ook bij benadering de maximale stroomdichtheid is van stromen die van nature in het lichaam voorkomen, hoewel veel hogere stroomdichtheden kunnen optreden tijdens bepaalde biologische processen [IN90, GR92ELF].

Tabel 5.2 INIRC/IRPA normen voor 50/60 Hz velden.

	elektrisch veld (V/m)	magnetisch veld (μ T)
Beroepsbevolking		
○ gehele dag	10.000	500
○ korte duur	30.000 ¹⁾	5.000 ²⁾
○ ledematen	--	25.000
Algemene bevolking		
○ gehele dag	5.000	100
○ enkele uren per dag	10.000	1.000
○ enkele minuten per dag	>10.000	> 1.000

¹⁾: Waarbij het produkt van blootstellingsduur in uren en de elektrische veldsterkte in V/m kleiner dan 80.000 moet zijn.

²⁾: Gedurende maximaal twee uur per dag.

Bovenstaande waarden kunnen worden vergeleken met de veldsterkte van 20.000 V/m, waarbij 50% van de mensen een prikkeling tussen de huid en kleding ervaart of trillingen van het haar [WHO82, IN90]. Overigens hanteert de PTT de Duitse DIN VDE 0848-normen, die in het algemeen strenger zijn dan bovenstaande INIRC/IRPA normen [Sc91].

Voor statische magnetische velden heeft de ICNIRP, de voortzetting van de IRPA/INIRC, voor de algemene bevolking een norm opgesteld van 40.000 μ T, die alleen zou mogen worden overschreden onder afdoende gecontroleerde omstandigheden [IN94].

Hoewel in de woonsituatie in Nederland aan deze normen zeker wordt voldaan, en er niet voldoende wetenschappelijke grond is om te veronderstellen dat de blootstelling aan de in Nederland voorkomende ELF-elektromagnetische velden nadelige effecten op de gezondheid kan veroorzaken, bestaat hierover bij een deel van de bevolking misvattingen. Ook in kranten en tijdschriften verschijnen regelmatig berichten over de vermeende schadelijke effecten. De overheid kan eventuele angst en onrust wegnemen door gerichte voorlichting te geven, en in te gaan op de vragen die worden gesteld. Voor een deel gebeurt dit al, recent bijvoorbeeld is ter ondersteuning van voorlichtingsactiviteiten een circulaire 'Extreem Laag Frequente Elektromagnetische Velden' uitgebracht door het

ministerie van VROM, in samenwerking met het ministerie van SZW en het ministerie van WVC [VROM94].

Pacemakers

Vanwege de mogelijke interactie van elektromagnetische velden met pacemakers heeft de ICNIRP geadviseerd om op plaatsen waar magnetische velden sterker dan 500 μT heersen, waarschuwingssymbolen aan te brengen voor dragers van pacemakers [IN94].

MRI

De Nederlandse overheid en de betrokken nationale beroepsverenigingen hebben tot nu toe geen voorschriften of aanbevelingen uitgebracht inzake de veiligheid van de patiënt die met behulp van MRI wordt onderzocht. Aanbevelingen voor blootstellingslimieten, contra-indicaties en de patiëntbewaking zijn inmiddels wel in het buitenland verschenen, zowel in internationaal als in nationaal verband [IRPA91, NRPB91]. Het is niet bekend in welke mate de huidige MRI praktijk in Nederland met deze buitenlandse aanbevelingen overeenstemt.

De veiligheidseisen aan MRI-apparatuur worden door de International Electrotechnical Commission (IEC) opgesteld. In dit kader wordt een definitieve versie van een internationale standaard met de titel '601-2-MR Particular Requirements for the Safety of Equipment for Magnetic Resonance Diagnosis' voorbereid. Het Centrum voor Medische Technologie van TNO (CMT-TNO) dat regelmatig adviseert over de veiligheid van medische apparatuur heeft nog geen rapporten uitgebracht over MRI. Wel zijn er bij de CMT-TNO buitenlandse rapporten over verschillende MRI-apparaten beschikbaar. De Commissie stralingsveiligheid van de Nederlandse Vereniging voor Radio-Diagnostiek is bezig met het in kaart brengen en bijhouden van de actuele kennis op het gebied van de veiligheid van MRI voor de patiënt. Het is echter niet duidelijk of dit initiatief zal leiden tot het uitbrengen van aanbevelingen aan de Nederlandse radiodiagnosten.

De volgende blootstellingslimieten zijn in het buitenland opgesteld voor statische magneetvelden.

Tabel 5.3 Blootstellingslimieten voor statische magneetvelden tijdens MRI-onderzoek.

Instantie	Hoofd en Romp	Ledematen
IRPA	2,0 T	5,0 T
NRPB	2,5 T	4,0 T

Voor wisselende magneetvelden gelden de volgende blootstellinglimieten. Deze zijn voor de IRPA gebaseerd op een maximaal toegestane opgewekte stroomdichtheid van 0,4 A/m², een factor 3 lager dan de grenswaarde voor acuut gevaar [IRPA91].

Tabel 5.4 Blootstellingslimieten voor wisselende magneetvelden tijdens MRI-onderzoek.

Instantie	Tijdsgradiënt (T/s)	Inschakeltijd (10^{-6} s)
IRPA	6	--
	20	> 120
NRPB	50	45,0 - 120
	950	2,5 - 45

Voor radiogolven hebben de blootstellingslimieten van de IRPA en de NRPB betrekking op de SAR in samenhang met de blootstellingstijd. De waarden van de blootstellingslimieten zijn gebaseerd op de maximaal toegestane verhoging van de lichaamstemperatuur van 0,5 °C, dat wil zeggen circa een factor 2 lager dan de grenswaarde voor acute effecten [IRPA91, NRPB91]. Deze veilige grens van 0,5 °C correspondeert met een waarde van de SAR van 0,4 W/kg [A193, Do90]. De onderstaande limieten gelden uitsluitend voor de blootstelling van patiënten die met MRI worden onderzocht. Voor blootstelling van het algemene publiek aan radiogolven, al dan niet afkomstig van MRI apparatuur, gelden strengere limieten, die in hoofdstuk 4 zijn gegeven [IRPA91].

Tabel 5.5 Blootstellingslimieten voor radiogolven tijdens een MRI-onderzoek.

Instantie	SAR (W/kg)				Tijd (min)
	Gehele lichaam	Hoofd	Romp	Ledematen	
IRPA	2	1	2	3	< 60
	1	2	4	6	> 30
NRPB	1 - 2	2 - 4	4 - 8	6 - 12	15 - 30
	> 2	> 4	> 8	> 12	< 15

Zowel de IRPA als de NRPB bevelen aan om een MRI-onderzoek slechts dan uit te voeren als er voldoende klinische indicatie bestaat. Daarbij moet vooraf, en met inachtneming van andere beschikbare alternatieven, een afweging van voor- en nadelen voor de patiënt worden gemaakt [IRPA91, NRPB91].

Patiënten met elektromechanische implantaten of patiënten met mogelijk metaalsplinters in de hersenen of de ogen worden van een MRI-onderzoek uitgesloten [A193, Do90, IRPA91, NRPB91]. Het opsporen van metaalsplinters in het oog kan bijvoorbeeld met behulp van een röntgenapparaat gebeuren. Soms is een onderzoek onmogelijk vanwege claustrofobie. Uit voorzorg wordt er afgeraden om tijdens de eerste drie maanden van de

zwangerschap een MRI-onderzoek uit te voeren [A193, Do90, IRPA91, NRPB91].

Ter bescherming van de patiënt moet de aanwezigheid van ferromagnetische metalen voorwerpen, zoals sleutels, munten, spelden, scharen, semafoons en stetoscopen, en meetapparatuur met magnetiseerbare onderdelen in de onderzoeksruimte worden voorkomen. Deze zijn bijvoorbeeld met een metaaldetector op te sporen [A193, Do90, IRPA91, NRPB91]. De patiënt dient tijdens het MRI-onderzoek te worden bewaakt, bijvoorbeeld met een speciaal daarvoor aangepaste videocamera en intercom. Tevens dient er tijdens het MRI-onderzoek patiëntmonitoring plaats te vinden van ECG, ademhaling, temperatuur en dergelijke [Do90]. Verder wordt er gebruik gemaakt van oordopjes en koptelefoons voor respectievelijk gehoorbescherming en bescherming tegen claustrofobie [A193].

De IRPA beveelt aan om een MRI-onderzoek tot 1 uur te beperken, waarschijnlijk omdat ervan wordt uitgegaan dat een langer onderzoek voor de patiënt te belastend is [IRPA91].

6 ULTRA- EN INFRAGELUID

In tegenstelling tot alle andere vormen van niet-ioniserende straling vertegenwoordigen infra- en ultrageluid geen elektromagnetische velden, maar mechanische trillingen. Van infrageluid is sprake bij frequenties die te laag zijn om te horen, dat wil zeggen lager dan 20 Hz, terwijl ultrageluid de frequenties vertegenwoordigt die te hoog zijn om hoorbaar te zijn, dus hoger dan 20 kHz. Hoewel infrageluid wel degelijk schadelijke effecten kan hebben, zijn er in de praktijk weinig problemen mee. Daarom wordt in dit hoofdstuk vooral over ultrageluid gesproken.

Voor geluidsbronnen, dus ook voor bronnen van infra- en ultrageluid, beschouwt men vaak niet direct het uitzendvermogen van de bron, maar relatief ten opzichte van een vast gekozen vermogensniveau. Het relatief vermogen van zo'n bron wordt dan logaritmisch weergegeven met de eenheid decibel (symbool dB). Dit betekent dat een bron met een tienmaal hoger uitzendvermogen dan een andere bron 10 dB meer vermogen heeft. Een bron met honderdmaal hoger uitzendvermogen is 20 dB sterker, een bron met duizendmaal hoger uitzendvermogen 30 dB enzovoort. Voor medische ultrageluidsapparatuur geeft men vaak de intensiteit van de straling waar de patiënt aan wordt blootgesteld weer door de intensiteit over de blootstellingstijd te middelen en daarbij de maximumwaarde of de gemiddelde waarde over het bestraalde oppervlak te bepalen: de I_{SPTA} en I_{SATA} , respectievelijk.

