

RIVM rapport 861020007 / 2004

**Gezondheidseffecten van blootstelling aan
radiofrequente elektromagnetische velden -
Probleemanalyse niet-ioniserende straling**

JFB Bolte en MJM Pruppers

**Dit rapport bevat een erratum d.d. 3-12-2019
op pagina 128**

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Afvalstoffen en Straling, in het kader van project M/861020 'BEST-Niet-ioniserende straling', mijlpaal 'Probleemanalyses elektromagnetische velden'.

Abstract

An inventory of available information on the exposure to radio-frequency electromagnetic fields has revealed insufficient knowledge on two items: i.e., 1) if and how exposure to these electromagnetic fields can lead to complaints like headaches, and 2) the lack of a good-quality overview of all sources in the Netherlands and their contribution to total exposure.

The government and other professional stakeholders are responsible for the protection of the population against possible adverse health effects from exposure to radio-frequency electromagnetic fields. There is concern about and ignorance of these fields amongst the Dutch population. Therefore, one needs to know, on the one hand, whether exposure to these fields can actually lead to effects and, on the other hand, whether exposure in reality can be so high that effects can actually occur. The available information on health effects has been collected by the RIVM and analysed for presentation in a recent report. The first part deals with international knowledge on fields and effects, while the second part overviews the situation in the Netherlands for three groups of sources: communication equipment, domestic appliances and consumer articles, and detection equipment.

At the moment a European recommendation forms the basis for policy making and regulations in the Netherlands. If the exposure remains below specific levels, particular short-term effects do not occur. These well-understood effects, caused by heating of and induced electric currents in the body, include an increase in body temperature and involuntary muscle contraction. Other effects are those for which it is not clear whether, and if so, how the effects are caused by exposure to radio-frequency fields. Effects claimed by some are, for example, headaches and sleeping disorders. These effects do not always lend themselves for easy and objective establishment. Sleeping disorders are reported for exposures found below the limits in the European recommendation.

An overview of the sources is necessary for making good exposure estimates in the Netherlands and for informing the population. In this way, the field strength caused by a single source, but also the field strength caused by multiple sources can be estimated. The field strengths depend mainly on the transmitted power and the distance to the source. It is particularly important to further investigate the situation around AM-broadcasting transmitters and radio amateurs, considering that AM-broadcasting transmitters are capable of transmission at high power levels. Radio amateurs may be transmitting at varying power levels. New sources such as UMTS base stations and equipment transmitting highly pulsed signals should also be further investigated. A licence for use of frequency space is not always required, for example, for applications for wireless communications, such as computers equipped with WiFi transmitters. In general, this equipment transmits at low power levels, but may be located close to the body. Other licence-free transmitters are being used in anti-theft devices and for reading electronic bar codes. Even though these systems are capable of transmitting at high peak power levels, exposure is generally for a short period of time.

Rapport in het kort

Gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden - Probleemanalyse niet-ioniserende straling

Het is onbekend of en zo ja hoe blootstelling aan radiofrequente velden tot subjectieve gezondheidseffecten zoals hoofdpijn kan leiden. Ook ontbreekt er een systematisch overzicht van alle bronnen in Nederland en hun bijdragen aan de totale blootstelling.

Radiofrequente velden worden bijvoorbeeld veroorzaakt door diverse communicatiezenders zoals gebruikt voor mobiele telefonie en omroep. Er bestaat bezorgdheid onder de bevolking over mogelijke gezondheidseffecten en onbekendheid met dergelijke velden.

Het eerste deel van het rapport gaat over wat er internationaal over radiofrequente velden en gezondheidseffecten bekend is. Het tweede deel geeft een overzicht van de Nederlandse situatie voor drie groepen bronnen: communicatie-apparatuur, huishoudelijke apparatuur en gebruiks-artikelen en ten slotte detectie-apparatuur.

Als de blootstelling beneden de grenzen in de Europese aanbeveling blijft, dan komen bepaalde kortetermijneffecten niet voor. Het gaat dan om effecten zoals verhoging van de lichaamstemperatuur en het onwillekeurig samentrekken van spieren, die het gevolg zijn van opwarming en in het lichaam opgewekte stromen. Sommige mensen claimen specifieke effecten zoals slaapstoornissen en een gevoel van malaise of subjectieve effecten zoals hoofdpijn.

Om de blootstelling in te schatten en de bevolking te informeren, is een openbaar overzicht van de locaties en kenmerken van radiofrequente bronnen nodig. Het is aan te bevelen om bronnen die met hoog vermogen kunnen zenden, zoals AM-zenders en apparatuur van zendamateurs, in de gaten te houden. Dat geldt ook voor nieuwe bronnen zoals UMTS-basisstations en WiFi-zenders en bronnen met hoge piekvermogens zoals anti-diefstalpoortjes en elektronische streepjescodelezers. Zenders met sterk gepulste signalen verdienen aandacht vanwege de mogelijkheid dat hier mechanismen een rol spelen die niet met opwarming te maken hebben.

Voorwoord

Aan het totstandkomen van dit rapport hebben de volgende personen een belangrijke bijdrage geleverd: Gert Eggink, Paul Stoop, Arnaud de Klerk, Floris van der Wilt, Mirjam van der Plas en Ron Pennders.

Een deel van dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van de directie van het RIVM, in het kader van project S/610230 'Belasting/risico's van straling in Nederland'.

Inhoud

Samenvatting 7

1 Inleiding 9

- 1.1 Aanleiding en doelstelling 9
- 1.2 Reikwijdte 10
- 1.3 Het conceptuele model 11
- 1.4 Vraagstelling 12
- 1.5 Indeling 13

2 Blootstelling aan velden 15

- 2.1 Inleiding 15
- 2.2 Theorie van velden 15
 - 2.2.1 Het elektrische, magnetische en elektromagnetische veld 15
 - 1.1.2 Aard van het veld 17
 - 1.1.3 De veldsterkte van antennes 23
- 2.3 Blootstelling aan radiofrequente velden 24
- 2.4 Voorbeeld van een blootstellingsmaat: SAR 25
- 2.5 Absorptie, reflectie en afscherming 27
- 2.6 Conclusies – hiaten in kennis 30

3 Gezondheidseffecten 31

- 3.1 Inleiding 31
- 3.2 Bestaande kennis 31
- 3.3 Indeling van effecten 32
- 3.4 Het mechanisme 33
 - 3.4.1 Onderzoeksmethoden 33
 - 3.4.2 Aard van het mechanisme 33
- 3.5 Effecten per frequentiegebied 34
- 3.6 Effecten met onbekend mechanisme 37
- 3.7 Voorstellen voor verder onderzoek 38
- 3.8 Conclusies en hiaten in de kennis 39

4 Wetgeving en beleid 41

- 4.1 Inleiding 41
- 4.2 Europese Unie 41
 - 4.2.1 Algemeen 41
 - 4.2.2 EU-aanbeveling: basisrestricties en referentieniveaus 42
 - 4.2.3 Het Europese parlement 43
 - 4.2.4 Normalisatie-activiteiten 44
- 4.3 Rijksoverheid 44
 - 4.3.1 Nationale wetgeving 44
 - 4.3.2 Nationaal beleid 45
 - 4.3.3 Buitenlandse overheden 48
- 4.4 Gemeentelijke en provinciale overheden 49
- 4.5 Conclusies: hiaten in de kennis 50

5 Communicatie-apparatuur 53

- 5.1 Inleiding 53
- 5.2 GSM-basisstations 53
- 5.3 UMTS-basisstations 59
- 5.4 TETRA-basisstations 60
- 5.5 Draadloze verbindingen: WLL, WLAN en Bluetooth 61

5.6	Straalzenders	63
5.7	Zendamateurs	65
5.8	Land, lucht en maritiem mobiele toepassingen	67
5.9	Mobiele telefoons en TETRA portofoons	68
5.10	Omroepzenders	73
5.11	Conclusies en hiaten in de kennis	79
6	Huishoudelijke apparatuur en gebruiksartikelen	81
6.1	Inleiding	81
6.2	Apparatuur die strooivelden opwekt	81
6.3	Apparatuur die radiofrequente velden gebruikt	82
6.4	Conclusies en hiaten	83
7	Detectie-apparatuur	85
7.1	Inleiding	85
7.2	Radartoepassingen	85
1.3	Snelheidsmetingen	90
1.4	Draadloos detecteren en identificeren: EAS en RFID	91
1.5	Conclusies en hiaten	95
8	Discussie, conclusies en aanbevelingen	97
8.1	Inleiding	97
8.2	Het verband tussen blootstelling en effecten	97
8.3	Vergelijking van bronnen van radiofrequente velden	98
8.4	Overzicht van kennis en hiaten	100
8.4.1	Basiskennis	100
8.4.2	Hiaten – Bronnen en blootstelling in Nederland	101
8.4.3	Hiaten – Verbanden tussen blootstelling en effecten	102
8.4.4	Aanbevelingen	103
Literatuur		104
Bijlage 1 Lijst van afkortingen		116
Bijlage 2 Referentieniveaus (volgens de EU-aanbeveling)		119

Samenvatting

Uit een inventarisatie van de beschikbare kennis over de blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden blijkt dat op twee onderdelen nog onvoldoende kennis beschikbaar is. Het is onbekend of en zo ja hoe blootstelling aan deze velden tot klachten zoals hoofdpijn kan leiden. Ook ontbreekt het aan een overzicht van alle bronnen in Nederland en hun bijdragen aan de totale blootstelling.

De overheid is samen met de andere professioneel betrokkenen verantwoordelijk voor de bescherming van mensen tegen de mogelijk nadelige gevolgen voor hun gezondheid, als ze aan radiofrequente elektromagnetische velden worden blootgesteld. Er bestaat bezorgdheid over en onbekendheid met dergelijke velden onder de bevolking. Daarom is er behoefte aan twee soorten gegevens. Aan de ene kant is het nodig om te weten of blootstelling aan deze velden werkelijk tot effecten leidt en aan de andere kant of de blootstelling in de praktijk zo hoog is dat deze effecten ook werkelijk voor kunnen komen. RIVM heeft de beschikbare kennis verzameld en in dit rapport overzichtelijk weergegeven. Het eerste deel van het rapport gaat over wat er internationaal over velden en effecten bekend is. Het tweede deel geeft een overzicht van de Nederlandse situatie voor drie groepen bronnen: communicatie-apparatuur, huishoudelijke apparatuur en gebruiksartikelen en ten slotte detectie-apparatuur.

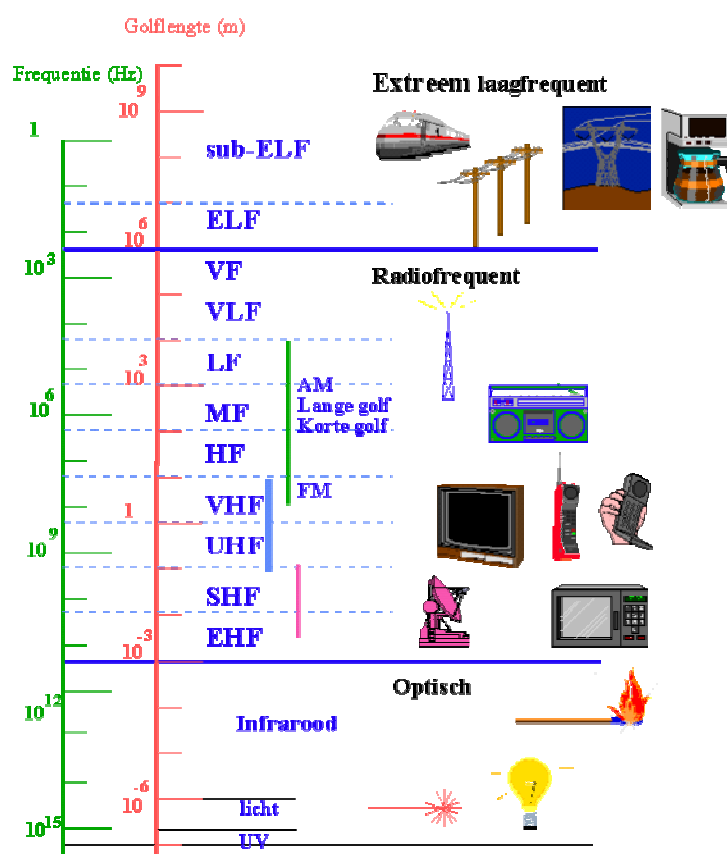
Op dit moment vormt een Europese aanbeveling de basis voor de beleidsvorming en de regelgeving in Nederland. Als de blootstelling beneden bepaalde grenzen blijft, dan komen bepaalde effecten op korte termijn niet voor. Het gaat dan om goed begrepen effecten die het gevolg zijn van opwarming en van stromen die in het lichaam worden opgewekt, zoals verhoging van de lichaamstemperatuur en het onwillekeurig samentrekken van spieren. Er zijn ook effecten waarvan nog niet begrepen is of en zo ja hoe ze door blootstelling aan radiofrequente velden ontstaan. Effecten die door sommige mensen worden geclaimd, zijn onder andere slaapverstoring en hoofdpijn. Deze effecten zijn moeilijk objectief vast te stellen. Deze laatste groep effecten is gerapporteerd bij blootstelling beneden de grenzen in de Europese aanbeveling.

Om de blootstelling in Nederland goed in te kunnen schatten en de bevolking te kunnen informeren, is een overzicht van bronnen nodig. Dan kan de veldsterkte als gevolg van een afzonderlijke bron en van meer bronnen tegelijkertijd worden geschat. De veldsterkte is voornamelijk afhankelijk van het uitgezonden vermogen en de afstand tot de bron. Het is vooral van belang om de situaties rond AM-omroepzenders en zendamateurs nader te onderzoeken. AM-omroepzenders kunnen met een hoog vermogen zenden. Zendamateurs kunnen in dichtbevolkte gebieden met wisselende vermogens zenden. Ook is het aan te bevelen om te kijken naar nieuwe bronnen, zoals UMTS-basisstations en zenders met sterk gepulste signalen. In sommige gevallen is een vergunning voor gebruik van frequentieruimte niet nodig. Voorbeelden hiervan zijn recente toepassingen voor draadloze communicatie, zoals computers met WiFi-zenders. Over het algemeen zendt deze laatste apparatuur weliswaar met lage vermogens, maar de zender kan zich wel dicht bij het lichaam bevinden. Andere vergunningsvrije apparatuur wordt gebruikt in anti-diefstalpoortjes en bij het lezen van elektronische streepjescodes. Deze systemen kunnen met hoge piekvermogens zenden, maar daar wordt men meestal kort aan blootgesteld.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doelstelling

Niet-ioniserende straling (NIS) strekt zich uit van statische elektrische en magnetische velden (statisch; 0 Hz), via extreem-laagfrequente (ELF; 0 – 300 Hz) en radiofrequente (RF; 300 Hz – 300 GHz) velden tot en met optische straling (infrarode straling, zichtbaar licht en ultraviolette straling; frequenties hoger dan 300 GHz; golflengten kleiner dan 1 mm): zie Figuur 1. Ioniserende straling heeft een golflengte kleiner dan ongeveer 100 nm (ultraviolette straling, röntgen- en gammastraling).



Figuur 1 Diverse bronnen van elektromagnetische velden gerangschikt langs een frequentie- en een golflengteschaal.

NIS omvat een grote diversiteit aan toepassingen die als bron van elektrische en magnetische velden of van elektromagnetische straling kunnen worden beschouwd. Het elektriciteitsnet in Nederland levert een wisselspanning van 50 Hz. Daarmee zijn alle elektriciteitsproducerende, -transporterende en -gebruikende activiteiten en toepassingen in principe een bron van ELF-velden. Voor draadloze overdracht van informatie worden hoge vermogens van kilowatts (bijvoorbeeld radio en televisie) en lage vermogens van enkele watts (bijvoorbeeld mobiele telefoon) gebruikt. De nieuwe ontwikkelingen in draadloze communicatie volgen elkaar snel op. Na de GSM- en DCS1800-netwerken wordt nu gewerkt aan de uitrol van UMTS-netwerken. Draadloos communiceren tussen apparaten op enkele tientallen meters afstand van elkaar is ook een nieuwe toepassing van radiofrequente velden. Daarnaast zijn er diverse andere toepassingen, zoals radarinstallaties, magnetrons, anti-diefstalpoortjes en diverse industriële toepassingen die radiofrequente velden veroorzaken. Tot slot is er een

groep activiteiten en toepassingen die blootstelling aan ‘optische’ straling met zich meebrengt. Denk bijvoorbeeld aan zonnebaden (buiten of onder zonnebanken), werken in de buitenlucht, gebruik van (warmte)lampen en lasers voor allerlei doeleinden.

Er zijn mensen die zich zorgen maken over de mogelijke negatieve gevolgen op de gezondheid als ze aan de diverse velden worden blootgesteld. Zo bestaat er bijvoorbeeld bezorgdheid of mobiele telefoons en basisstations kanker kunnen veroorzaken. Ook zijn er mensen die klachten hebben over slapeloosheid en concentratieverlies sinds ze in de buurt van zendmasten wonen. De maatschappelijke aandacht en de onzekerheden over mogelijke schadelijke effecten zijn de belangrijkste redenen waarom de overheid in het algemeen en RIVM in het bijzonder actief is op het aandachtsgebied niet-ioniserende straling.

Deze probleemanalyse heeft tot doel de overheid en andere professioneel betrokkenen te informeren over de hiaten in de kennis op het gebied van radiofrequente velden en mogelijke gezondheidseffecten. Hiertoe geeft zij een overzicht van wat nationaal en internationaal bekend is op het gebied van bronnen, velden, blootstelling en mogelijke nadelige gezondheidseffecten. Daarnaast geeft zij specifiek voor Nederland een overzicht van wet- en regelgeving en een inventarisatie van de bronnen, veldsterkte en veroorzaakte blootstelling. Ook identificeert zij wat de belangrijkste bronnen in Nederland zijn. Op basis van deze kennis kan de overheid dan besluiten tot beschermende maatregelen of tot het initiëren van verder onderzoek.

1.2 Reikwijdte

Dit rapport beperkt zich tot het frequentiegebied van 300 Hz tot 300 GHz, het zogenaamde radiofrequente (RF) gebied. De andere frequentiegebieden komen in aparte rapportages aan de orde.

Onderwerpen die in dit rapport aan de orde komen zijn onder andere:

- soorten radiofrequente velden,
- verband tussen blootstelling aan radiofrequente velden en schadelijke effecten voor de gezondheid,
- wetgeving en beleid,
- overzicht van de belangrijkste bronnen en de door hen veroorzaakte velden en blootstelling in Nederland,
- identificatie van de mogelijke gevaarlijke bronnen en de meest recent ontwikkelde bronnen waarvan de blootstelling nog niet is in te schatten.

De volgende paragraaf behandelt de samenhang tussen deze onderdelen aan de hand van een conceptueel model.

Storing van apparatuur, die ook wel wordt aangeduid met de elektromagnetische compatibiliteit (EMC) problematiek, door radiofrequente velden komt alleen aan de orde als deze storing leidt tot mogelijke effecten op de gezondheid. Er wordt uitgegaan van normale situaties waarin de (zender)apparatuur correct werkt en geen calamiteiten of incidenten met deze apparatuur optreden.

Er zijn ook nadelige effecten op de gezondheid die niet direct met elektrische of magnetische velden maar wel met de bronnen en de toepassingen van deze velden kunnen samenhangen. Denk bijvoorbeeld aan wel of niet mobiel bellen tijdens autorijden. Hoewel deze effecten van belang zijn voor de gezondheid van de mens en ze bij een eventuele respons van de overheid

op de mogelijk effecten van elektromagnetische velden ook een rol spelen, vallen ze buiten de reikwijdte van deze probleemanalyse.

Ook natuurlijke bronnen van radiofrequente velden, zoals onweer en zonnewind (de oorzaak van het noorderlicht) die bijvoorbeeld uitzendingen van radio en televisie kunnen verstoren, vallen buiten de reikwijdte van deze probleemanalyse.

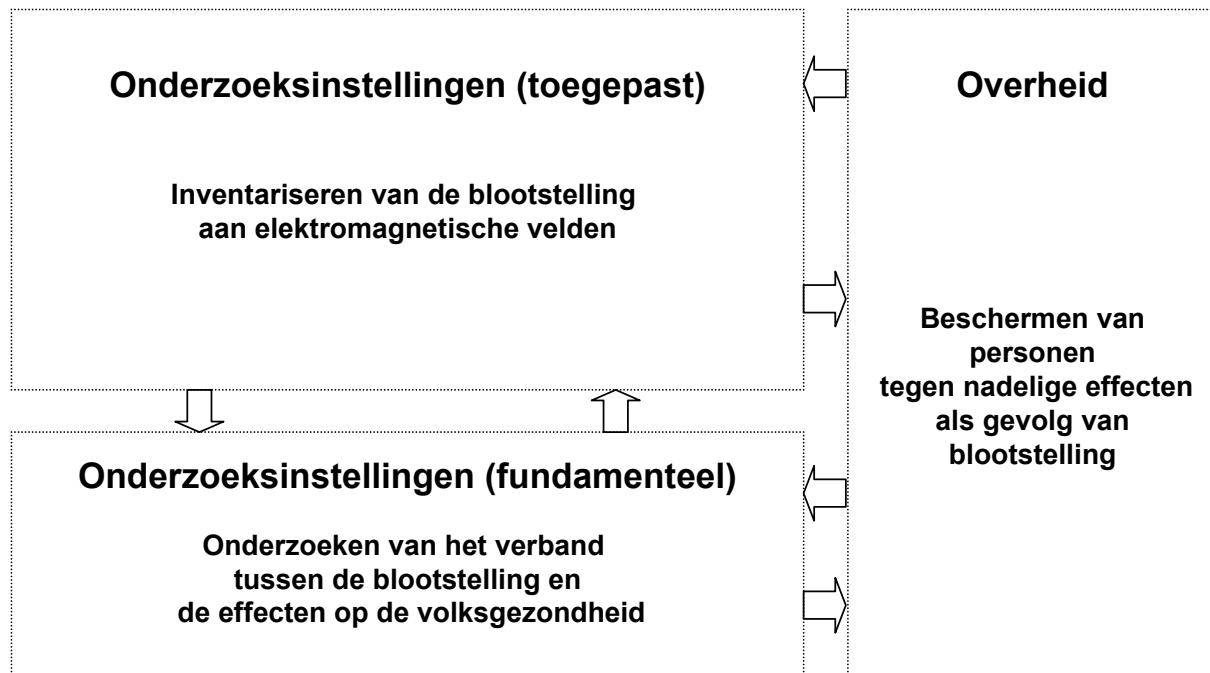
1.3 Het conceptuele model

Figuur 2 toont het conceptuele model dat in deze probleemanalyse is gehanteerd. Het bevat de drie belangrijkste processen die cyclisch met elkaar samenhangen. Een van de onderdelen van de cyclus is het inventariseren van bronnen en de door hen veroorzaakte blootstelling aan elektromagnetische velden. Een volgende stap is het onderzoeken van de mogelijke relatie tussen blootstelling en effecten. Op grond hiervan kan de overheid besluiten tot beleid en wetgeving ter bescherming van de bevolking. De cyclus sluit door de evaluatie van het beleid middels het inventariseren van bronnen en de door hen veroorzaakte blootstelling.