6.1 Mogelijke schadelijke effecten

Volgens het rapport over ultrageluid dat de Gezondheidsraad in 1986 publiceerde, bestaat er over biologische effecten van ultrageluid een omvangrijke verzameling literatuur, die echter moeilijk toepasbaar is op de omstandigheden in de klinische situatie. De vertaling van *in vitro* experimenten en dierexperimenteel onderzoek naar de klinische toepassing op de mens is zeer moeilijk [GR86UG]. De biologische effecten van ultrageluid zijn een gevolg van een aantal fysische processen, waarvan de voornaamste zijn:

- Weefsel absorbeert ultrageluid waaraan het wordt blootgesteld. Dit leidt tot een temperatuurverhoging, die afhankelijk is van onder andere het vermogen, de frequentie en de stralingsduur van de ultrageluidsbron. Belangrijk voor de warmte-ontwikkeling zijn bovendien de absorptie-eigenschappen van het weefsel, en de mate waarin warmte kan worden afgevoerd via de bloedstroom [Br92b].
- Bij stabiele cavitatie resoneren zich in weefselcellen bevindende gasbellen met het ultrageluid, en kunnen onder invloed daarvan aangroeien. Transiënte cavitatie treedt op wanneer dergelijke gasbellen, die zich ook in bloed kunnen bevinden, onder invloed van hoge intensiteit ultrageluid imploderen, waardoor zeer hoge drukamplitudes en temperaturen van 1000 °C en hoger ontstaan [Br92b, GR86UG].

Een aantal andere gerapporteerde effecten van ultrageluid, zoals veranderingen in DNA, afwijkingen in chromosomen, en effecten op het immuunsysteem is niet reproduceerbaar gebleken [GR86UG, Ch81]. De Gezondheidsraad concludeerde in 1986 in haar rapport bovendien dat *'epidemiologisch onderzoek geen enkele aanwijzing heeft gegeven dat diagnostisch ultrageluid schade toebrengt aan genetisch materiaal of kankerverwekkende eigenschappen heeft'* [GR86UG] Wat betreft veranderingen in enzymactiviteit, in celmembraanfuncties, hematologische veranderingen in immunoreacties en celdood, concludeerde de commissie dat *'ondanks vele onderzoeken tot op heden geen nadelige effecten van diagnostisch ultrageluid zijn aangetoond. (...) Wel is bij intensiteiten ver boven het diagnostisch niveau beschadiging ten gevolge van warmteproductie, cavitatie en microstroming in de literatuur beschreven.'* [GR86UG].

Van infrageluid zijn de schadelijke effecten bij intensiteiten lager dan 120 dB zeldzaam, en blijvende gehoorbeschadiging treedt pas op na langdurige blootstelling. Bij blootstelling aan hogere intensiteiten treden er klachten op van evenwichtsstoornissen, hoofdpijn en zeeziekte. Bij intensiteiten boven de 160 dB kunnen de luchttrillingen resonanties in diverse lichaamsholtes veroorzaken, bijvoorbeeld in het middenoor, neus- en voorhoofdsholte [Bo92, Bo88c].

6.2 Bronnen in medische toepassingen

Een zoektocht in de literatuur bracht geen enkele medische toepassing van infrageluid aan het licht. Daarentegen bestaan van ultrageluid zowel therapeutische als diagnostische toepassingen. In de fysiotherapie, chirurgie en hyperthermie worden therapeutische toepassingen van ultrageluid gebruikt [WHO82, GR86UG].

Het grote aantal toepassingen dankt ultrageluid aan de volgende eigenschappen.

- Met ultrageluid kunnen hoge frequenties en hoge intensiteiten worden bereikt. De fysiotherapeutische en chirurgische toepassingen maken hier gebruik van.
- Door de korte golflengten kunnen de stralen goed worden gefocusseerd [Br92b]. Andere toepassingen maken juist gebruik van de diepe penetratie die optreedt bij laagfrequent ultrageluid [GR86UG].
- Ultrageluidsapparatuur is relatief eenvoudig [GR86UG].

Fysiotherapie

In Nederland is fysiotherapie met behulp van ultrageluid een ingeburgerde behandelmethod. Naar schatting van de Gezondheidsraad waren er in 1986 circa 12000 fysiotherapeutische ultrageluidapparaten in gebruik, en werd door extrapolatie van de Amerikaanse situatie het aantal fysiotherapeutische ultrageluidbehandelingen dat per jaar in Nederland wordt verricht, geschat op 1 miljoen [GR86UG].

Met ultrageluid wordt een groot aantal aandoeningen fysiotherapeutisch behandeld. De

werking van deze behandelingen zijn waarschijnlijk gebaseerd op een aantal thermische effecten, zoals vaatverwijding dat de doorbloeding verhoogt en een toename van de elasticiteit van bindweefsel. Enkele aandoeningen waarvoor fysiotherapeutisch ultrageluid wordt toegepast zijn spier- en peesaandoeningen, gewrichtsaandoeningen, huidaandoeningen, circulatoire aandoeningen, perifere zenuwaandoeningen, aandoeningen van inwendige organen, jicht (*arthritis*) en spierkramp [GR86UG, B192]. De waarde van ultrageluid in de fysiotherapie is volgens een commissie van de Gezondheidsraad echter niet duidelijk aangetoond [GR86UG].

Chirurgie

Bij de chirurgische toepassingen van ultrageluid gaat het er om weefsel te vernietigen (destrueren). Hierbij gaat het vooral om de verpulvering van door staar aangetaste ooglenzen zodat deze door een kunstlens kan worden vervangen, om percutane en extracorporale niersteenvergruizing, waarbij het in Nederland in 1986 om zo'n 4500 niersteenoperaties per jaar ging, en binnen de tandheelkunde om de verwijdering van tandsteen [GR86UG]. Veelvuldig gebruik van ultrageluidchirurgie vindt plaats in de oncologie om tumoren te verwijderen, en in de gynaecologie [O192].

Bij extracorporale niersteenvergruizing (Extracorporeal Shockwave Lithotripsy of kortweg ESL) wordt door middel van olie, gel of een waterbad de ultrageluidsbron aan het lichaam gekoppeld. De niersteen wordt in het brandpunt van de schokgolf geplatst waar de druk tot 100 MPa oploopt [B192]. Bij verkeerd uitrichten kan deze techniek grote beschadiging van bijvoorbeeld longweefsel veroorzaken, en het is nauwelijks bekend welke gevolgen de drukconcentratie heeft voor het zachte weefsel waar de schokgolven door heen gaan [GR86UG, WHO82]. Inmiddels wordt in het Dijkzigt Ziekenhuis in Rotterdam ESL op nog beperkte schaal ook tegen galstenen ingezet [Lo90, P193].

Hyperthermie

Pas in de zeventiger jaren werd duidelijk dat tumorcellen hypersensitief zijn voor hoge temperaturen. Sinds 1975 gebruikt men ook ultrageluid voor hyperthermie [GR86UG]. Hierbij worden de tumorcellen gedurende ongeveer 30 minuten verwarmd tot 43-45 °C [B192, WHO82]. Deze techniek bevindt zich echter nog in het onderzoekstadium, in 1992 waren wereldwijd nog slechts 500-1000 kankerpatiënten met ultrageluid-hyperthermie behandeld [B192].

Diagnostische toepassingen

Ultrageluid kent verschillende diagnostische toepassingen. Met Dopplertechnieken kunnen bewegende objecten worden bestudeerd, bijvoorbeeld de doorstroming in bloedvaten, terwijl het bij de echografie erom gaat afbeeldingen te produceren van dieper gelegen weefsels of van de ongeboren vrucht. De diagnostische apparatuur kent relatief lage ultrageluidsintensiteiten, met $I_{SPTA} < 0,5 \text{ W/cm}^2$ [GR86UG].

De Gezondheidsraad heeft gewezen op de relatief hoge gebruikte intensiteiten in

fysiotherapeutisch ultrageluid, in het rapport wordt $I_{SATA} = 0,1 - 3 \text{ W/cm}^2$ genoemd, waarbij ook schadelijke biologische effecten zouden kunnen optreden [GR86UG]. De gebruikte vermogens van ultrageluid zijn bij toepassingen in de fysiotherapie altijd hoger geweest dan bij diagnostische toepassingen. Op internationale schaal wordt er echter een trend gesignaleerd waarbij de verschillen in intensiteit tussen diagnostisch en fysiotherapeutisch ultrageluid steeds kleiner worden en soms zelfs wegvallen. Dit wordt voor een deel veroorzaakt doordat het in de fysiotherapie de gewoonte is geworden om te werken met de laagst beschikbare intensiteiten (I_{SATA}) om thermische effecten zoveel mogelijk te reduceren [Si92]. Tegelijkertijd is het toegepaste vermogen gedaald van typisch 5 - 10 W naar 1 - 5 W [BI92].

De meest voorkomende medische toepassing van ultrageluid is echter waarschijnlijk echoscopie [WHO82]. Het aantal verrichtingen met echografie dat in Nederland wordt verricht steeg van 120.000 in 1982 naar 418.000 in 1987, ofwel tussen 1985 en 1991 van 23 naar 51 per 1000 inwoners [Va88, Va92]. De waarde van echoscopie als diagnostisch middel voor medische problemen wordt algemeen aanvaard, bijvoorbeeld bij abscessen in de buikholte en de ziekte van Crohn, maar ook na medische indicatie tijdens de zwangerschap [De94b, Jo94, Sa87]. Door de vergaande verkleining van ultrageluidstransducers is intravasculaire echografie mogelijk geworden. Deze techniek verkeert nog in het ontwikkelingsstadium, maar kan in de toekomst een alternatief bieden voor de röntgen-contrastangiografie die traditioneel wordt uitgevoerd voor invasief onderzoek van bloedvaten [Pe92].

Echoscopisch onderzoek gebeurt tegenwoordig in Nederland bijna routinematig bij zwangerschapscontroles. *'Veel ouderparen eisen dat minstens één keer tijdens de zwangerschap echoscopisch onderzoek wordt verricht'*, om te controleren op meerlingen en op aangeboren afwijkingen van de foetus [Ti91]. Echoscopisch onderzoek bij zwangere vrouwen stijgt nog steeds in omvang [Bo93]. In totaal werden er in 1990 in Nederland naar schatting minimaal 200.000 echoscopische foto's van zwangere vrouwen gemaakt, wat betekent dat er per zwangerschap in Nederland gemiddeld meer dan 1 echoscopisch onderzoek plaatsvindt [W194].

De vraag, of het routinematig echoscopisch onderzoek inderdaad voordelig kan zijn voor het opsporen van foetale afwijkingen, is echter momenteel nog niet bevredigend beantwoord. Gedurende de afgelopen jaren zijn er in de vaktijdschriften veel epidemiologische onderzoeken gepubliceerd. Veel van deze resultaten haalden ook de landelijke pers. De onderling vaak tegenstrijdige conclusies van deze onderzoeken heeft geleid tot zeer verschillend beleid in verschillende landen. Routinematig echoscopisch onderzoek van uiteenlopende omvang voor zwangere vrouwen wordt aanbevolen in Groot-Brittannië door de Royal College of Obstetricians and Gynaecologists, evenals in Frankrijk [Bu93]. In West-Duitsland werd echoscopisch onderzoek van alle zwangeren al in 1979 ingevoerd [Ex89]. Daarentegen beveelt de Preventive Services Task Force in de Verenigde Staten routinematige echoscopie niet aan, en meent het Department of Health

and Human Services dat er niet genoeg bewijs is dat ultrageluid veilig is, en dus alleen zou moeten worden gebruikt als daar waarschijnlijk diagnostisch profijt mee kan worden behaald [Sa87].