Het inventariseren van de radiofrequente bronnen en de blootstelling aan de veroorzaakte velden omvat bijvoorbeeld ook het vaststellen van de blootstellingsduur en de daaruit afgeleide waarde van de dosis die een persoon ontvangt. Dit soort werk wordt vaak verricht door onderzoeksinstituten zoals RIVM en TNO en bedrijven zoals Nozema. Deze inventarisatie is te gebruiken voor zowel beleidsevaluatie als beleidsvoorbereiding.

Het onderzoeken in brede zin van dosis-effect relaties op grond van de geconstateerde gezondheidseffecten wordt vaak verricht door universiteiten en andere onderzoeksinstituten.

In het derde proces richt de overheid zich op het beschermen van de bevolking door middel van beleid, wetgeving en handhaving. Tijdens het voorbereiden van limieten en het doorrekenen van mogelijke maatregelen maakt de overheid onder meer gebruik van de informatie opgedaan bij het inventariseren van de bronnen en het onderzoeken van het verband tussen blootstelling en effecten.



Figuur 2 Het conceptuele model.

1.4 Vraagstelling

De centrale vraag in deze probleemanalyse is welke informatie nodig is voor de bescherming van de bevolking tegen eventuele nadelige gevolgen voor de gezondheid van mensen. Deze informatie moet onder andere geschikt zijn om te kunnen besluiten welke effecten ongewenst zijn en welke maatregelen er eventueel genomen zouden kunnen worden. Een analyse van de informatiebehoefte en van de reeds beschikbare informatie leidt tot de hiaten in de beschikbare kennis, waaruit bijvoorbeeld de overheid kan afleiden op welke onderdelen de beschikbare middelen het best kunnen worden ingezet. In lijn met het conceptuele model zijn dat enerzijds het verbeteren van het inzicht in de totale blootstelling en anderzijds het onderzoeken van de verbanden tussen blootstelling (in ruime zin) en mogelijke effecten. Voor het inventariseren van de blootstelling kan worden gesteld dat inzet van meer middelen in principe ook meer inzicht betekent. Inzet van meer middelen voor onderzoek naar de verbanden tussen blootstelling en effecten daarentegen leidt, gezien de ervaringen met dergelijk veelal kostbaar onderzoek in het buitenland, niet noodzakelijkerwijs tot de informatie die de betrokkenen nodig hebben.

Van de centrale vraag zijn de volgende concrete vragen afgeleid, die RIVM in deze probleemanalyse tracht te beantwoorden.

- 1 Welke informatie is beschikbaar over:
 - bruikbare maten voor de blootstelling aan radiofrequente velden in het algemeen;
 - mogelijke gezondheidseffecten op korte en lange termijn;
 - wetgeving en beleid op het gebied van blootstelling aan radiofrequente velden; en
 - werkelijke of typische blootstellingssituaties in Nederland?

- 2 Welke hiaten in de kennis kunnen worden aangewezen in:
 - de verbanden tussen blootstelling en mogelijke effecten; en
 - de blootstelling in Nederland?
- 3 Welke hiaten dienen met voorrang te worden opgevuld, met andere woorden:
 - welke mogelijke effecten dienen nader te worden onderzocht; en
 - welke bronnen van radiofrequente velden zijn het belangrijkste?

1.5 Indeling

Elk hoofdstuk in dit rapport heeft in de inleiding een overzicht van de belangrijkste literatuur waarop het gebaseerd is en in de afsluitende paragraaf een discussie van en conclusies over de hiaten in de kennis.

De indeling is geënt op de drie onderdelen van het conceptuele model. Het rapport bestaat uit twee delen. Het eerste deel, Hoofdstukken 2 tot en met 4, beschrijft de nationaal en internationaal bekende basiskennis over velden, blootstelling-effect relaties gevolgd door de wetgeving in Nederland en in de Europese Unie. Het tweede deel, Hoofdstukken 5 tot en met 7, behandelt de specifieke bronnen en blootstelling in Nederland.

Hoofdstuk 2 ‘Blootstelling aan velden’ geeft uitleg over elektromagnetische velden en hoe deze opgewekt kunnen worden, welke grootheden en eenheden daarbij horen en wat de definities zijn. Ook komt de wisselwerking tussen elektromagnetische velden en levende wezens aan de orde.

Hoofdstuk 3 ‘Gezondheidseffecten’ geeft aan wat de mogelijke verbanden zijn tussen de dosis die een persoon ontvangt en de negatieve gezondheidseffecten. Het gaat per frequentiegebied in op de mogelijke effecten en geeft aan welke verbanden begrepen zijn. Ook bespreekt het de adviezen van gezaghebbende instanties zoals de World Health Organization (WHO) en de Gezondheidsraad over toekomstig onderzoek naar effecten en oorzakelijke verbanden.

Hoofdstuk 4 ‘Wetgeving en beleid’ beschrijft de wetgeving en het beleid in Nederland en in de Europese Unie (EU). De nadruk ligt in dit hoofdstuk op de Europese aanbeveling uit 1999, die op aanbevelingen van de International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) is gebaseerd en die de blootstelling van leden van de bevolking aan elektromagnetische velden betreft. Er wordt ook ingegaan op het Nationaal Antennebeleid en op het beleid in andere landen. Het hoofdstuk eindigt met wetgeving en beleid op provinciaal en gemeentelijk niveau.

De Hoofdstukken 5 tot en met 7 zijn de hoofdstukken die specifiek de bronnen van radiofrequente velden in Nederland beschrijven. De bronnen van radiofrequente velden zijn ingedeeld in drie brongroepen, met elk een eigen hoofdstuk in de probleemanalyse: ‘Communicatie-apparatuur’, ‘Huishoudelijke apparatuur en gebruiksartikelen’ en ‘Detectie-apparatuur’. Bij de ordening van de bronnen is onderscheid gemaakt tussen bronnen waar een persoon veel aan wordt blootgesteld zonder dit zelf te kunnen voorkomen, en bronnen waar de burger niet per se mee in contact hoeft te komen. De indeling van de bronnen is dus minder gebaseerd op technische gronden, maar meer op blootstellingsoverwegingen. Elk hoofdstuk streeft ernaar om per brongroep en bij voorkeur voor alle bronnen in die groep, de volgende gegevens te verschaffen: het aantal en de geografische verspreiding; de zendkarakteristieken zoals vermogen, frequentie, bandbreedte en stralingspatroon; de blootstellingsgegevens: de hoeveelheid mensen die blootgesteld worden aan een bepaalde veldsterkte, de blootstellingsduur; de toekomstverwachting.

Hoofdstuk 8, 'Discussie, conclusies en aanbevelingen', sluit de analyse af met een opsomming van de belangrijkste hiaten in de kennis uit de hoofdstukconclusies. Daarnaast bevat het een discussie en enkele conclusies over het gehele radiofrequente gebied aangevuld met enkele aanbevelingen voor onderzoeksrichtingen.

2 Blootstelling aan velden

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste fysische begrippen met betrekking tot radiofrequente velden uitgelegd. Het hoofdstuk is voornamelijk geassocieerd met het proces ‘Inventariseren’ in het conceptuele model. Vanuit de velden wordt in Hoofdstuk 3 vooruit gekeken welke invloed ze kunnen hebben op levende wezens en in de Hoofdstukken 5 tot en met 7 wordt terug gekeken wat de veroorzakers van deze velden zijn.

Het hoofdstuk begint met een uitleg over elektrische, magnetische en elektromagnetische velden en over de gebruikelijke grootheden en eenheden.

Vervolgens komt aan de orde welke ingrediënten belangrijk zijn voor het definiëren van de term ‘blootstelling’ aan velden. Denk daarbij bijvoorbeeld aan veldsterkte en tijdsduur. Uiteraard hangt het definiëren van de maat voor de hoeveelheid geabsorbeerde elektromagnetische straling, de dosis, af van de nadelige effecten en de verbanden tussen dosis en effect die worden bestudeerd. Voor het bekendste geverifieerde effect, namelijk opwarming, dat bij een temperatuursverhoging van meer dan één graad Celsius schadelijk kan zijn, wordt als blootstellingsmaat de SAR (*Specific Absorption Rate*) gebruikt. De SAR geeft aan hoeveel watt per kilogram het lichaam over een bepaalde periode gemiddeld heeft geabsorbeerd. Hoofdstuk 3 geeft informatie over mogelijke andere effecten, die wellicht ook een andere maat van blootstelling nodig hebben.

Na het vastleggen van de begrippen wordt ingegaan op processen zoals absorptie, reflectie en afscherming, die van belang zijn voor het vaststellen van de blootstelling.

2.2 Theorie van velden

Elektrische en magnetische velden laten zich beschrijven door de Maxwell-vergelijkingen [1]. Deze vergelijkingen beschrijven het gedrag in tijd en ruimte van het magnetische en van het elektrische veld. Beide zijn aan elkaar gekoppeld tot één elektromagnetisch veld. Een deel van de energie van het elektromagnetische veld blijft rond de bron aanwezig, maar er is ook sprake van transport van energie (straling) die bijvoorbeeld door een antenne wordt uitgezonden.

2.2.1 Het elektrische, magnetische en elektromagnetische veld

Het elektrische en het magnetische veld

Het elektrische veld wordt veroorzaakt door elektrische lading. Het elektrische veld is een vectorveld, dat wil zeggen dat het een grootte en een richting heeft. De elektrische veldsterkte E heeft de eenheid volt per meter (V/m).

Magnetische velden ontstaan door veranderende elektrische velden of door bewegende lading. Permanent (ferro-) magnetisme bestaat als gevolg van kringstromen die beperkt blijven tot microscopisch kleine deeltjes. Net als het elektrische veld, is het magnetische veld een vectorveld. De magnetische veldsterkte H heeft de eenheid ampère per meter (A/m). Een hiermee samenhangende grootheid is de magnetische fluxdichtheid B , met als eenheid tesla

($T = V \text{ s m}^{-2}$). De tesla is voor situaties waarin leden van de bevolking zich kunnen bevinden een onhandig grote eenheid, de meeste fluxdichtheden liggen in het bereik van de microtesla (μT)¹. B en H zijn evenredig met elkaar. De omrekening kan uitgevoerd worden met de volgende formule:

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H ,$$

waarin μ de magnetische permeabiliteit is, μ_0 de magnetische permeabiliteit van het vacuüm is, en μ_r de (eenheidsloze) relatieve magnetische permeabiliteit. In vacuüm, en in goede benadering ook in lucht en biologische weefsels, geldt $\mu_r \approx 1$, zodat B en H volgens een vast verhoudingsgetal in elkaar om te rekenen zijn²:

$$\mu_0 = \frac{B}{H} \approx 1,26 \text{ (}\mu\text{T/(A/m))}.$$

Het elektromagnetische veld

Een veranderend elektrisch veld veroorzaakt altijd een magnetisch veld en vice versa. Strikt genomen zijn het elektrische en het magnetische veld daarom in wezen twee componenten van één veldverschijnsel, het elektromagnetische veld genoemd. Een elektromagnetisch veld bestaat uit energie die voor een deel als golven van de bron af getransporteerd wordt. Deze golven noemt men elektromagnetische straling. Dergelijke golven kunnen allerlei vormen hebben. Iedere golf kan echter worden beschreven als de som van harmonische (sinusvormige) golven. De belangrijkste karakteristiek van een periodieke (zichzelf herhalende) beweging, zoals een harmonische golf, is de frequentie f , ofwel het aantal malen dat de beweging zich per tijdseenheid herhaalt. De eenheid van frequentie is de hertz (Hz), het aantal herhalingen per seconde. De tijd T waarin precies één beweging wordt uitgevoerd heet de periode en is de inverse van de frequentie:

$$T = \frac{1}{f}.$$

Elektromagnetische golven bewegen in vacuüm met de lichtsnelheid c en in lucht met vrijwel dezelfde snelheid: $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$. De afstand die een golf in één periode aflegt, is de golflengte λ . Het verband tussen de frequentie f , de golflengte λ en de lichtsnelheid c is hierdoor:

$$c = f\lambda.$$

Omdat de lichtsnelheid constant is, kan men om een golf te karakteriseren, in plaats van de frequentie ook de golflengte gebruiken. Namen als langegolf, middengolf, kortegolf en microgolf refereren hier aan.