In 1993 werd een meta-analyse gepubliceerd waarin de resultaten van tot op dat moment gepubliceerde randomised controlled trial-studies, die het eventuele voordeel van routinematige echoscopisch onderzoek tijdens de zwangerschap tot onderwerp hadden, werden vergeleken [Bu93]. Eisen die aan de studies werden opgelegd waren dat de studies routinematig echoscopie-onderzoek moesten vergelijken met selectief echoscopie-onderzoek, dat wil zeggen dat de randomization moest gebeuren vóór de eerste scan, en dat de perinatale mortaliteit, oftewel het aantal geboorten en het aantal perinatale sterftes, en het aantal zwangerschappen gepubliceerd moesten zijn. Aan deze twee eisen voldeden slechts vier studies. Deze meta-analyse leverde geen bewijs dat routinematig echoscopisch onderzoek tijdens de zwangerschap het verloop en de afloop ervan positief beïnvloedt. Hoewel echoscopisch onderzoek het belangrijke voordeel levert van een vrij precieze bepaling van de zwangerschapstermijn en een vroege detectie van foetale groeiachterstand en groeiafwijkingen, resulteert het niet in een stijging van het aantal levendgeborenen of een daling van de perinatale morbiditeit (handicaps) zoals die wordt gemeten door de Apgar score [Ko91b, Bu93].

Deze conclusies worden versterkt door de zeer recent verschenen resultaten van de RADIUS (Routine Antenatal Diagnostic Imaging with Ultrasound) studie [Cr94]. Deze onderscheidt zich van andere soortgelijke studies door prestige en grootschaligheid. In deze studie werden 15.151 zwangere vrouwen random verdeeld in een echografiegroep, die gemiddeld 2,2 sonogrammen liet maken, en een controlegroep, die gemiddeld 0,6 sonogram lieten maken, namelijk alleen op medische indicatie. Ook in dit onderzoek werden er geen significante verschillen gevonden tussen de twee groepen voor wat betreft mortaliteit en morbiditeit van foetussen, het percentage voortijdige geboortes of de verdeling van de geboortegewichten. Er werden geen verschillen gevonden in de percentages van geïnduceerde abortussen, inductions, keizersnedes of totaal aantal ziekenhuisdagen [Le93]. Er werd in deze studie geconcludeerd dat gezien de buitengewoon hoge kosten en het gebrek van meetbaar voordeel voor foetus en moeder, routinematig echoscopisch onderzoek niet kan worden gerechtvaardigd [Cr94]. Ook in een recente Nederlandse studie werd geconcludeerd dat routinematig prenataal echoscopisch onderzoek naar eventuele anatomische afwijkingen weinig zekerheid oplevert over de gezondheidstoestand van de verwachte baby [Gu91].

In reacties op de RADIUS studie werd er op gewezen dat in deze studie slechts 35 procent van de foetussen met grote groeiafwijkingen voor de geboorte werden ontdekt, terwijl dit bij sommige andere ultrasonografiescreening studies hoger lag, bijvoorbeeld op 61 en 71 procent. De oorzaak hiervan kan liggen in onervarenheid van operators, wat tot uitdrukking komt in fors verschillende detectiepercentages in verschillende gezondheidscentra [De94, Cr94]. In een recent verschenen proefschrift wordt ook voor

Nederland geconcludeerd dat een verbeterde opleiding wat betreft echoscopie in de verloskunde noodzakelijk is om aangeboren afwijkingen effectief prenataal te kunnen opsporen. Routinematig uitgevoerd ultrageluidsonderzoek dient daarom eerst grondig geëvalueerd te worden voor er overgegaan wordt op de algemene toepassing ervan [Bu94]. In de (buitenlandse) literatuur is al gebleken dat het percentage afwijkingen dat voortijdig door sonografie wordt ontdekt verschillend is voor geografisch gebaseerde studies en ziekenhuisstudies naar routinematig gebruik van ultrageluid [Re94]. De kosteneffectiviteit van routinematig ultrageluid kan dus hoger uitvallen indien rekening wordt gehouden met de detectievaardigheden van de sonograaf [De94].

6.3 Overige bronnen

Natuurlijke bronnen van infra- en ultrageluid zijn zeker in Nederland betrekkelijk zeldzaam. We moeten dan denken aan de signalen die door bijvoorbeeld vleermuizen en bruinvissen worden uitgezonden, windstromingen en luchtturbulentie bij extreme meteorologische omstandigheden, en de branding in de zee [Bo88c, Br92b]. Van deze natuurlijke bronnen worden geen gevaren voor de volksgezondheid verwacht, omdat de desbetreffende intensiteiten te laag zijn en/of omdat de duur van eventuele blootstelling niet lang genoeg is om gevaar te kunnen opleveren.

Bronnen van ultrageluid waar althans internationaal wel grote groepen van de bevolking aan worden blootgesteld zijn ultrageluidsensoren in bijvoorbeeld controlesystemen van kantoorverlichting of -verwarming [Bl92]. Op wat voor schaal deze systemen ook in Nederland worden gebruikt is onduidelijk. Voor infrageluid gaat het om verwarmingsketels en luchtverversingssystemen met uitlaatgasafvoer, koelinstallaties, luidsprekersystemen in afgesloten ruimtes zoals disco's, ijskasten en het geluid van de motor binnen in personenwagens. Ook bij deze bronnen zijn de intensiteiten te laag om gevaar te kunnen opleveren voor de volksgezondheid, wat niet wegneemt dat zij op beperkte schaal veel overlast kunnen veroorzaken [Bo88c].

Buiten de medische toepassingen van ultrageluid zijn de enige bronnen met voldoende hoge intensiteiten om eventuele gevaren te kunnen opleveren voor de volksgezondheid de technologische toepassingen in bijvoorbeeld wetenschappelijke meetopstellingen en industriële processen, zoals machinaal snijden en lassen, drogen en wassen [He88, WHO82].

6.4 Stralenbescherming en beleid

Wat betreft de veiligheid van diagnostisch ultrageluid, is er in 1976 door de AIUM (American Institute of Ultrasound in Medicine) een grens aangegeven van $I_{SPTA} = 100$ mW/cm². Deze limietwaarde werd door de Gezondheidsraad overgenomen in haar advies [GR86UG].

Gezien het grote aantal fysiotherapeutische behandelingen met ultrageluid dat ook in Nederland plaatsvindt, wordt aanbevolen onderzoek te verrichten om de waarde van ultrageluid ondubbelzinnig vast te stellen, aangezien dit volgens een commissie van de Gezondheidsraad nog niet duidelijk is aangetoond [GR86UG].

Door TNO is in 1984 een vergelijkend onderzoek gedaan naar nieuwe fysiotherapeutische ultrageluidapparaten. Er werd geconcludeerd dat de stralingsveiligheid en doseringsnauwkeurigheid van 60 procent van de apparaten onvoldoende was [Oo91]. De Gezondheidsraad kwam onder meer op basis van dit onderzoek in haar rapport uit 1986 met een aantal aanbevelingen die de veiligheid van fysiotherapeutisch ultrageluid moet waarborgen. De Gezondheidsraad concludeerde: *'Voorschriften omtrent de veiligheid van ultrageluidsapparatuur zijn nodig omdat niet altijd vast staat welke fysische parameter de heilzame of schadelijke werking veroorzaakt, omdat de klinische effectiviteit van fysiotherapeutisch ultrageluid niet vaststaat, en omdat veel van de verkrijgbare apparaten niet voldoende nauwkeurig een gewenste dosis levert'* [GR86UG]. Door TNO werd in een vervolgonderzoek in 1987 weer een vergelijkend onderzoek gedaan, ditmaal van gebruikte ultrageluid fysiotherapie-apparatuur. Van deze apparatuur bleek zelfs 90 procent niet te voldoen aan de opgelegde veiligheidseisen. Hoewel bij TNO de indruk bestaat dat deze onderzoeken hebben geleid tot verbetering van de apparatuur hebben geleid, ligt het voor de hand typekeuringen in te voeren aan de hand van richtlijnen, zoals ook door de Gezondheidsraad werd geadviseerd [Oo91, GR86UG]. De Europese richtlijn IEC 150 uit 1963 wordt beschouwd als zijnde verouderd, en wordt momenteel gereviseerd [He93].

De commissie van de Gezondheidsraad constateerde verder dat de in de fysiotherapie gebruikte intensiteiten relatief hoog zijn, hoog genoeg om mogelijk ook biologische schadelijke effecten te kunnen veroorzaken. Op internationale schaal is in dit verband een trend gesignaleerd in de fysiotherapie waarin het de gewoonte is geworden te werken met de laagst beschikbare ruimtelijk gemiddelde intensiteiten om thermische effecten zoveel mogelijk te reduceren [Si92, Bi92].

De commissie van de Gezondheidsraad wees er ook op dat de apparatuur ontwikkeld voor diagnostiek in de perifere vaten *'relatief hoge intensiteiten uitzendt, ver boven de grens van $I_{SPTA} = 100 \text{ mW/cm}^2$ in 1976 door de AIUM (American Institute of Ultrasound in Medicine) genoemd. Bovendien wordt deze apparatuur ook wel ingezet voor hartonderzoek. Dit feit, gecombineerd met de betrekkelijk lange onderzoeksduur van 1 à 10 minuten, levert voor de patiënt een hoge stralingsdosis op. Dit soort apparatuur dient dus met de nodige terughoudendheid te worden gebruikt'* [GR86UG]. Een door het toenmalige Ministerie van WVC gevraagd vergelijkend onderzoek door TNO van verschillende zogenaamde Duplex scanners die onder andere voor de diagnostiek in de perifere vaten worden gebruikt, werd ernstig bemoeilijkt door de weigering van veel leveranciers om mee te werken. De apparaten die wel getest konden worden bleken veel te hoge akoestische output te kunnen leveren. Bij hetzelfde onderzoek bleek dat dergelijke hoge intensiteiten niet noodzakelijk zijn voor goed diagnostisch functioneren [He90].

Wat betreft het routinematig gebruik van ultrageluid tijdens de zwangerschap, wijst de recente literatuur er niet op dat vanuit het oogpunt van kosteneffectiviteit er beleidsmatig zou moeten worden aangestuurd op het op grote schaal invoeren van routinematig ultrageluid. Aanvullend onderzoek naar de omvang van de kosten en van het aantal 'pretecho's' dat in Nederland al wordt gemaakt, is nodig om te beoordelen of hier een (financieel) probleem ligt. Uit de gepubliceerde cijfers blijkt dat huisartsen in steeds meer gevallen echo-onderzoek voor hun zwangere patiënten aanvragen [Bo93].