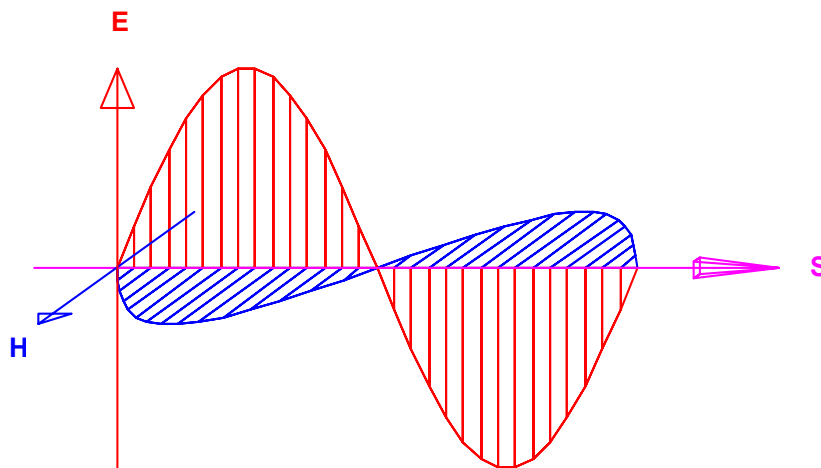
¹ Ook wordt de oude eenheid, de gauss (G) nog gebruikt: $1 \text{ G} = 100 \mu\text{T} = 0,0001 \text{ T}$.

² De exacte waarde van de magnetische permeabiliteit in vacuüm is: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ henry per meter (H/m)}$.

Een maat voor de sterkte of de intensiteit van elektromagnetische straling is de grootte van de vermogensdichtheid S . Dit is het vector-uitproduct³ van de elektrische en de magnetische velden $\vec{E}$ en $\vec{H}$:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H},$$

en geeft de hoeveelheid energie die per tijdseenheid door een loodrecht op de voortplantingsrichting staand oppervlak wordt getransporteerd. De eenheid van S is watt per vierkante meter (W/m^2). Figuur 4 geeft de richtingen van de magnetische en de elektrische veldcomponent alsmede de voortplantingsrichting weer.



Figuur 3 Eén periode van een vlakke harmonische elektromagnetische golf die zich in de richting S beweegt. Zij is samengesteld uit een elektrische component (E) en een magnetische component (H) die loodrecht op elkaar staan.

2.2.2 Aard van het veld

Elektromagnetische golven worden uitgezonden door bronnen die in grootte kunnen variëren van een fluorescerend molecuul dat ultraviolette straling uitzendt tot een antenne met een afmeting van vele kilometers voor zeer laagfrequente golven.

Op enige afstand van de bron bevindt men zich in het zogenaamde verre veld. Hier bestaat het elektromagnetische veld voornamelijk uit een stralend deel. Tot op enkele golflengtes afstand van de bron bevindt men zich in het zogenaamde nabije veld. Hier heersen naast elektromagnetische straling ook nog andere elektrische en magnetische velden waarvan de energie bij de bron blijft ‘plakken’. Deze laatste, niet stralende componenten, worden reactieve velden genoemd. In praktische blootstellingsituaties kan het voorkomen dat de

³ De velden $\vec{E}$, $\vec{H}$ en $\vec{S}$ hebben niet alleen een grootte maar ook een richting en zijn dus vectorvelden (aangegeven door de pijl boven het symbool). $\vec{S}$ geeft behalve de grootte ook de richting waarheen de energie getransporteerd wordt. Deze richting staat loodrecht op de veldvectoren $\vec{E}$ en $\vec{H}$, zoals Figuur 3 aangeeft. $\vec{S}$ is het uitproduct tussen de vectorvelden $\vec{E}$ en $\vec{H}$. De grootte hiervan wordt gegeven door de groottes van de velden te vermenigvuldigen: $S = E \times H$.

blootgestelde persoon zich in het nabije veld bevindt, bijvoorbeeld bij gebruik van een mobiele telefoon.

Het nabije veld en het verre veld

In het verre veld hebben elektromagnetische golven de vorm van een zogeheten vlakke golf, waarbij E en H loodrecht op elkaar en loodrecht op de bewegingsrichting staan, zie Figuur 3. Ook zijn het E - en het H -veld in fase, ze bereiken tegelijk de maximale en een halve periode later de minimale waarde. De richting waarin de golf beweegt, is gelijk aan de richting waarin een rechtse schroef beweegt wanneer men deze over de kleinste hoek van E naar H draait.

In de verre-veldbenadering, dus bij vlakke golven, is de verhouding tussen het E - en het B -veld, gelijk aan de lichtsnelheid. De lichtsnelheid is ook weer uit te drukken in de magnetische permeabiliteit μ en de elektrische permittiviteit ε , via de elektromagnetische impedantie Z :

$$Z = \frac{E}{H} = \mu \frac{E}{B} = \mu c = \mu \frac{1}{\sqrt{\mu \varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}},$$

waarin ε_0 de elektrische permittiviteit in vacuüm⁴ is en ε_r de dimensieloze relatieve elektrische permittiviteit, die ook wel de diëlektrische constante van een materiaal wordt genoemd⁵. Net als μ_r is ε_r een eigenschap van het materiaal waar het elektromagnetische veld in heerst. In vacuüm, en in een goede benadering ook in lucht, zijn μ_r en ε_r gelijk aan 1. De verhouding tussen de elektrische en magnetische veldsterkte is dan gelijk aan de elektromagnetische impedantie van het vacuüm: $Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0} = 377 \, \Omega$. In de verre-veldbenadering maakt het dus niet uit of de elektrische veldsterkte E , de magnetische veldsterkte H of de magnetische fluxdichtheid B wordt bepaald. Ze zijn alle in elkaar om te rekenen. Om de vermogensdichtheid $S = E \times H$ te berekenen heeft men dus voldoende aan één van de grootheden E , H of B :

$$\begin{aligned} S &\approx E^2 / 377 \\ &\approx H^2 \times 377 \\ &\approx B^2 \times 237 \end{aligned}$$

In het nabije veld hangt de vorm van de velden E en H sterk af van de aard van de bron. In het nabije veld is er nog geen sprake van vlakke golven. E en H kunnen dus niet meer eenvoudig in elkaar worden omgerekend.

De verschillende componenten van het nabije veld en van het verre veld

Antennes hebben als hoofddoel het uitzenden of het ontvangen van elektromagnetische velden. Zij bestaan in de simpelste vorm uit een elektrisch circuit waardoor een sinusvormige wisselstroom vloeit. De verschillende elektrische en magnetische veldcomponenten die de

⁴ De exacte waarde van de elektrische permittiviteit van het vacuüm ε_0 is $\frac{10^7}{4\pi c_0^2} \approx \frac{1}{36\pi \times 10^9}$ farad per

meter (F/m). c_0 staat hier voor de lichtsnelheid in vacuüm.

⁵ ε_r is altijd groter dan 1 en is vaak ook afhankelijk van de frequentie van het veld en andere omstandigheden zoals de temperatuur. De waarde neemt af bij oplopende frequentie.

antenne opwekt bestaan uit veldcomponenten die afnemen met $1/r^3$, $1/r^2$ en $1/r$. [1, p. 408, 2, p. 414].

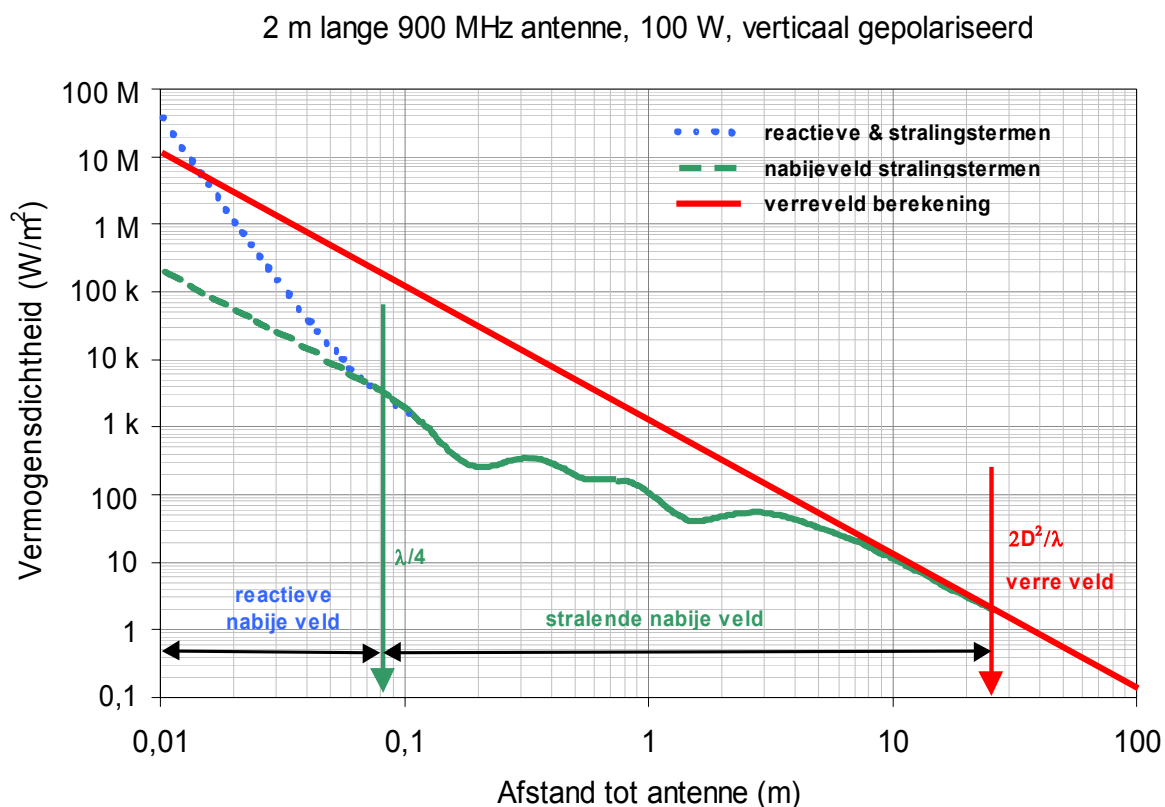
In het verre veld bestaan alleen nog componenten die afnemen met $1/r$. Deze zorgen ook voor het transport van energie van de bron af (straling). De andere veldcomponenten zijn dan al te veel afgezwakt om nog van betekenis te zijn. De energie van deze andere veldcomponenten blijft voornamelijk ‘gevangen’ in een bol rond de antenne: ze stroomt periodiek uit de bron en weer terug, en blijft dus aan de bron ‘kleven’. Deze veldcomponenten die dichtbij de bron heersen, maar geen energie van de bron af transporteren, heten reactieve velden.

Het nabije veld kan ruimtelijk in twee delen worden verdeeld: het reactieve nabije veld, waar het reactieve veld het stralingsveld kan overheersen, en het stralende nabije veld.