Uit het onderzoek is wel het belang van goede opleiding van sonografen naar boven gekomen. Met deze conclusies uit de literatuur is er goede aansluiting met de conclusies van een commissie van de Gezondheidsraad, die het in 1986 nog te vroeg achtte om definitieve conclusies te trekken betreffende de veiligheid van klinisch-diagnostisch ultrageluid, en daarom de aanbeveling deed om de toepassing ervan uitsluitend te doen plaatsvinden na een zorgvuldige indicatiestelling en door daartoe goed opgeleid personeel [GR86UG]. In Duitsland bestaat overigens al een goed gedefinieerd concept voor opleidingsniveaus met betrekking tot screening [Be94]. In Nederland is gewezen op de noodzaak voor voortgaande scholing van verloskundigen; *'bij de geringste twijfel moet worden doorverwezen naar één van de academische centra voor speciaal onderzoek'* [Gu91]. De arts die daar het echoscopisch onderzoek uitvoert dient deel uit te maken van een team van deskundigen, bestaande uit een klinisch geneticus en de artsen die in geval van afwijkingen de behandeling zullen uitvoeren [Ti91]. De Gezondheidsraad heeft eveneens aangegeven dat de indicatiegebieden nauwkeuriger dienden te worden afgebakend [GR86UG]. Het is niet bekend of dit inmiddels is gebeurd.

In de VS heeft de Food and Drug Administration zeer recent gewezen op mogelijk te nemen maatregelen tegen echoscopie-videofilms, die aanstaande ouders als 'souvenir' van de foetus kunnen laten maken. Ook in Nederland worden dergelijke videofilms gemaakt, en kan het nemen van maatregelen worden overwogen [RHB94, W194]. Bij TNO is de kennis aanwezig om bijvoorbeeld kalibratiemetingen uit te voeren aan de commercieel geëxploiteerde apparatuur voor deze echoscopie-video's.

Wat infrageluid betreft lijken er geen problemen te bestaan die beleidsmatig ingrijpen behoeven.

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In de voorgaande hoofdstukken is een groot aantal bronnen van niet-ioniserende straling besproken die aanleiding kunnen geven tot schadelijke effecten. In tabel 7.1 zijn de bronnen opgenomen waarvoor in de laatste paragraaf van elk hoofdstuk is geconcludeerd dat beleid mogelijk en nodig zou kunnen zijn. In de tabel is per bron aangegeven, welke schadelijke effecten voor de gezondheid kunnen optreden.

Om vast te kunnen stellen welke stralingsbronnen beleidsmatig ingrijpen behoeven is bovendien een overzicht samengesteld van de omvang van de groep die aan de straling van deze bronnen is blootgesteld, en van de risico's op schadelijke effecten die deze groep loopt. In tabel 7.2 zijn schattingen gegeven, waarin gedifferentieerd wordt naar sterfte en overige schadelijke effecten. Onder de tabel is in het kort aangegeven met welke aannames de schattingen tot stand zijn gekomen. De gebruikte getallen voor omvang van groepen blootgestelden en risico's zijn ook in de voorgaande hoofdstukken te vinden.

Het is moeilijk om aan te geven wanneer een stralingsbron 'een probleem' vormt. Een zekere mate van subjectiviteit in het aangeven van prioriteiten is hierbij onontkoombaar. Om hier toch een zo objectief mogelijke ordening in aan te geven, is een aantal criteria geformuleerd die weging mogelijk maakt. Bij de keuze van de criteria is uitgegaan van de vraag: "Welke factoren zijn van invloed op het vaststellen of iets een probleem is waaraan beleidsmatig iets te doen valt?" De groeps grootte en de aard, ernst en omvang van de schade zijn daarbij duidelijke criteria. Meer beleidsmatig ingegeven criteria zijn het feit of er normen aanwezig zijn die regulerend (kunnen) werken en of schade vermijdbaar is. De formulering is zodanig gekozen dat een bevestigend antwoord de wenselijkheid over te gaan tot beleidsvorming op dit terrein vergroot.

De genoemde aspecten zijn:

- A. Is de omvang van de groep blootgestelden groter dan 10^5 ?
- B. Is volgens de schatting in tabel 7.2 het aantal sterfgevallen per jaar in Nederland groter dan nul? De keuze om de drempelwaarde van dit aspect bij nul te leggen lijkt de enig verdedigbare.
- C. Ontbreekt er een waarborg voor goed gebruik?
- D. Is het bij de toepassing mogelijk zich aan normen van bijvoorbeeld de Gezondheidsraad te houden? (Deze vraag is alleen zinvol bij niet-medische stralingsbronnen)
- E. Kan beleidsmatig ingrijpen de risico's reduceren? Voor medische toepassingen (tabel 7.3) betekent dit bijvoorbeeld het aanwenden van alternatieve medische verrichtingen, die de genoemde risico's niet kennen.
- F. Bestaat er een (nog) niet wetenschappelijk aangetoond vermoeden van schadelijke effecten van de toepassing?

In tabel 7.3 en 7.4 staan de antwoorden op deze vragen aangegeven met de symbolen + (bij een bevestigend antwoord), - (bij ontkenning) en 0 (indien de vraag niet van toepassing is op de betreffende stralingsbron). Een analyse van tabel 7.3 en 7.4, waarbij de criteria A en B tweemaal zwaarder gewogen worden dan de andere, levert de onderstaande reeks 'problemen'.

Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen medische stralingsbronnen en niet-medische stralingsbronnen. De reden hiervoor is dat bij medische toepassingen de eventuele schadelijke effecten van de straling dienen te worden afgewogen tegen de gezondheidswinst die met de verrichting (kan) wordt behaald. Deze afweging speelt een rol, bij het rechtvaardigen van de medische toepassing.

Medische stralingsbronnen:

- De bestraling van psoriasis-patiënten met PUVA therapie leidt tot aanzienlijke verhoging van het risico op huidkanker. Daar tegenover staat de gezondheidswinst die de patiënt verkrijgt door de therapie te volgen. Er dient door patiënt en arts een overweging gemaakt te worden welke therapie gevolgd zal worden: PUVA therapie, UVB therapie (dat een minder sterke stijging in het risico op huidkanker kent) of alternatieve therapieën.
- Uit diverse onderzoeken van TNO is naar voren gekomen dat de kalibratie van fysiotherapeutische apparatuur die gebruik maakt van ultrageluid veel te wensen overlaat. Het invoeren van typekeuringen voor deze apparatuur verdient aanbeveling, zoals eerder al werd geadviseerd door de Gezondheidsraad.
- Echoscopie wordt in Nederland vrijwel routinematig toegepast bij zwangerschappen. Uit de literatuur blijkt echter dat het routinematig echografisch onderzoeken van zwangere vrouwen uit medisch oogpunt niet zinvol is. Bovendien kan echografisch onderzoek leiden tot een schijnzekerheid vanwege het vaak lage percentages aangeboren afwijkingen dat gedetecteerd wordt. Trachten het aantal "pret-echo's" terug te dringen verdient derhalve overweging. Dit geldt in het bijzonder voor commercieel geëxploiteerde echoscopie-apparatuur, waarmee bijvoorbeeld langdurige echo-video's gemaakt kunnen worden.
- Het onlangs geïntroduceerde GSM communicatienet vormt een potentieel gevaar voor dragers van bepaalde typen pacemakers. Onderzoek naar deze gevaren is gewenst. Het GSM communicatienet vormt ook een probleem door interferentie met medische apparatuur in ziekenhuizen. De Geneeskundige Hoofd Inspectie heeft daarom de ziekenhuizen geadviseerd om mobiele GSM-telefoons niet in de ziekenhuizen toe te laten. Aangezien de ziekenhuizen verschillend op dit advies reageren, kan overwogen worden of dit advies op een meer dwingende wijze herhaald moet worden.

Niet-medische stralingsbronnen:

- Gebruikers van bruiningsapparatuur stellen zich bloot aan de risico's van ultraviolette straling. Het geschatte aantal sterftes dat hiervan het gevolg is zo groot dat overheidsbeleid belangrijk is. Ook hier geldt dat bruining m.b.v. een

- zonnebank/solaria, die voornamelijk gebruik maken van UVA, een schijnbescherming bieden tegen de kans op verbranding en huidkanker bij later blootstelling aan de zon. Zoals in het rapport al aangegeven voert het KWF overleg met exploitanten van zonnestudio's en leveranciers van bruiningstoestellen over verbetering van de voorlichting en opleiding van het personeel. Toch is er nog een aantal mogelijkheden voor beleidsmatig ingrijpen, zoals het verplicht stellen van voorlichtingsmateriaal bij de aanschaf van zonnebanken, en opleidingseisen voor exploitanten van solaria.
- De groei in de incidentie van huidcarcinomen en melanomen in Nederland rechtvaardigt de continuering van voorlichtingsactiviteiten met betrekking tot de gevaren van bruinen, ook in de zon. Bovendien zou op grond van de sterftcijfers van huidcarcinomen en melanomen afgewogen moeten worden of het zinvol is om een screening op deze tumoren in te voeren, bijvoorbeeld door systematisch uitvoeren van periodiek bevolkingsonderzoek (zoals nu bij vrouwen gebeurt voor baarmoederhalskanker) of door oprichten van zogenaamde aanloopcentra.
 - Een potentieel sterke bron van ultraviolette straling vormen halogeenlampen zonder filters. Door filters toe te passen is dit eenvoudig op te lossen. Fabrikanten van verlichting zou verplicht kunnen worden dergelijke filters te gebruiken voor (toepassingen van) halogeenlampen.
 - Tijdens het gebruik van sterke lasers in discotheken en tijdens lasershows kan mogelijk netvliesbeschadiging bij het publiek ontstaan. Controle op het gebruik en de afstelling van de apparatuur kan de kans op mogelijke schade reduceren. Over de omvang en mogelijke schade is weinig bekend. Onderzoek hiernaar is gewenst en hieruit kan blijken of enige vorm van controle of regelgeving gewenst is.
 - Over mogelijke gevaren van radiofrequente straling (bijvoorbeeld van zendmasten) en extreem laagfrequente straling (bijvoorbeeld van hoogspanningslijnen) bestaat van tijd tot tijd onrust en zelfs angst onder de bevolking. Op basis van de wetenschappelijke literatuur concludeert de Gezondheidsraad dat een dergelijke angst ongegrond is. Het is daarom belangrijk om met goede voorlichting de bevolking op dit punt gerust te stellen. In dit kader past de circulaire Extreem Laagfrequente Straling, die door het Ministerie van VROM is uitgebracht [VROM94].
 - Het gebruik van zendapparatuur zoals walkie-talkies leidt mogelijk tot blootstelling aan radiofrequente straling boven de normwaarden die de Gezondheidsraad hiervoor heeft opgesteld. Het is mogelijk hier iets aan te doen door in de bestaande keuring voor deze apparatuur, waarin mogelijke interferentie met andere apparatuur wordt onderzocht, ook dit aspect op te nemen.