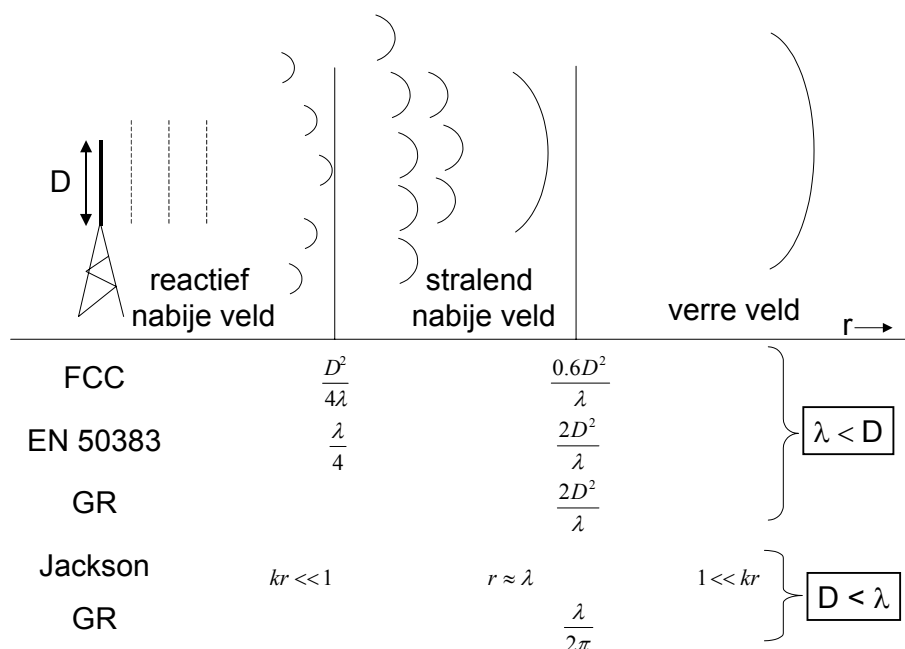
In het stralende nabije veld staan H en E nog niet loodrecht op elkaar en de vermogensdichtheid van het veld heeft ook een grillig, moeilijk te berekenen, niet lineair verloop, omdat H en E niet altijd in fase bewegen. De structuur van het elektromagnetische veld, en daarmee van de vermogensdichtheid, is daardoor grillig en inhomogeen: in sommige gebieden kan een bijna zuiver *E-veld* en in andere gebieden een bijna zuiver *H-veld* voorkomen.

Figuur 4 laat het grillige verloop van de vermogensdichtheid S van de velden zien voor een 2 m lange 900 MHz antenne. Het is een voorbeeld overgenomen uit een Europese norm voor de berekening van elektromagnetische velden [3]. De doorgetrokken lijn is de sterkte van de totale vermogensdichtheid zoals die in het verre veld heerst, en is geëxtrapoleerd naar het nabije veld. De gestippelde lijn is de totale vermogensdichtheid van alle reactieve en stralende velden. De gestreepte onderste lijn is enkel de vermogensdichtheid van het stralende veld. Het linker deel geeft het reactieve nabije veld aan, waar de gestippelde lijn sterker is dan het geëxtrapoleerde zuivere stralingsveld zou kunnen zijn. Als grens tussen de twee nabije veldsoorten is in de Europese norm $r=\lambda/4$ gekozen. Dat is het punt waar de verhouding in vermogensdichtheid van het stralingsveld en het reactieve veld samen tot het stralingsveld gelijk is aan 1,1.

Over de precieze grenzen tussen deze drie veldgebieden is in de literatuur geen overeenstemming. Figuur 5 geeft een overzicht van de begrenzingen zoals gedefinieerd volgens de Federal Communications Commission (FCC) [4], de Europese norm [3], de Gezondheidsraad [5] en het klassieke tekstboek van Jackson [1]. Er worden twee situaties onderscheiden: de eerste is waarin de dominante afmeting D van de bron groter is dan de dominant uitgezonden golflengte λ , de tweede waarin de golflengte groter is dan de afmeting van de bron. De grens tussen het nabije en het verre veld is volgens alle bronnen gebaseerd op de afstand vanaf waar het totale elektromagnetische veld afneemt met $1/r$, en daarnaast het karakter van vlakke golven heeft. Dat is volgens de definitie van de Gezondheidsraad [5] voor $D < \lambda$ op een afstand (veel) groter dan $\lambda/2\pi$ het geval. Voor $D > \lambda$ is dat het geval als het golfvront lokaal als vlakke golf te beschouwen is. Figuur 6 laat zien dat er van een lokale vlakke golf sprake is, als op een afstand r loodrecht op het midden van D het verschil in looppad δ tussen de top en het midden van D minder bedraagt dan een zestiende golflengte.



Figuur 4 Een voorbeeld van het verloop van de vermogensdichtheid (W/m^2) in het reactieve nabije veld, het stralende nabije veld en het verre veld, bron [3].

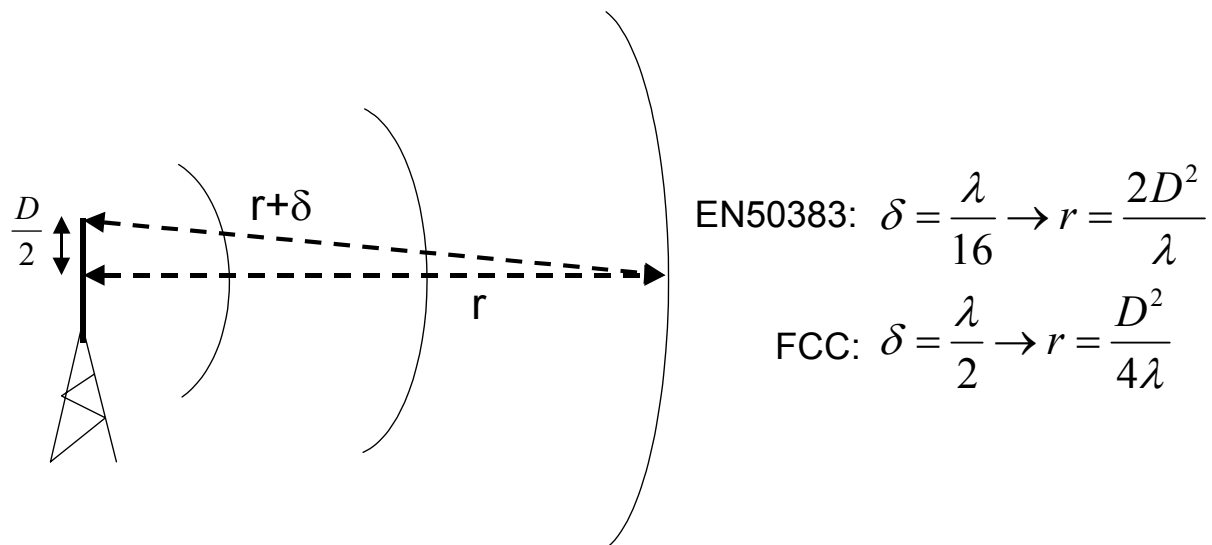


Figuur 5 Overzicht van de grenzen tussen het nabije veld en het verre veld volgens de FCC [4], de desbetreffende Europese norm [3], de Gezondheidsraad [5] en Jackson [1].

Via de volgende berekening is de grens tussen het nabije veld en het verre veld bepaald:

$$(r + \delta)^2 = \frac{D^2}{4} + r^2 \Leftrightarrow 2\delta r + \delta^2 = \frac{D^2}{4} \Rightarrow r \approx \frac{D^2}{8\delta}$$

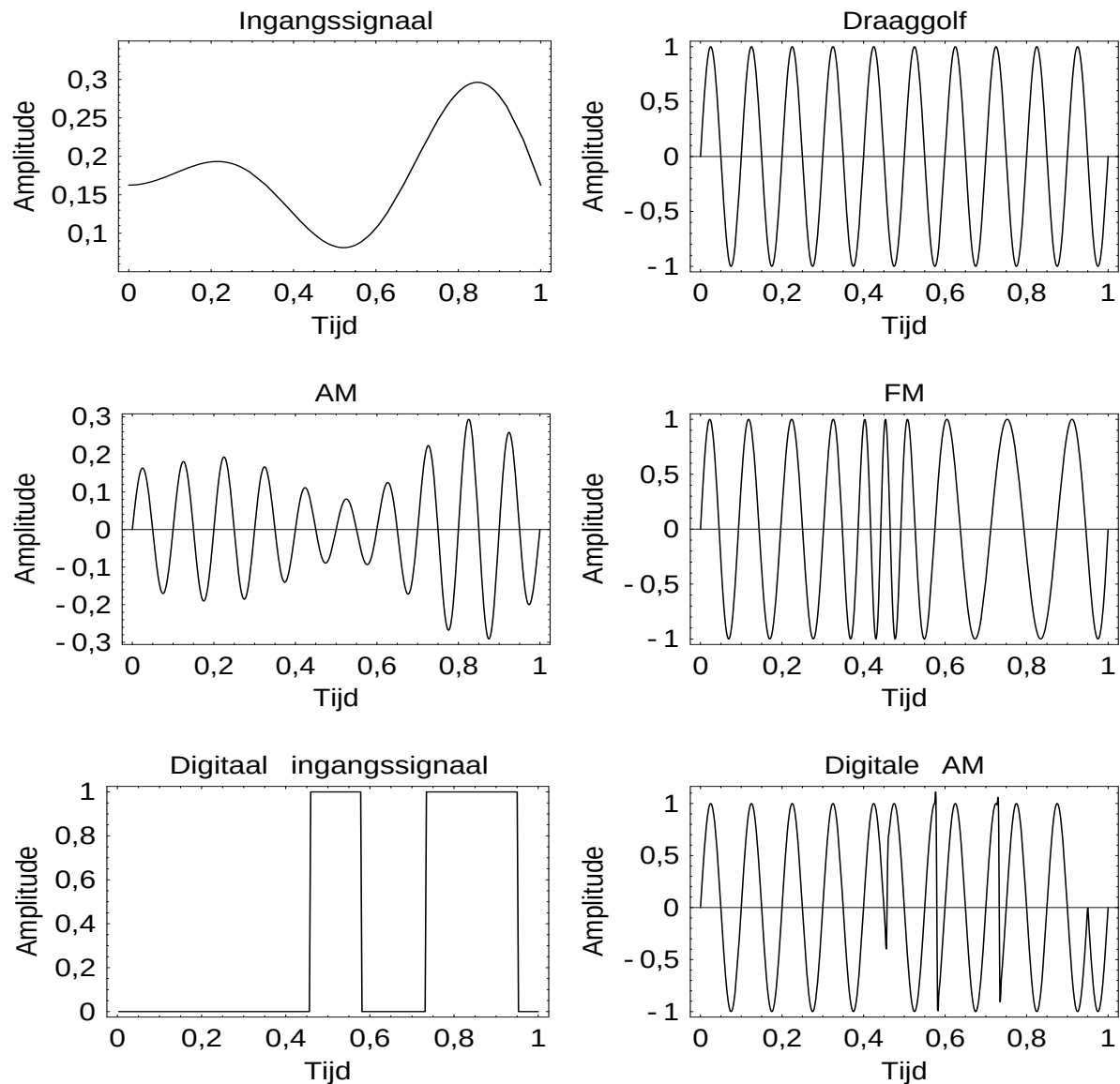
Met als maximale afwijking in het looppad $\delta = \lambda/16$, levert dat een grens van $2D^2/\lambda$. De FCC hanteert andere veldgrenzen. De grens tussen het reactieve en het stralende nabije veld ligt op $D^2/4\lambda$, wat neerkomt op een afwijking in het looppad $\delta = \lambda/2$. De grens tussen het nabije veld en het verre veld ligt op $0,6D^2/\lambda$, de laatste is echter de afstand waarop een ronde antenne, zoals een hoorn- of een schotelantenne een vlakke golf oplevert. De FCC definieert de grenzen dus helemaal op de vorm van het golffront.