Tabel 7.1. Ongewenste effecten van een aantal toepassingen van niet-ioniserende straling.

bron of toepassing		niet-carcinogene effecten			carcinogene effecten
		oog	huid	lichaam	
UV	therapie	Sneeuwblindheid Staar	verbranding	Immunologisch?	Huidkanker
	verlichting	n.v.t.	bruining	n.v.t.	Huidkanker
	bruining (door zon of apparatuur)	Sneeuwblindheid Staar	veroudering	Immunologisch?	Huidkanker
ZL IR	medische lasers	Netvliesverbranding	verbranding	n.v.t.	n.v.t.
RF	fysiotherapie	Staar	n.v.t.	Bij onvoldoend deskundige therapeut: (over)verhitting	Niet aangetoond
	hyperthermie	Staar	n.v.t.	Bij onvoldoend deskundige therapeut: (over)verhitting	Niet aangetoond
	magnetron	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	Niet aangetoond
	GSM communicatienet	Staar	n.v.t.	Opwarming Interferentie met o.a. pacemakers Interferentie met medische apparatuur	Niet aangetoond
	CB27, walkietalkie	Staar	n.v.t.	Opwarming Interferentie met o.a. pacemakers	Niet aangetoond
ELF	zendmasten	Staar	n.v.t.	Opwarming	Niet aangetoond
	MRI	n.v.t.	n.v.t.	(Implantaten vormen contra-indicatie)	Niet aangetoond
	elektrische apparatuur	n.v.t.	n.v.t.	Elektrische schokken Interferentie met o.a. pacemakers	Niet aangetoond
UG	hoogspanningslijnen	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	Niet aangetoond
	fysiotherapie	n.v.t.	n.v.t.	Opwarming	n.v.t.
	echoscopie	n.v.t.	n.v.t.	Bij onvoldoend deskundige therapeut of slechte kwaliteit apparatuur: opwarming (bijv. van embryo)	n.v.t.

In de laatste kolom valt vooral op dat carcinogene effecten van alle vormen van niet-ioniserende straling, uitgezonderd ultraviolette straling, 'niet aangetoond' zijn. Zoals in de inleiding al is aangegeven verschilt niet-ioniserende straling hierin sterk van ioniserende straling. Voor ioniserende straling is de carcinogeniteit aangetoond, zowel met dierproeven, experimenten met cellen en door onderzoek aan mensen die aan hoge doses ioniserende straling blootgesteld zijn geweest (bijvoorbeeld door hun beroep). Uit deze onderzoeken leidt men door extrapolatie ook gezondheidseffecten af voor mensen bij blootstelling aan lagere doses ioniserende straling. Bij niet-ioniserende straling zijn er geen dierproeven die carcinogeniteit aantonen, en zijn de resultaten van experimenten met cellen twijfelachtig. Onderzoeken bij mensen hebben tot op heden geen onomstreden bewijzen gegeven dat blootstelling aan niet-ioniserende straling (uitgezonderd ultraviolette straling) tot de vorming van kanker kan leiden.

Tabel 7.2 Een aantal bronnen van niet-ioniserende straling. Aangegeven is de omvang van de groep blootgestelden aan de straling van deze bronnen, en een (vaak zeer ruwe) schatting van het maximaal aantal sterfgevallen of slachtoffers van niet-letale schadelijke effecten dat door de betreffende stralingsbron veroorzaakt wordt.

	bron of toepassing	omvang groep blootgestelden	Geschat aantal sterfgevallen in Nederland per jaar ^{a)}	risico niet-letale effecten
UV	therapie ^{b)}	max. 3×10^5	5	^{a)}
	halogeen verlichting ^{c)}	10^6	5	^{a)}
	zonzakantie ^{d)}	matig: 5×10^6 intensief: 10^6	120 50	^{a)}
	solaria e.d. ^{e)}	matig: $1-5 \times 10^6$	40	
		intensief: $0,1-1 \times 10^6$	17	
ZL IR	medische lasers ^{f)}	circa 3×10^4	0	huidverbrandingn etvliesschade
RF	fysiotherapie ^{g)}	2×10^6	0	oververhitting?
	hyperthermie ^{h)}	?	0	^{a)}
	magnetron ⁱ⁾	10^6	0	^{a)}
	GSM-net ^{j)}	algemeen: 10^7	0	^{a)}
		pacemakerdragers: 2×10^4	0?	ontregelde pacemaker door interferentie ?
	CB27, walkie talkie ^{k)}	10^4-10^5	0	oververhitting ?
	zendmasten ^{l)}	10^7	0	^{a)}
ELF	MRI ^{m)}	3×10^4	0	^{a)}
	elektrische apparatuur ⁿ⁾	10^7	0	^{a)}
	hoogspanningslijnen ^{o)}	$0,6-3,5 \times 10^5$	0	^{a)}
UG	fysiotherapie ^{g)}	2×10^6	0	verbranding ?
	echoscopie ^{p)}	2×10^5	0	opwarming ?

^{a)}: Hierbij zijn indirecte sterfterisico's niet meegerekend, zoals de risico's van ongevallen met medische lasers.

^{b)}: Het aantal psoriasispatiënten in Nederland wordt geschat op 300.000. Een onbekend gedeelte daarvan laat zich met ultraviolet bestralen, maximaal dus 300.000 personen.

Een absoluut maximum voor het aantal sterfgevallen wordt verkregen door ervan uit te gaan dat al deze patiënten zich volgens de meest risicovolle therapie (PUVA-therapie) laten behandelen. De in de tabel gegeven waarde vertegenwoordigt wellicht een wat realistischer benadering. Een nauwkeurige schatting is op dit moment niet mogelijk, omdat niet bekend is hoeveel psoriasis-patiënten zich met de diverse stralingsmethoden laten behandelen.

- c): Het aantal gebruikers van halogeenverlichting is geschat door aan te nemen dat halogeenlampen 5 procent vormen van alle verlichting, omdat dit het percentage is dat halogeenlampen innemen op het totaal aan verkochte lampen [Br92]. Verder wordt aangenomen dat elke Nederlander zich maximaal anderhalf uur per dag op circa 2 meter afstand van een brandende lamp bevindt, terwijl circa 10 procent van de bevolking zich op circa 30 cm van deze lampen bevindt (bijvoorbeeld bij bureaulampen).
- d): De schattingen van het aantal mensen dat op zovakantie gaat is gebaseerd op *common sense*. Bestralingsdoses zijn gebaseerd op gepubliceerde cijfers van onder andere de Gezondheidsraad [GR86UV].
- e): Het aantal mensen dat gebruik maakt van bruiningsapparatuur is volgens een recente enquête, uitgevoerd in opdracht van het Koningin Wilhelmina Fonds, circa een derde van de totale bevolking. Uit een grootschaliger onderzoek uit 1984 werd geconcludeerd dat het circa 7% van de bevolking betrof. Beide aantallen worden in de tabel genoemd als indicatie voor het aantal gebruikers. Om het sterftcijfer dat met dit gebruik samenhangt te schatten zijn de cijfers gebruikt uit het rapport van de Gezondheidsraad, [GR86UV].
- f): Mede door het beschikbaar komen van nieuwe medische lasers zal het huidige aantal verrichtingen veel hoger liggen dan het hier vermelde aantal, dat afkomstig is uit [St92].
- g): Het aantal personen dat in één jaar contact heeft met een fysiotherapeut is 13,6 procent van de totale bevolking [CBS95]. Dit vormt een maximum aantal voor het aantal personen dat blootgesteld wordt aan radiofrequente of ultrasone fysiotherapeutische apparatuur. Het aantal fysiotherapeutische behandelingen met ultrageluid dat per jaar wordt verricht, is in 1986 door de Gezondheidsraad geschat op 1 miljoen [GR86UG].
- h): Het aantal personen dat met radiofrequent hyperthermie wordt behandeld is onbekend.
- i): In Duitsland is 34 procent van de huishoudens in het bezit van een magnetron. Een soortgelijk getal wordt hier verondersteld voor Nederland.
- j): De hele Nederlandse bevolking wordt blootgesteld aan de radiofrequente straling die afkomstig is van mobiele telefoons die zijn aangesloten op het GSM communicatienet. Het aantal dragers van pacemakers is gebaseerd op een schatting van Centrum voor Pacemaker-registratie [CPR95].
- k): Op grond van het aantal verstrekte zendmachtigingen (15.000 tot januari 1995).
- l): De gehele bevolking staat in feite bloot aan de straling afkomstig van radio- en tv-zendmasten. Een onbekend aantal personen woont in de directe omgeving van deze

masten, en wordt aan sterkere velden blootgesteld. In 1984 werden maximale vermogensdichtheden in voor het publiek toegankelijke terreinen rond zendmasten gemeten die ongeveer overeenkwamen met de normen die de Gezondheidsraad in 1975 stelde voor blootstelling aan het algemene publiek. Lange-termijn effecten van radiofrequente straling zijn onwaarschijnlijk, maar zijn blijkens de literatuur nauwelijks onderzocht. Juist op deze lange-termijn effecten richt zich vaak de maatschappelijke onrust, zoals bij de bouw van woonwijk 'Zenderpark' in de buurt van de (in de toekomst uit te breiden) radio- en televisiezendmast bij Lopik.

- ^m): Het gegeven aantal betreft het aantal MRI-verrichtingen dat in 1992 is uitgevoerd [NRV93]. Zoals aangegeven in hoofdstuk 5 stijgt dit aantal snel.
- ⁿ): Vrijwel de gehele Nederlandse bevolking maakt gebruik van elektrische apparatuur.
- ^o): De gegeven cijfers bij 'omvang groep blootgestelden' zijn schattingen voor het aantal personen in Nederland dat binnen 100 meter van hoogspanningslijnen woont [Sc91]. Over eventueel verhoogde sterfterisico's van het wonen nabij hoogspanningslijnen bestaat van tijd tot tijd onrust onder de bevolking. Ondanks veelvuldig onderzoek zijn deze risico's wetenschappelijk niet aangetoond [GR92ELF]. Zou men desondanks de resultaten van onderzoeken waar een verhoogd risico wordt gemeld voetstoots aannemen, dan zou het verhoogd risico op Nederlandse schaal volstrekt verwaarloosbaar zijn [NVS92].
- ^p): In Nederland werden in 1990 naar schatting 200.000 echoscopische onderzoeken verricht bij zwangere vrouwen [W194].
- ^q): Van ondergeschikt belang

Korte samenvatting van de criteria:

- A. Is de omvang van de groep blootgestelden groter dan 10^5 ?
- B. Is volgens de schatting in tabel 7.2 het aantal sterfgevallen per jaar in Nederland groter dan nul?
- C. Ontbreekt er een waarborg voor goed gebruik?
- D. Is het bij de toepassing mogelijk zich aan normen te houden? (Deze vraag is alleen zinvol bij niet-medische stralingsbronnen)
- E. Kan beleidsmatig ingrijpen de risico's reduceren?
- F. Bestaat er een (nog) niet wetenschappelijk aangetoond vermoeden van schadelijke effecten van de toepassing?

Tabel 7.3 Overzicht van verschillende in de tekst genoemde aspecten van medische stralingsbronnen uit tabel 7.1 en 7.2 (zie voor een korte samenvatting p. 66). Het optellen van plussen en minnen geeft een indicatie of er sprake is van een 'probleem', zoals aangegeven in de laatste kolom. Hierbij tellen de eerste twee aspecten tweemaal zo zwaar als de andere aspecten, en zijn de drie stralingsbronnen die het hoogst 'scoren' aangemerkt als 'probleem'.

	bron of toepassing	A	B	C	D	E	F	Probleem
Ultraviolet	UV-therapie	+	+	-	0	+	-	ja
Zichtbaar licht, Infrarood	medische lasers	-	-	-	0	+?	-	nee
Radiofrequent	fysiotherapie	+	-	?	0	+?	-	ja
	hyperthermie	?	-	?	0	+	-	nee
	MRI	-	-	+?	0	+?	-	nee
Ultrageluid	fysiotherapie	+	-	?	0	-?	-	nee
	echoscopie	+	-	?	0	+?	-	ja

Tabel 7.4 Als in tabel 7.3, ditmaal voor niet-medische stralingsbronnen. In dit geval zijn de zes stralingsbronnen met de hoogste 'score' als probleem aangemerkt.

	bron of toepassing	A	B	C	D	E	F	Probleem
Ultraviolet	verlichting	+	+	+	+	+	-	ja
	zonvakantie	+	+	+	+	+	-	ja
	solaria e.d.	+	+	+	+	+	-	ja
Licht	lasers	+	-	+	+	+	-	ja
Radiofrequent	magnetron	+	-	-	+	+	-	nee
	GSM-net, algemeen	+	-	+	+	+	-	ja
	draggers pacemaker	-	-	-	-	+	-	nee
	CB27, walkie talkie	?	-	?	+	+	-	nee
	zendmasten	+	-	-?	+	+	+	ja
Extreem Laagfrequent	elektrische apparatuur	+	-	-	+	-	+	nee
	hoogspanningslijnen	+	-	-	+	+	+	ja

REFERENTIES

- Ab92 A.M. Abulafi en N.S. Williams, Photodynamic therapy for cancer, *British Medical Journal* 304, 589 (1992)
- Al93 P. Algra, Biologische effecten van de statische magneetvelden, *EDURAD* 4, 76 (1993)
- Al91 S.G. Allen, Radiofrequency field measurements and hazard assessment, *J. Radiol. Prot.* 11, 49 (1991)
- Am95 Ameco. Elektromagnetische straling op het werk; gezondheidsrisico's. Fugareeks 1540.5.086. Fuga, Den Haag, 1995
- Au94 P. Autier, A case-control study on the association between cutaneous malignant melanoma and exposure to sunlamps and sunbeds, *Sunscreens* 1994
- Au94b P. Autier, J-F. Doré, F. Lejeune, K.F. Koelmel, O. Geffeler, P. Hille, J-P. Cesarini, D. Lienard, A. Liabeuf, M. Joarlette, P. Chemaly, K. Hakim, A. Koeln en U.R. Kleeberg, Cutaneous malignant melanoma and exposure to sunlamps or sunbeds: an EORTC multicenter case-control study in Belgium, France and Germany, *Int. J. Cancer* 58, 809 (1994)
- Be88 J.H. Bernhardt, Hochfrequenzfelder, in: Fachverband für Strahlenschutz e.V., Tagungsband Nichtionisierende Strahlung 7.-9. November 1988 im Gürzenich zu Köln
- Be92 J.H. Bernhardt, Non-ionizing radiation safety: radiofrequency radiation, electric and magnetic fields, *Phys. Med. Biol.* 37, 807 (1992)
- Be92b M. Berwick, J.A. Fine en J.L. Bolognia, Sun exposure and sunscreen use following a community skin cancer screening, *Prev. Med.* 21, 302 (1992)
- Be93 N. Bech-Thomsen en H.C. Wulf, Sunbathers' application of sunscreen is probably inadequate to obtain the sun protection factor assigned to the preparation, *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 1992/1993:9, 242 (1992/1993)
- BE93 Besluit van 25 mei 1993, houdende wijziging van het Besluit stralenbescherming Kernenergiewet, *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*, 317 (1993)
- Be94 G. Bernaschek, I. Stuempflen en J. Deutinger, The value of sonographic diagnosis of fetal malformations: different results between indication-based and screening-based investigations, *Prenatal Diagnosis* 14, 807 (1994)
- Be94b W.H. Beekhuis en D.J. Treskes, Excimerlaserchirurgie, *Medisch Contact* 49, 265 (1994)
- BfS90 Bundesamt für Strahlenschutz, Infoblatt 9. Mai 1990
- BfS91 Bundesamt für Strahlenschutz, Infoblatt 1. September 1991
- Bl91 M. Blumthaler en W. Ambach, How well do sunglasses protect against ultraviolet radiation?, *Lancet* 337, 1284 (1991)
- Bl92 S.H.P. Bly en G.R. Harris, Ultrasound sources and human exposures, in: M.W. Greene (ed.). *Non-ionizing radiation, International Radiation Protection*

- Association, Vancouver, UBC Press, 1992.
- Bl93 J.P. de Blik en H. Neering, De kans op huidkanker bij behandeling van psoriasis met PUVA-therapie, Tijdschrift kanker 17, (1993)
- Bo88 Bonek et al., Schutz vor nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung; Teil 1: Statische und niederfrequente Felder bis 10 kHz, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, 1988 (OEFZS -- 4434)
- Bo88b Bonek et al., Schutz vor nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung; Teil 2: Hochfrequenz- und Mikrowellenstrahlung im Frequenzbereich 10 kHz - 3000 GHz, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, 1988 (OEFZS -- 4436)
- Bo88c R. Borgmann, Infraschall, in: Fachverband für Strahlenschutz e.V., Tagungsband Nichtionisierende Strahlung 7.-9. November 1988 im Gürzenich zu Köln
- Bo88d B.F.M. Bosnjakovic, Ultraviolet and Ionizing Radiations: A Comparison from the Protection Point of View, in: Fachverband für Strahlenschutz e.V., Tagungsband Nichtionisierende Strahlung 7.-9. November 1988 im Gürzenich zu Köln
- Bo92 R. Borgmann, Infraschall, in: Fachverband für Strahlenschutz e.V., Loseblattsammlung Arbeitskreis nicht ionisierende Strahlung, September 1992
- Bo93 W.J.H.M. van den Bosch, J.H.J. Bor en E.H. van de Lisdonk, Twintig jaar aanvullende diagnostiek in de huisartspraktijk, Huisarts en Wetenschap 36, 365 (1993)
- Bo94 W-H Boehncke, W. Sterry en R. Kaufman, Treatment of psoriasis by topical photodynamic therapy with polychromatic light, Lancet 343, 801 (1994)
- Br87 J.H.A. Bruggers, W.E. de Jong, B.F.M. Bosnjakovic en W.F. Passchier, Use of artificial tanning equipment in the Netherlands, in: Passchier W.F., Bosnjakovic B.F.M. (eds), Human exposure to ultraviolet radiation, Risks and regulations; Excerpta medica, Amsterdam, 1987
- Br92 A.H.M. Bresser, R.H.J. Korenromp, G.L. Duvoort, G.J. Eggink, C.M. Boschloo en K. Meiling, Nader onderzoek milieukeur lichtbronnen, RIVM-rapport nr. 739101001
- Br92b K. Brendel en J. Herbertz, Ultrachall, in: Fachverband für Strahlenschutz e.V., Loseblattsammlung Arbeitskreis nicht ionisierende Strahlung, September 1992
- Br94 H. Brüggemeyer, Gefährdung durch UV-Strahlung, Die BG, März 1994, blz. 201
- Bu93 H.C. Bucher en J.G. Schmidt, Does routine ultrasound scanning improve outcome in pregnancy? Meta-analysis of various outcome measures, British Medical Journal 307, 13 (1993)
- Bu94 E. Buskens, proefschrift 'Prenatal Ultrasound Screening for congenital heart disease; an epidemiological perspective', 1994
- BWEF93 Arbeitsgruppe 'Auswirkungen nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung auf die Umwelt', Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder, 2. Teil:

- Frequenzbereich 10 Hz bis 100 kHz, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 1993
- CBS95 Centraal Bureau voor de Statistiek, Statistisch Jaarboek 1995, 's Gravenhage, Sdu/uitgeverij, CBS publicaties, 1995
- Ch81 S.Z. Child, J.D. Hare, E.L. Carstensen, B. Vives, J. Davis, A. Adler en H.T. Davis, Test for the effects of diagnostic levels of ultrasound on the immune response of mice, *Clin Imm. Imm.* 18, 299, (1981)
- Co86 C.W.J. Cox, UV-toestellen voor bruining; een stralingshygiënische inventarisatie bij tien instellingen, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directie Stralenbescherming, 1986
- Co90 Interdisciplinaire commissie van deskundigen, Evaluatie van de invloeden, op de gezondheid van mens en dier, van elektrische leidingen met zeer hoge spanning, 1990
- CPR94 Centrum voor Pacemakerregistratie, Groningen, mondelinge mededeling mw. C. Hooischoor, 21 juni 1995.
- Cr94 J.P. Crane, M.L. LeFevre, R.C. Winborn, J.K. Evans, B.G. Ewigman, R.P. Bain, F.D. Frigoletto, D. McNellis en de RADIUS stuurgroep, A randomized trial of prenatal ultrasonographic screening: Impact on the detection, management, and outcome of anomalous fetuses, *Am. J. Obstet. Gynecol.* 171, 392 (1994)
- Da68 F. Daniels, J.C. van der Leun en B.E. Johnson, Sunburn, *Scientific American* 219, 38 (1968)
- De92 L.I. Dehne, P. Fritz, J. Zagon en K.W. Bögl, Isomerisierung von Aminosäuren durch Mikrowellenerhitzung?, *Bundesgesundhbl.* 9/92, 463 (1992)
- De94 G.R. DeVore, The Routine Antenatal Diagnostic Imaging with Ultrasound Study: another perspective, *Obstet Gynecol* 84, 622 (1994)
- De94b K.C. Dewbury en A.E.A. Joseph, The role of ultrasound scanning, *Scand. J. Gastroenterol* 29 Suppl 203, 5 (1994)
- Di91 C.M.H. Driscoll en K.J.L. Grainger, Sunscreen protection, *National Radiological Protection Bulletin* 123, 15 (1991)
- Di91b B.L. Diffey en P.M. Farr, Sunscreen protection against UVB, UVA and blue light: an in vivo and in vitro comparison, *British Journal of Dermatology* 124, 258 (1991)
- Do90 J. Doornbos, Veiligheidsaspecten van Magnetic Resonance Imaging, *Gamma Nummer 11 - November 1990*
- Eg89 G.J. Eggink en W. Passchier, Symposium 'Niet-ioniserende straling' gehouden van 7 - 9 november 1988 in Keulen, *NVS-Nieuws februari 1989*, 13
- Eg91 G.J. Eggink, Gasembolieën bij laserchirurgie, *Techniek en Gezondheidszorg nummer 10*, 30 (1991)
- Eg93 G.J. Eggink, C. Kaptein, R.J. van Kempen, F.W. van der Meulen, C.J.P.M. Teirlinck en S.R. Vaartjes (red.), *Laserveiligheid in de gezondheidszorg*, Nationale Commissie Laserveiligheid, 1993