Figuur 6 De grens van het verre veld gedefinieerd als afstand waarop een golffront als vlak beschouwd kan worden volgens de desbetreffende Europese norm [3] en de FCC [4].

In de praktijk is bij frequenties groter dan ongeveer 30 MHz ($\lambda < 10$ m) vanaf een afstand van enkele tientallen meters sprake van vlakke golven, en is het dus een zuiver stralingsveld dat afvalt met $1/r$.

Het veld van een mobiele telefoon die zendt bij 1800 MHz, heeft een golflengte van 16,6 cm. In het geval van de mobiele telefoon bevindt het hoofd van de beller zich in het nabije veld. In dit nabije veld wordt niet alleen het eenvoudig te berekenen stralingsveld ervaren, maar ook van het veel grilliger reactieve veld. Daarnaast worden voorwerpen in het nabije veld van een antenne zelf onderdeel van het antennesysteem. Een dergelijke situatie kan zich ook voordoen bij andere bronnen die zich dicht bij het lichaam bevinden.



Figuur 7 Voorbeelden van signaaloverdracht. Boven: Ingangssignaal en Draaggolf. Midden: Amplitude Modulatie (AM) en Frequentie Modulatie (FM). Onder: Digitaal Ingangssignaal en Digitale AM. De eenheden langs de assen zijn willekeurig gekozen eenheden.

Modulatie van elektromagnetische golven

Tot slot is er nog een belangrijke eigenschap van elektromagnetische golven: de golfvorm. Naast continue golven opgebouwd uit harmonische (sinusvormige) golven met verschillende frequenties, zijn er ook gepulste golven. De golfvorm kan van belang zijn voor het mogelijke effect op biologische systemen. Figuur 7 geeft drie voorbeelden voor verschillende manieren van signaaloverdracht: twee manieren om een te verzenden ingangssignaal op een continue analoge draaggolf van één frequentie te zetten, en een voorbeeld van een digitale signaaloverdracht. Het eerste voorbeeld is amplitudemodulatie (AM), waarbij de amplitude van de draaggolf in tijd vermenigvuldigd wordt met de amplitude van het ingangssignaal. Het tweede voorbeeld is frequentiemodulatie (FM), waarbij de frequentie van de draaggolf wordt verlaagd en verhoogd evenredig met de veranderingen in amplitude van het ingangssignaal.

Het derde voorbeeld is digitale AM, waarbij een ingangssignaal door een decoder wordt omgezet naar een signaal dat bestaat uit enen en nullen. Dit digitale ingangssignaal wordt dan op de draaggolf gezet door bij elke overgang van één of nul de fase 180 graden te roteren.

2.2.3 De veldsterkte van antennes

Zendantennes kunnen hun vermogen in alle richtingen uitzenden. De radiofrequente golven worden opgewekt bij de zendmast en vormen daarna een steeds groter wordende bol daaromheen. Bij een antenne die het vermogen isotroop uitzendt⁶, dat wil zeggen in alle richtingen even sterk, verdeelt het uitgezonden vermogen zich gelijkmatig over het oppervlak van een bol met de antenne in het middelpunt. De vermogensdichtheid op een bepaald punt hangt hierbij alleen af van de afstand van dat punt tot het centrum. In formule:

$$S = \frac{P}{4\pi r^2},$$

waar S de vermogensdichtheid is, P het uitgezonden vermogen en r de afstand van het punt tot de antenne.

Over het algemeen bundelen zendantennes op de één of andere manier de uitgezonden elektromagnetische straling. Zendantennes voor radio en televisie zijn doorgaans zo gevormd dat ze hun vermogen in een horizontaal vlak uitzenden, met andere woorden, binnen een kleine verticale hoek. In sommige gevallen wordt de bundel een weinig omhoog gericht. Zo'n bundelende antenne veroorzaakt op dezelfde afstand r in de bundel een grotere vermogensdichtheid dan een isotroop uitzendende antenne met hetzelfde vermogen P . Men beschrijft dit met behulp van de antenneversterking of *gain* G ⁷. Men rekent dan met het 'equivalent isotroop uitgestraalde vermogen' (EIRP) (Engels: Equivalent Isotropically Radiated Power), dat G maal het werkelijke vermogen is:

$$EIRP = G \times P = 1,64 \times ERP$$

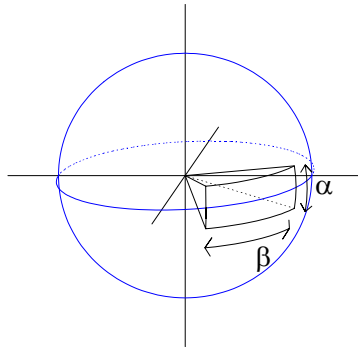
zodat geldt:

$$S = \frac{EIRP}{4\pi r^2} \approx \frac{EIRP}{12,6r^2} = \frac{1,64 \cdot ERP}{12,6r^2}.$$

Het $EIRP$ is het vermogen dat nodig zou zijn als de zender zijn straling isotroop zou uitzenden en toch dezelfde vermogensdichtheid bij de ontvanger zou teweegbrengen als in de hoofdbundel. Bij een bundelende antenne is het EIRP dus groter dan het feitelijke vermogen. Merk op dat ook bij bundeling geldt dat de vermogensdichtheid kwadratisch afneemt met de afstand tot de bron. Een andere maat voor het vermogen is het 'effectief uitgestraalde vermogen' (ERP) (Engels: Effective Radiated Power). Dit geeft de versterking van het vermogen in de hoofdstraalrichting ten opzichte van een ideale (verliesvrije) halve-golflengte dipoolantenne. Dipoolantennes zijn standaardantennes die in de praktijk worden gebruikt.

⁶ Een isotrope straler is een theoretisch concept dat niet bestaat in de praktijk. Het concept wordt hier enkel gebruikt om een inzichtelijke uitleg te geven.

⁷ Let op: vaak wordt de antenneversterking A gegeven in dB. Deze waarde kan als volgt worden omgerekend naar de gain G : $G = 10^{0,1 \times A}$. Omgekeerd geldt dat $A = 10 \log(G)$. Voorbeeld: Een straalzender heeft een antenneversterking van 44 dB. De gain G is dan: $10^{0,1 \times 44} = 10^{4,4} \approx 25100$.



Figuur 8 Schematische voorstelling van een antenne die zijn vermogen binnen een verticale hoek α en een horizontale hoek β uitzendt.

Soms staan in de technische specificaties van een zender alleen een verticale hoek α en de horizontale hoek β vermeld waarbinnen de antenne het vermogen bundelt. De situatie is dan zoals geschetst in Figuur 8. Men kan in dit geval de *gain* G berekenen met de formule:

$$G = \left(\frac{\beta}{360^\circ} \times \sin \frac{\alpha}{2} \right)^{-1}$$

Voor $\alpha < 90^\circ$ geldt als vuistregel (afwijking kleiner dan 10%):

$$G \approx \left(\frac{\beta}{360^\circ} \times \frac{\alpha}{360^\circ} \times \pi \right)^{-1} \quad (\alpha \text{ en } \beta \text{ in graden})$$

Als de verre-veldbenadering van toepassing is, kunnen S , E , H , en B eenvoudig in elkaar worden omgerekend. In de praktijk werkt men echter doorgaans met de elektrische veldsterkte E . Gebruik makend van de omrekeningen kan voor het verband tussen E en r de volgende uitdrukking worden afgeleid:

$$E = \sqrt{S \times 377} = \sqrt{\frac{EIRP \times 377}{12,6 \cdot r^2}} \approx \frac{\sqrt{EIRP \cdot 30}}{r}.$$

2.3 Blootstelling aan radiofrequente velden

Met de term ‘blootstelling’ van een persoon aan elektromagnetische velden wordt hier bedoeld dat een persoon zich in een elektromagnetische veld bevindt. Het kiezen van een zinvolle maat voor de hoeveelheid geabsorbeerde elektromagnetische straling, de dosis, hangt af van de nadelige effecten en de verbanden tussen de dosis en het effect die worden bestudeerd. Daarvoor is een analyse nodig die aangeeft welke eigenschappen van het elektromagnetische veld dat heerst in het biologische systeem van belang zijn. Vervolgens kan dan bepaald worden boven welke drempelwaarden van de dosis of in welke dosisintervallen deze eigenschappen het schadelijke effect veroorzaken. De grootte van de dosis is dus niet gebaseerd op de waarde van één eigenschap van het veld, bijvoorbeeld alleen de veldsterkte, maar is een combinatie van eigenschappen, zoals een bepaalde veldsterkte van een elektromagnetisch gepulst veld in een frequentie-interval gedurende een bepaalde tijd. Eigenschappen van het uitgezonden veld die van belang zouden kunnen zijn als veroorzaker van het schadelijke effect zijn [6, 7]:

- aard van het veld:
 - nabije veld: statisch of/en inductief of/en stralend, verre veld: stralend
 - elektrisch, magnetisch, elektromagnetisch
 - polarisatie⁸ en richting
- modulatie: analoog of digitaal, continu of gepulst
- frequentie-interval
- dosisinterval
- vermogensdichtheid
- blootstellingsduur

2.4 Voorbeeld van een blootstellingsmaat: SAR

Een voorbeeld van een blootstellingsmaat is de in de wetenschappelijke literatuur veelgebruikte *Specific Absorption Rate* (SAR). De SAR is de geabsorbeerde stralingsenergie per massa-eenheid en per tijdseenheid⁹. Deze blootstellingsmaat is bruikbaar voor kortetermijneffecten van elektromagnetische velden ten gevolge van opwarming. Bij een blootstelling aan velden met frequenties tussen de 10 MHz en enkele GHz met een SAR van net onder 4 W/kg gedurende 30 minuten kan de lichaamstemperatuur oplopen met net iets minder dan één graad Celsius. Dat laatste blijkt uit een studie met vrijwilligers in een MRI¹⁰-scanner [6, 8]. De definitie van de SAR is [3]:

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right),$$

met W de geabsorbeerde energie, m de massa in een volume V met een dichtheid ρ . De SAR voor harmonische golven kan eenvoudig berekend worden volgens:

$$SAR = \frac{\sigma(E_{RMS})^2}{\rho},$$

hierin is E_{RMS} de *root-mean-square*¹¹ waarde van het interne elektrische veld E , ρ de dichtheid in kilogram per kubieke meter (kg/m^3) en σ de soortelijke geleiding¹² van het weefsel of het materiaal in siemens per meter (S/m).

⁸ De polarisatie van een vlakke elektromagnetische golf wordt bepaald door de richting van de E -veld component. Een verticaal gepolariseerde golf heeft dus zijn E -component geheel langs de z -as. Het polarisatievlak is het vlak dat zowel de voortplantingsrichting als de E -veld component bevat.

⁹ Er zijn ruwweg drie types: 1 De hele-lichaams-SAR waarbij de middeling over de hele lichaamsmassa wordt genomen, de middelingstijd is zes minuten. 2 De plaatselijke SAR met een kubische middelingsmassa van 10 g, en de SAR wordt gemiddeld over willekeurige periode van zes minuten, [Aanbeveling van de Raad van Europa 1999/519/EG]. In de VS wordt ook wel 1 g als middelingsmassa gebruikt. 3 De piek-SAR waarbij er geen gemiddelde over de tijd wordt genomen. Omdat de mate van doordringen van elektromagnetische golven in het lichaam samenhangt met de frequentie van het signaal, is de SAR frequentie afhankelijk.