- Eg95 G.J. Eggink, L.H.J.M. Janssen, H. van der Woerd, F. Kuik en H.H. Peeck (red). Ozon en Ultraviolette straling; veranderingen, gevolgen en effecten. Een gezamenlijke RIVM-KNMI uitgave over ozon- en UV-onderzoek in Nederland. Bilthoven, juni, 1995.
- Ex89 N. Exalto en J.W. Wladimiroff, Routine-echoscopie in de verloskunde?, Ned. Tijdschr. Geneesk. 133, 1439 (1989)
- F190 H.K. Florig en J.F. Hoburg, Power-frequency magnetic fields from electric blankets, Health Physics 58, 493 (1990)
- Fo86 K.R. Foster en A.W. Guy, The Microwave Problem, Scientific American 255, 28 (1986)
- Ga93 C.F. Garland, F.C. Garland en E.D. Gorham, Rising trends in melanoma, an hypothesis concerning sunscreen effectiveness, Ann. Epidemiol. 3, 103 (1993)
- Ga94 C.F. Garland, F.C. Garland en E.D. Gorham, Journal of the National Cancer Institute 86, 798 (1994)
- Ge94 R. Gerritsen, Alternatieve behandelwijzen voor psoriasis, proefschrift Nijmegen, 1994.
- Gi90 H.P. Gies en C.R. Roy, Bilirubin phototherapy and potential UVR hazards, Health Physics 58, 313 (1990)
- Gi94 H.P. Gies, C.R. Roy, G. Elliott en W. Zongli, Ultraviolet radiation protection factors for clothing, Health Physics 67, 131 (1994)
- GR75M Commissie Bescherming tegen elektromagnetische straling. Advies inzake de gevaren van microgolfstraling en de daaruit afgeleide aanvaardbare stralingsniveaus. Nummer 658/69, Rijswijk, 1975
- GR86UG Commissie Ultrageluid. Het toepassen van ultrageluid in de geneeskunde. Advies 1986/13. 's Gravenhage, Gezondheidsraad, 1986.
- GR86UV Commissie UV-toestellen. UV Straling. Blootstelling van de mens aan ultraviolette straling. Advies 1986/9. Den Haag, Gezondheidsraad, 1986.
- GR90LA G.A. de Wit, H. Vondeling en H.D. Banta, Het gebruik van lasers in de gynecologie, een literatuurstudie. Advies 1990/07. Den Haag, Gezondheidsraad, 1990
- GR92ELF Commissie ELF elektromagnetische velden. Extreem laagfrequente elektromagnetische velden en gezondheid. Advies 1992/07. Den Haag, Gezondheidsraad, 1992.
- GR93LO Beraadsgroep Geneeskunde. Lasers op het oog, Correctie van refractie-afwijkingen met lasers, Advies 1993/19. Den Haag, Gezondheidsraad, 1993.
- GR93OP Commissie Optische Straling. Optische straling, Gezondheidskundige advieswaarden voor blootstelling aan elektromagnetische straling met golflengten tussen 100 nanometer en 1 millimeter, Advies 1993/09. Den Haag, Gezondheidsraad, 1993.
- GR94UV Commissie Risico's UV straling. UV straling uit zonlicht. Advies 1994/05. Den Haag, Gezondheidsraad, 1994.
- Gr88 A.P. Griffiths en A. Fairney, Fluorescent lights, ultraviolet lamps, and cutaneous melanoma, British Medical Journal 297, 1041 (1988)

- Gr92 E. Grant, The biological effects & health hazards of exposure to radiowaves & microwaves, draft?, 1992
- Gu91 H.A. Guldemeester, D. Tibboel, F.W.J. Hazebroek, A.P. Bos, J.W. Wladimiroff en J.C. Molenaar, De resultaten van prenataal echoscopisch onderzoek bij de opsporing van specifieke kinderchirurgische afwijkingen, Ned. Tijdschr. Geneeskd. 135, 703 (1991)
- He88 J. Herbertz, Aspekte der Sicherheit des Ultraschalls, in: Fachverband für Strahlenschutz e.V., Tagungsband Nichtionisierende Strahlung 7.-9. November 1988 im Gürzenich zu Köln
- He90 R.T. Hekkenberg, W.A. Oosterbaan, K. McCarty en D. Mead, Acoustic output and related performance of 5 ultrasound duplex scanners, TNO rapport nr MTD/90.033, 1990
- He93 R.T. Hekkenberg, B. Zeqiri en R. Reibold, Development of standard measurement methods for essential properties of ultrasound therapy equipment, Commission of the European Communities, bcr information, EUR 14761 EN, 1993
- He94 M.J.M. Heshusius, bij de presentatie van de KWF campagne 'Kijk uit voor je huid', uitgesproken op het Nationaal Symposium 'Gezond in de zon', Bilthoven, 7 juni 1994
- HH86 US Department of Health and Human Services. Laser Light Show Safety. HHS Publication FDA 86-8262, 1986.
- IN90 IRPA/INIRC Guidelines, Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electrical and magnetic fields, Health Physics 58, 113 (1990)
- IN94 ICNIRP, Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields, Health Physics 66, 100 (1994)
- Ip89 H. Ippen, Arzt und Solarien, Dtsch. med. Wschr. 114, 1628 (1989)
- IR85 IRPA/INIRC, Review of concepts, quantities, units and terminology for non-ionizing radiation protection, Health Physics 49, 1329 (1985)
- IR88 IRPA/INIRC, Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz, Health Physics 54, 115 (1988)
- IRPA91 IRPA/INIRC Guidelines, Protection of the patient undergoing a Magnetic Resonance Examination, Health Physics 61, 923 (1991)
- IRPA91b IRPA/INIRC Guidelines, Health issues of ultraviolet A sunbeds used for cosmetic purposes, Health Physics 61, 285 (1991)
- Jo92 H. Jossen, G. Eggink en H. Kaase, Ultravioletstrahlung, in: Fachverband für Strahlenschutz e.V., Loseblattsammlung Arbeitskreis nicht ionisierende Strahlung, September 1992
- Jo94 A.E. Joseph, Ultrasound Scanning, Scand. J. Gastroenterol 29 Suppl 203, 24 (1994)
- Ju91 S. Jurk, L.I. Dehne, J. Zagon en K.W. Bögl, Erwärmung von milchsaugflaschen im Mikrowellenherd: Wie können Verbrühungen vermieden werden?, Bundesgesundhbl. 2/91, 60 (1991)

- KE91 W.G.C.R. van Laarhoven en D.C. Nebbeling, Oriënterende stralingsmetingen in het ultraviolet-golfleengebied aan halogeenlampen (BO 91-103/106), KEMA, Arnhem, 1991
- Ko91 C.I. Kowalczyk, Z.J. Sienkiewicz en R.D. Saunders, Biological effects of exposure to non-ionizing electromagnetic fields and radiation: I. Static electric and magnetic fields, NRPB-R238, juli 1991
- Ko91b G. Koornstra en N. Exalto, Echografie in het eerste trimester van de zwangerschap prognostisch waardevol, Ned. Tijdschr. Geneeskd. 135, 2231 (1991)
- Ko94 K. van Koppen, toelichting op de KWF campagne 'Kijk uit voor je huid', uitgesproken op het Nationaal Symposium 'Gezond in de zon', Bilthoven, 7 juni 1994
- Kr88 N. Krause, Elektrische, magnetische, elektromagnetische Felder, Grenzwerte, in: Fachverband für Strahlenschutz e.V., Tagungsband Nichtionisierende Strahlung 7.-9. November 1988 im Gürzenich zu Köln
- Ku91 B. Kunsch, Risk of exposure to electromagnetic fields, Forschungszentrum Seibersdorf, 1991
- KWF94 Nederlandse Kankerbestrijding/Koningin Wilhelminafonds, Persbericht 7 juni 1994 naar aanleiding van KWF campagne 'Kijk uit voor je huid'
- Le92 M.O. Leach, Magnetic resonance imaging and spectroscopy: An introduction to theory, hardware, current applications and safety, J. Radiol. Prot. 12, 137 (1992)
- Le93 M.L. LeFevre, R.P. Bain, B.G. Ewigman, F.D. Frigoletto, J.P. Crane en D. McNellis, A randomized trial of prenatal ultrasonographic screening: Impact on maternal management and outcome, American Journal of Obstetrics and Gynecology 169, 483 (1993)
- Li94 P.P. Lillquist, M.S. Baptiste, M.A. Witzigman en P.C. Nasca, A population-based survey on sun lamp and tanning parlor use in New York State, 1990, Journal of the American Academy of Dermatology 31, 510 (1994)
- Lo90 J.H.M. Lockefer en H. Obertop, Galsteenvergruizing, een verwachting in gruzels?, Ned. Tijdschr. Geneeskd. 134, 1125 (1990)
- Lu89 B.M. Lund, M.R. Knox en M.B. Cole, destruction of listeria monocytogenes during microwave cooking, Lancet 218 (1989)
- Lu89b G. Lubec, C. Wolf en S. Bartosch, Amino acid isomerisation and microwave exposure, Lancet Nr. 9, 1392 (1989)
- Ma86 M.P. Maley, Burns from microwave ovens, Lancet 1147 (1986)
- Ma92 R. Matthes, Radiation emission from microwave ovens, J. Radiol. Prot. 12, 167 (1992)
- Ma92b R. Matthes en L.I. Dehne, Bewertung der Strahlenexposition beim Betrieb von Mikrowellenherden im Haushalt, Bundesgesundhbl. 5/92, 227 (1992)
- Ma92c J.P. Mackenbach, Ontwikkelingen in de sterfte aan kanker in Nederland sinds 1950, Ned. Tijdschr. Geneeskd 136, 122 (1993)
- Ma93 R.M. MacKie, Ultraviolet radiation and the skin, National Radiological