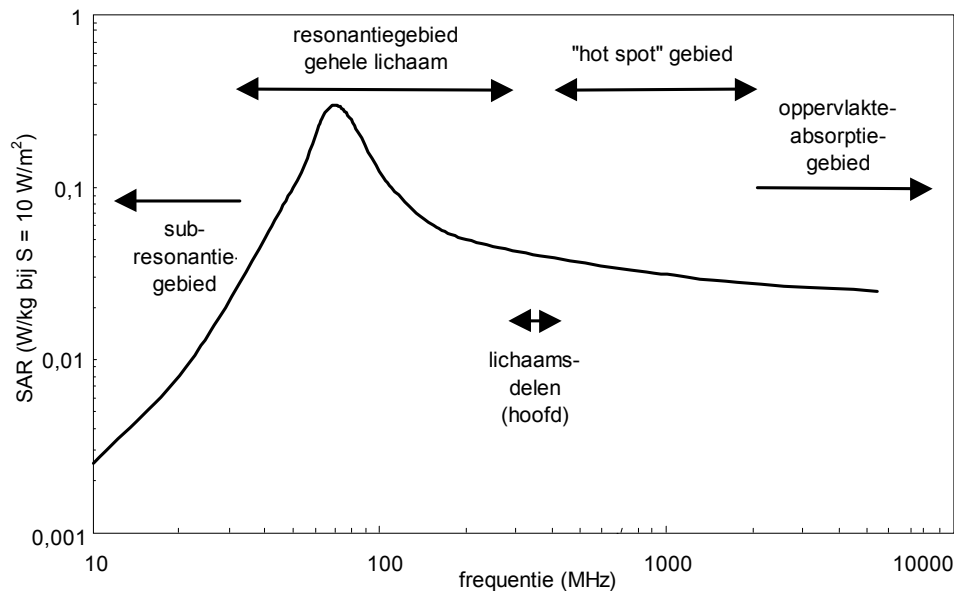
¹⁰ MRI staat voor *Magnetic Resonance Imaging*.

¹¹ De RMS waarde is de effectieve waarde van een periodiek wisselende functie. Het is de waarde om dezelfde hoeveelheid vermogen te leveren als de amplitude deze als constante waarde zou hebben. De RMS waarde

voor het elektrisch veld E met een periode T luidt: $\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T E^2(t) dt}$.

¹² De definitie van de soortelijke geleiding is $\sigma = 1/R_s$, ofwel de reciproce van de soortelijke weerstand R_s . De soortelijke weerstand is gedefinieerd als: $R_s = R/A$, de weerstand R van een cilindrisch elementje van lengte l en oppervlak A waar stroom door loopt. De eenheid van soortelijke weerstand is ohm meter (Ωm).

De frequentie-afhankelijkheid van de SAR voor een volwassen persoon is weergegeven in Figuur 9. Hierbij is ervan uitgegaan dat het lichaam zich bevindt in het verre veld en dat de lengte-as van het lichaam parallel staat aan de richting van het elektrische veld, hetgeen een maximale vermogensopname tot gevolg heeft.



Figuur 9 De Specific Absorption Rate (SAR) bij een volwassen persoon als functie van de frequentie bij een vermogensdichtheid van 10 W/m^2 , vrij naar [9].

In het frequentiegebied tussen 100 kHz en enkele honderden MHz, het resonantiegebied, hangt de absorptie sterk af van de frequentie en bereikt een maximum wanneer de golflengte tweemaal de lichaamslengte is. Bij een volwassene komt dit overeen met een frequentie van 70 à 80 MHz. Maken de voeten elektrisch contact met de aarde, dan is de resonantiefrequentie half zo groot. Naarmate de blootgestelde persoon kleiner is, is de resonantiefrequentie hoger.

In het frequentiegebied tussen 300 MHz en 300 GHz is de rechtstreekse absorptie van energie uit een elektromagnetisch veld in weefsels het gevolg van de trillingen van vrije geladen deeltjes en van de relaxatie van elektrische dipolen [10].

De energieopname in het nabije veld is anders dan in het verre veld. Afhankelijk van de soort bron kan het zijn dat vooral het magnetische veld sterk is in het nabije veld en de SAR bepaalt, zoals bijvoorbeeld is gevonden voor mobiele telefoons door Mochizuki *et al.* [11]. Ook is de SAR in het nabije veld afhankelijk van de positie ten opzichte van de bron: een klein afstandsverschil tussen bron en weefsel kan al een andere lokale SAR verdeling opleveren [12]. Dit laatste vanwege de eerder opgemerkte grillige ruimtelijke verdeling van de veldsterkte en de vermogensdichtheid in het nabije veld. Andere factoren die van belang zijn bij het bepalen van de SAR zijn de stand van de bron, de polarisatie, en de invalshoek. De elektromagnetische energie is immers in het nabije veld niet homogeen in de ruimte verdeeld.

2.5 Absorptie, reflectie en afscherming

Het interne elektromagnetische veld in het lichaam, waarop de SAR is gebaseerd, is niet gelijk aan het externe veld in de open ruimte. Door absorptie en reflectie van het veld zullen de E - en H -componenten van het veld in het lichaam minder energie hebben dan daarbuiten.

De interne velden hangen af van:

- de eigenschappen van het inkomende externe veld, zoals frequentie, vermogensdichtheid, polarisatie en of men zich in het nabije of het verre veld bevindt;
- de karakteristieken van de blootgestelde persoon, zoals de grootte, de uit- en inwendige geometrie, de magnetische en diëlektrische eigenschappen¹³ van de weefsels;
- de effecten van de ondergrond en de aanwezigheid van reflecterende voorwerpen in de buurt van de blootgestelde persoon.

Sterkte van het interne veld

De absorptie van elektromagnetische energie hangt samen met de doordringdiepte δ van het elektrische en het magnetische veld in een voorwerp of weefsel. De doordringdiepte is gedefinieerd als de diepte waarop de veldsterkte met een factor $1/e$ (~37%) is afgenomen. Via de Maxwell vergelijkingen kan de volgende formule worden afgeleid voor de doordringdiepte van vlakke elektromagnetische golven in het verre veld:

$$\delta = \frac{1}{\alpha} \quad \text{waarin } \alpha \text{ staat voor:} \quad \alpha = 2\pi f \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{(\epsilon 2\pi f)^2}} - 1 \right]}$$

Bovenstaande formule illustreert hoe hoger de frequentie, des te minder diep de golven doordringen in het materiaal. Voor menselijk weefsel geldt dat voor de frequenties hoger dan 10 GHz er nauwelijks opwarming van intern weefsel meer zal plaatsvinden, maar vooral van de huid.

Absorptie

Om de geabsorbeerde hoeveelheid energie door biologisch weefsel te berekenen is het van belang de relatieve permittiviteit ϵ_r en de soortelijke geleiding σ te kennen voor verschillende soorten weefsels. Weefsel wordt verondersteld niet-magnetisch te zijn en daarom is de relatieve permeabiliteit μ_r gelijk aan 1. De relatieve permittiviteit en de soortelijke geleiding zijn bovendien afhankelijk van de frequentie. Typische waarden voor natte weefsels zoals spiermassa bij een frequentie van 900 MHz zijn $\epsilon_r=58$ en $\sigma=1,21$ S/m, en bij 1800 MHz $\epsilon_r=56$ en $\sigma=1,76$ S/m. Voor drogere weefsel zoals vet gelden lagere waarden: bij 900 MHz geldt $\epsilon_r=10$ en $\sigma=0,17$ S/m, en bij 1900 MHz geldt $\epsilon_r=9,4$ en $\sigma=0,26$ S/m, [13, 14, 15]. Ruwweg kan dus gesteld worden dat de waarde van de soortelijke geleiding toeneemt en de waarde van de permittiviteit afneemt bij oplopende frequentie. Het bepalen van de soortelijke geleiding of de permittiviteit voor verschillende organen is gedaan door vele onderzoekers [10, 14, 15, 16]. De metingen van Gabriel en Gabriel [15] geven een grote database voor dertig weefsels voor frequenties van 10 Hz tot 20 GHz. Hurt *et al.* [16] geven aan dat er

¹³ De diëlektrische eigenschappen van een medium zijn gekarakteriseerd met de elektrische permittiviteit ϵ , ook wel de diëlektrisch constante genoemd, en de soortelijke geleiding σ .

verschillen bestaan tussen de elektrische permittiviteit voor hetzelfde orgaan. De waarden verschillen met een factor 0,5 tot 2 ten opzichte van die bepaald door Gabriel en Gabriel. Als oorzaken voor de verschillen tussen de metingen van monsters van hetzelfde soort orgaan worden naast meet- en systematische fouten een aantal andere oorzaken genoemd, zoals de temperatuur van het gemeten monster, eventuele anisotropie van het weefsel en de leeftijd van het weefsel.

Om een idee van de absorptie in het menselijk lichaam te krijgen, worden zowel numerieke berekeningen als fysieke metingen uitgevoerd. Het European Committee on Electrotechnical Standardisation (CENELEC) heeft daarvoor normen ontwikkeld [3, 17]. De meeste metingen en berekeningen worden gedaan aan hoofden omdat vooral de lokale SAR en lokale opwarming bekeken wordt op de meest kwetsbare plekken in het lichaam zoals de hersenen en ogen [12], en omdat door het gebruik van mobiele telefoons vooral het hoofd wordt blootgesteld. Omdat in levende wezens meten vaak niet mogelijk is, gebeuren de fysieke metingen over het algemeen op en in fantomen. Fantomen zijn modellen van lichaamsonderdelen gevuld met een vloeistof die dezelfde elektrische eigenschappen hebben als biologisch weefsel.

Berekeningen worden meestal uitgevoerd op modellen van het menselijk lichaam dat daarbij in kleine volume-elementjes (voxels) wordt verdeeld. Deze modellen zijn gebaseerd op MRI scans van mensen. Er zijn modellen voor westerse mannen [18] en sinds kort ook voor Aziaten [19]. Enkele berekenmethoden die gebruik maken van de Maxwell vergelijkingen op een voxelmodel zijn: Finite Difference Time Domain (FDTD), Method of Moments (MoM), Finite Elements Method (FEM) en de Transmission Line Matrix (TLM). Deze rekenmethodes kunnen ook in het stralend nabije veld worden toegepast. Omdat de voorwerpen in het veld deel van het antennesysteem uitmaken, zijn de eenvoudige formules voor de veldsterkte als gegeven in Paragraaf 2.2.3 niet meer voldoende.

Reflectie

De mate waarin een elektromagnetische golf gereflecteerd en doorgelaten wordt bij een overgang tussen twee media hangt af van de elektromagnetische weerstand van de beide media, de hoek van inval en de polarisatie van de golf ten opzichte van het overgangsvlak. De zogenaamde Fresnel-vergelijkingen [1, 2] geven de verhouding tussen de sterkte van de gereflecteerde en de inkomende vlakke golf, en de verhouding tussen de doorgelaten en inkomende vlakke golf bij verschillende polarisaties. De elektromagnetische weerstand van een medium is wederom net als bij absorptie gebaseerd op eigenschappen zoals de magnetische permeabiliteit en de elektrische permittiviteit.

De effecten van reflecties aan objecten, de grond en gebouwen kan leiden tot verhoging van de veldsterkte ten opzichte van de situatie in het open veld. Dit geldt vooral als men zich samen met een bron van radiofrequente velden in een bijna afgesloten ruimte met sterk reflecterende eigenschappen bevindt. Een recent voorbeeld van berekeningen aan afgesloten reflecterende ruimtes is het cumulatieve effect van velden uitgezonden door mobiele telefoons in een trein- of metrostel of een lift. Hondou [20] leidde in 2002 op basis van zeer eenvoudige vergelijkingen af dat de SAR boven de door de Europese Unie aanbevolen waarden komt als in een wagon van de Japanse metro 300 mensen tegelijk bellen. Dit zou een gevolg zijn van de meervoudige reflecties aan de metalen wanden. Op dit resultaat is naast het sterk vereenvoudigde model en vergelijkingen aan te merken dat er geen rekening gehouden is met het feit dat een mobiele telefoon niet constant maar slechts één achtste van de tijd daadwerkelijk zendt. Toropainen [21] werkte hetzelfde geval uit met iets geavanceerdere formules gebaseerd op een *multimode resonant cavity theory* en kwam tot de conclusie dat er minstens 440 mensen met mobiele

telefoons die zenden met 900 MHz of zelfs 1770 mensen bij 1800 MHz in een metrostel moeten bellen om boven de aanbevolen waarden uit te komen.