- Protection Bulletin 143, 5 (1993)
- Me94 M.J. van der Meijden, S. Pavel, A.M. Weerheim en M.J. Korstanje, Immunosuppressie door blootstelling aan ultraviolette straling, Ned. Tijdschr. Geneesk. 138, 1460 (1994)
- Mo88 H. Moseley, Non-ionising Radiation, Microwaves, Ultraviolet and Laser Radiation, Medical Physics Handbooks 18, IOP Publishing Ltd, Bristol, 1988
- Mo94 J. Moan, UV-A radiation, melanoma induction, sunscreens, solarium and ozone reduction, J. Photochem. Photobiol. B: Biol. 24, 201 (1994)
- MR93 Milieurapportage 1993, II. Integrale rapportage aantasting ozonlaag en blootstelling UV, RIVM rapport nummer 482533002
- MV3 Nationale Milieuverkenning 3 1993 - 2015, RIVM, Alphen aan de Rijn, 1993
- NCR94 Nederlandse Kankerregistratie, Incidence of cancer in the Netherlands 1991
- Ne88 G. Newi, Biologische Wirkung elektromagnetischer 50 Hz-Felder auf Menschen, in: Fachverband für Strahlenschutz e.V., Tagungsband Nichtionisierende Strahlung 7.-9. November 1988 im Gürzenich zu Köln
- Ne93 P.J. Nelemans, Environmental risk indicators for cutaneous melanoma. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen. 1993
- NOZ95 NOZEMA, Nederlandsche Omroep-Zendermaatschappij, volgens toegezonden informatie.
- NRPB91 NRPB, Board statement on clinical magnetic resonance diagnostic procedures, NRPB 2 (1991)
- NRV93 Nationale Raad voor de Volksgezondheid, Beter Beeld; Advies over magnetic resonance, Zoetermeer, maart 1993
- NVRL92 Nederlandse Vereniging van Radiologisch Laboranten, Geen risico bij MR, Gamma Nummer 5 - Mei 1992
- NVS88 (anoniem), Zijn regels nodig voor blootstelling aan radio- en televisiegolven?, NVS-Nieuws, september 1988, 36
- Ob88 G. Obe en M. Rosenthal, Zur Wirkung von elektromagnetischen 50 Hertz-Feldern auf die Chromosomen von menschlichen peripheren Lymphocyten in vitro, in: Fachverband für Strahlenschutz e.V., Tagungsband Nichtionisierende Strahlung 7.-9. November 1988 im Gürzenich zu Köln
- Oo91 W.A. Oosterbaan, R.T. Hekkenberg en C. Teirlinck, Technische aspecten van de ultrageluidstherapie, Techniek in de Gezondheidszorg nummer 3, 20 (1991)
- O192 E. Oldenburg, Ultrageluid en elektrochirurgie bij laparoscopische ingrepen, Techniek en Gezondheidszorg nummer 1, 4 (1992)
- Os87 J.M. Osepchuk, Comments on the editorial about radiofrequency standards by D.H. Sliney, M.L. Wolbarsht and A.M. Muc, Health Physics 53, 327 (1987)
- Pa89 W.F. Passchier en B.F.M. Bosnjakovic, Non-ionizing radiation in the Netherlands, NVS-Nieuws, februari 1989, 17
- Pa91 W.F. Passchier, De vele vormen van niet-ioniserende stralen en velden, NVS-Nieuws, oktober 1991, 9
- Pa93 M.A. Pathak, V.A. DeLeo, J.H. Epstein en W. Morison, Ann. Epidemiol. 3, 451 (1993)

- Pa94 W.F. Passchier, Worstelen met niet-ioniserende straling, Arbeitskreis nicht-ionisierende Strahlung in Wenen bijeen, NVS-Nieuws, mei 1994, 13
- Pa94b W.F. Passchier, Bruinen zonder zon, NVS-Nieuws december 1994, 11
- Pe92 R.J.G. Peters, J.A. Reekers en C.A. Visser, Intravasculaire echografie, Ned. Tijdschr. Geneesk. 136, 1152 (1992)
- PI93 P.W. Plaisier, R.L. van den Hul, R. den Toom, H.G.T. Nijs, O.T. Terpstra en H.A. Bruining, De resultaten van 4 jaar galsteenvergruizing, Ned. Tijdschr. Geneesk. 137, 768 (1993)
- PTT95 PTT-Telecom Mobiele Communicatie, Draadloze telefonie vraagt betere afscherming, Techniek in de Gezondheidszorg, nummer 1, 20 (1995)
- Ra90 F.H.J. Rampen en H. Groenendal, Over de wenselijkheid van bevolkingsonderzoek naar huidkanker; Een regionale actie in Oss, Medisch Contact 45, 16 (1990)
- Re94 C. Julian-Reynier, N. Philip, C. Scheiner, Y. Aurran, F. Chabal, A. Maron, A. Gombert en S. Aymé, Impact of prenatal diagnosis by ultrasound on the prevalence of congenital anomalies at birth in southern France, J. Epidemiol. Community Health 48, 290 (1994)
- RHB94 Radiological Health Bulletin vol. 28 no. 3, 2 (1994)
- Ru90 R. Russell Jones, Tanning with ultraviolet A sunbeds, British Medical Journal 301, 986 (1990)
- Ru92 S.H.J. Ruijs, Magnetic resonance: assessing the potentials, European Journal of Radiology 14, 82 (1992)
- Ry94 A.J.G. van Rijen en L. Ottes, MRI in de praktijk, Medisch Contact 22, 49 (1994)
- Ry94b T.P. Ryan, B.S. Trembley, D.W. Roberts, J.W. Strohbehn, C.T. Coughlin en P.J. Hoopes, Brain hyperthermia: I. Interstitial microwave antenna array techniques - the Dartmouth experience, Int. J. Oncology Biol. Phys. 29, 1065 (1994)
- Sa87 Safety of ultrasound in pregnancy, British Medical Journal 294, 1293 (1987)
- Sc91 G.H. Schreiber en G.M.H. Swaen, Gezondheidsrisico's van blootstelling aan extreem laag-frequente elektromagnetische velden, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat-Generaal Milieubeheer, 1991, publicatie 1991/51
- Si92 H.C. Starritt, F.A. Duck, A comparison of ultrasound exposure in therapy and pulsed Doppler fields, British Journal of Radiology, 65 (1992) 557
- Sk91 A.A. Skolnick, Medical News & Perspectives, JAMA 265, 3217 (1991)
- SI80 D. Sliney en M. Wolbarsht, Safety with lasers and other optical sources, Plenum Press, New York, 1980
- SI89 H. Slaper en Dr. J.C. van der Leun, Schatting van het risico van huidtumoren bij blootstelling van de mens aan ultraviolette straling, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1989
- SI91 H. Slaper en G.J. Eggink, Blootstelling aan ultraviolette straling. Een analyse van het probleemveld, RIVM rapport nr. 249104002, oktober 1991

- SI92 H. Slaper, M.G.J. den Elzen, H.J. v.d. Woerd en J. de Greef, Ozone depletion and skin cancer incidence: an integrated modelling approach, RIVM rapport nr. 749202001, juni 1992
- SI95 H. Slaper, H. Reinen, J. Bordewijk en E. Schlamann, Effective Ultraviolet in the Netherlands, RIVM rapport nr. 610070002, 1995
- Sn92 E. Snellman, Comparison of the antipsoriatic efficacy of heliotherapy and ultraviolet B: a cross-over study, *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 9, 83 (1992)
- So94 J.C.A. Sol, A.C.M. van de Ven, J.H. Pameijer en U.F. Hiddema, Voordelen van dagbehandeling bij cataractoperaties, *Medisch Contact* 49, 807 (1994)
- St90 W.M. Star, Fotodynamische therapie met behulp van lasers, *Techniek en Gezondheidszorg*, nummer 10, 9 (1990)
- St92 H.J.C.M. Sterenborg en G.J. Müller (eds.), European Community concerted action programme into the development of medical laser applications, final report working group laser safety, 1992
- St92b P. Sterrenburg, Lasertechnologie bij de behandeling van kanker, *Techniek en Gezondheidszorg* nummer 10, 26 (1992)
- St93 B.A.M. Staatsen, E.A.M. Franssen, G. Doornbos, F. Abbink, A.A. van der Veen, S.H. Heisterkamp en E. Lebret, Gezondheidskundige evaluatie Schiphol, RIVM rapport nr. 441520001, RIVM Bilthoven, 1993
- STG87 Commission on Future Health Care Technology van de Stuurgroep Toekomstscenario's Gezondheidszorg, Health Care Applications of Lasers: the Future Treatment of Coronary Artery Disease, 1987
- Sw88 A.J. Swerdlow, J.S.C. English, R.M. MacKie, C.J. O'Doherty, J.A.A. Hunter, J. Clark en D.J. Hole, Fluorescent lights, ultraviolet lamps, and risks of cutaneous melanoma, *British Medical Journal* 297, 647 (1988)
- Ti91 D. Tibboel, J.W. Wladimiroff, J.M. Nijman, F.W.J. Hazebroek, R.J. Scholtmeijer en J.C. Molenaar, Slecht nieuws vóór de geboorte; wie vertelt het de ouders?, *Ned. Tijdschr. Geneeskd.* 135, 689 (1991)
- Ur93 F. Urbach, Ultraviolet A transmission by modern sunscreens: is there a real risk?, *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 1992/1993:9: 237 (1993)
- Va88 J.C. de Valois, Radiodiagnostiek Informatie Systeem 1982-1987, *Medisch Contact* 43, 1560 (1988)
- Va89 S.R. Vaartjes, Development of safety regulations for medical use of lasers in the Netherlands, *NVS-Nieuws*, februari 1989, 27
- Va90 J.C. de Valois, De Nederlandse radiodiagnostiek in internationaal perspectief, *Ned. Tijdschr. Geneeskd.*, Nummer 22, 134 (1990)
- Va92 J.C. de Valois, Radiodiagnostiek in Nederland, *Medisch Contact* 47, 1383 (1992)
- Ve94 B.J. Vermeer en M. Hurks, The clinical relevance of immunosuppression by UV irradiation, *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* 24, 149 (1994)
- Vk93 *Volkskrant*, 30 september 1993
- VROM90 Hoofdinspectie van de Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne, Richtlijn voor

- radiofrequente straling bij zendingrichtingen, 1990.
- VROM94 Ministerie van VROM, Circulaire Extreem Laag Frequentie Elektromagnetische Velden, Den Haag, 1994.
- VTV93 D. Ruwaard en P.G.N. Kramers (eindred.), Volksgezondheid Toekomst Verkenning, RIVM, Sdu Uitgeverij Plantijnstraat, Den Haag 1993
- Wa90 S.D. Walter, L.D. Marrett, L. From, C. Hertzman, H.S. Shannon en P. Roy, The association of cutaneous malignant melanoma with the use of sunbeds and sunlamps, Am. J. Epid. 131, 232 (1990)
- WHO82 M.J. Suess and D.A. Benwell-Morison (red). Nonionizing radiation protection, World Health Organization Regional Publications 1982.
- W194 J.W. Wladimiroff, Echoscopie van de zwangerschap, Bijblijven 10/1994, 31
- Wo85 A.B. Woltering en H.A.J.M. van Hoof, Inventarisatie Radiofrequente Stralingsniveaus in Nederland, Directie Stralingsbescherming, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1985