Afscherming

Om de absorptie van elektromagnetische energie in het lichaam te verzwakken, zijn er een aantal mogelijkheden: de afstand tussen bron en lichaam vergroten, de bron minder sterk laten zenden of het elektromagnetische veld afschermen.

Radiofrequente velden, dus boven de 300 Hz, zijn moeilijker af te schermen dan statische en laagfrequente velden onder de 300 Hz. Bij statische en lage frequenties is het elektrische veld af te schermen door een kooi van Faraday; dit werkt echter niet op het magnetische veld.

Bij radiofrequente velden houdt een doos met massief metalen wanden, die immers prima reflectoren zijn, radiofrequente velden het best tegen. Ook een kooi met een raster met mazen kleiner dan de golflengte van de radiofrequente straling of met een andere richting dan de polarisatie van het veld houdt radiofrequente straling tegen. Actieve compensatie, waarbij een bron met het zelfde signaal in tegengestelde fase tussen de eerste bron en het lichaam wordt geplaatst, opdat de beide signalen elkaar uitdoven, wordt soms ook bij radiofrequente velden gebruikt.

Als afscherming voor radiofrequente velden zijn schildjes van geleidend materiaal ontwikkeld, vooral voor mobiele telefoons. Oliver *et al.* [22] publiceerden begin 2003 een onderzoek over commercieel verkrijgbare ovale schildjes die op het luisterdeel van de mobiele telefoon moeten worden aangebracht. Ook testten ze kleine voorwerpen die een signaal in tegengestelde fase uitzenden. De testen zijn uitgevoerd met een fantoom, maar noch de schildjes noch de anti-fase voorwerpen bleken tot verminderde SAR in het hoofd te leiden. Manning en Densley [23] vonden ook dat schildjes alleen effect hebben als ze dezelfde afmeting als de telefoon hebben en ook het toetsenbord afschermen, wat de bediening lastig maakt. Clips of schildjes om of aan de antenne hebben wel effect. Ze zorgen er enerzijds voor dat de straling van de antenne zo vermindert dat de telefoon geen of slecht contact met het basisstation kan maken, wat ongewenst is. Anderzijds gaat de telefoon daardoor met een hoger vermogen zenden om toch te proberen het basisstation te bereiken. Op deze manier kan een niet volledige afscherming van de beller voor een hogere blootstelling zorgen.

Een andere manier van afscherming van menselijk weefsel tegen straling van mobiele telefoontjes is door lapjes geleidend materiaal in kleding aan te brengen op plekken waar mensen hun mobiele telefoon bewaren. Zo berichtte de Volkskrant [24] dat er spijkerbroeken op de markt komen ‘... met zakken gemaakt van stralingswerende stof ...’. Als deze zakken slechts aan de kant van het been stralingswerend zijn, dan kan de telefoon toch nog contact houden met het basisstation terwijl er geen straling het been in gaat. Daar staat tegenover dat als het been zich tussen de antenne en het basisstation bevindt, de telefoon dan eventueel met meer vermogen zal gaan zenden. Deze extra straling zou door een deel van het lichaam net naast de zak kunnen worden geabsorbeerd. Dit laatste effect is wellicht niet aan de orde als de telefoon en het basisstation contact weten te houden met indirecte signalen die zijn gereflecteerd aan gebouwen. Daarbij geldt dat als radiofrequente golven überhaupt niet door het been komen, ze het basisstation toch al niet bereikten, en dan vermindert een eenzijdig stralingswerende zak de absorptie door het lichaam.

2.6 Conclusies – hiaten in kennis

Omdat niet goed bekend is welke gezondheidseffecten radiofrequente velden opwekken en welk mechanisme een rol speelt, is het bepalen van de juiste blootstellingsmaat lastig. De blootstellingsmaat voor effecten ten gevolge van opwarming, SAR, is de meest gebruikte maat. Voor effecten met een niet-thermische oorzaak zoals (veronderstelde) cognitieve storingen is wellicht een andere blootstellingsmaat nodig. Ook in het nabije veld is mogelijk een andere blootstellingsmaat nodig, omdat in het geval van reactieve velden het soort veld van belang kan zijn.

Voor het berekenen van de SAR in het menselijk lichaam is kennis van de sterkte van het interne elektrische veld nodig. Om het veld te berekenen zijn de diëlektrische parameters van het weefsel nodig. De tot dusver door verschillende groepen gemeten waarden voor de diverse weefsels verschillen voor vijftig procent van de gevallen met meer dan een factor twee. Dit maakt, in combinatie met de numerieke modelafwijkingen, een berekening van de lokale SAR in het lichaam onmogelijk. Ook een modellering van mogelijke oorzaak-gevolgketens van processen die tot mogelijke effecten leiden is hierdoor niet goed uit te voeren.

Het berekenen van de effecten door reactieve velden in het nabije veld, zoals de SAR distributie in en de zeer lokale opwarming van het hoofd is van belang. Bij het gebruik van een mobiele telefoon bevindt het hoofd van de beller zich immers in dit veld en maakt deel uit van het antennesysteem. Deze berekeningen zijn nodig om vast te stellen of de lokale SAR van organen in het hoofd boven aanbevolen waarden uitkomen.

Met de komst van zenders die digitaal gemoduleerde en gepulste signalen verspreiden zoals GSM is het van belang de specifieke effecten met betrekking tot energie overdracht en eventuele lokale opwarming te onderzoeken.

Afscherming tegen een radiofrequent veld kan in het algemeen geschieden door middel van een kooi van een goed geleidend materiaal met mazen kleiner dan de golflengte van de elektromagnetische golf. Dit is echter in de praktijk geen optie voor afscherming van velden veroorzaakt door mobiele telefoons. Het afschermen van de antenne heeft tot gevolg dat de telefoon met meer vermogen gaat zenden of helemaal geen contact meer kan maken met het basisstation. Hoewel de SAR niet boven de aanbevolen waarden uitkomt, hebben gebruikers van mobiele telefoons uit onzekerheid over gevreesde effecten als kanker hiervoor belangstelling. De commercieel verkochte schildjes blijken de SAR niet of nauwelijks te verminderen.

3 Gezondheidseffecten

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat over de mogelijke effecten van blootstelling aan radiofrequente velden op de gezondheid van mensen. Het behandelt het verband tussen de blootstelling en het uiteindelijke effect. Er kan een statistisch, empirisch of oorzakelijk verband worden vastgesteld. Alleen in geval van een oorzakelijk verband is het mechanisme, het proces van blootgesteld worden dat via een keten van chemische en fysische lichaamsprocessen tot een waarneembaar effect leidt, volledig begrepen.

Met de term ‘effect’ worden de biologische veranderingen bedoeld die het eindpunt vormen van het hele proces dat in gang is gezet door blootstelling aan radiofrequente velden.

Veel recent onderzoek is gestimuleerd door de ontwikkelingen in de mobiele telefonie [25, 26], omdat mensen bezorgd zijn of het gebruik ervan tot kanker kan leiden. Er zijn diverse internationale organisaties die overzichten van onderzoeken maken of onderzoeksgebieden coördineren. De analyse in dit hoofdstuk is voornamelijk gebaseerd op hun informatie.

3.2 Bestaande kennis

Op wereldniveau zijn de World Health Organization (WHO) en de International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) de belangrijkste organisaties. De WHO is een coördinator van onderzoek. Ze geeft op haar website [27] overzichten van en informatie over onderzoek en literatuur. Haar International Electromagnetic Fields (EMF) project loopt sinds 1996. In 2004 zal de International Agency for Research on Cancer (IARC), een onderdeel van de WHO, verslag doen van haar INTERPHONE studie [26] naar de mogelijke verbanden tussen elektromagnetische velden en kanker. De *fact sheets* van de WHO [28] bieden een beknopte inleiding op de mogelijke gezondheidseffecten van radiofrequente velden. De ICNIRP bestaat uit onafhankelijke wetenschappers en adviseert op grond van begrepen en gereproduceerde onderzoeksresultaten limieten voor de blootstelling [6, 29].

Op Europees niveau adviseert het Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment (CSTEE) van de Europese Commissie (EC) op het gebied van radiofrequente velden en geeft zij aanbevelingen voor nader onderzoek in drie recente *Opinions* [30, 31, 32]. In 2000 bracht de Britse Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP) van de National Radiological Protection Board (NRPB) het Stewart-rapport [33] uit. Dit rapport geeft een grondig overzicht van de mobiele telefonie in het Verenigd Koninkrijk, van de werking van de telefoons en basisstations tot aan een overzicht van de experimentele en epidemiologische onderzoeken. Eind 2003 bracht NRPB opnieuw een rapport uit met een overzicht van de bekende effecten en aanbevelingen [34]. Tot slot is er op nationaal niveau de commissie Elektromagnetische Velden van de Gezondheidsraad die regelmatig advies uitbrengt aan de Nederlandse overheid met betrekking tot de stand van zaken en het opstellen van blootstellingslimieten [5, 25, 35]. Begin 2003 bracht zij advies voor nieuw onderzoek in Nederland uit [36]. Daarnaast brengt ze jaarberichten over elektromagnetische velden uit [37].

Binnen het wetenschappelijke veld wordt de meeste recente informatie uitgewisseld op internationale congressen zoals die van de Bioelectromagnetics Society (BEMS) [38], de European BioElectromagnetics Association (EBEA) [39] en de International Union of Radio

Science (URSI) [40]. Voorts zijn er diverse wetenschappelijke tijdschriften waarvan Bioelectromagnetics, Bioelectrochemical Bioenergy en Radiation Research de top drie van meest geciteerde tijdschriften vormen in de regelmatig bijgehouden website met overzichten van *peer reviewed* onderzoek van het universiteitshospitaal van Aken [41]. Specifiek op het gebied van mobiele telefonie is de website van Moulder vermeldenswaardig [42].

Dit hoofdstuk geeft een beknopte weergave van de effecten ten gevolge van de radiofrequente velden.

3.3 Indeling van effecten

De ICNIRP onderscheidt drie soorten effecten (tussen haakjes de door hen gebruikte Engelse term) [29]: Ten eerste de effecten die objectief vast te stellen zijn door meetapparatuur (*results*). Denk hierbij bijvoorbeeld aan een veranderde bloedchemie. Ten tweede aanwijzingen (*signs*) die vast te stellen zijn door deskundigen zoals artsen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan huiduitslag of gezwellen. Ten derde de effecten die subjectief worden ervaren (*symptoms*) door de blootgestelde persoon. Voorbeelden hiervan zijn hoofdpijn en duizeligheid.

Een veel gevolgde indeling in de literatuur is in thermische en niet-thermische effecten. Dit is echter een verwarrende benaming. Niet het effect is thermisch, maar de keten van lichaamsprocessen die tot het uiteindelijke effect kunnen leiden begint met opwarming.

Een andere indeling die in de literatuur veel gevolgd wordt, is in directe en indirecte effecten. Directe effecten komen voort uit een directe koppeling van het radiofrequente veld met lichaamsprocessen. Indirecte effecten ontstaan door inwerking op een voorwerp dat vervolgens inwerkt op het lichaam. Een voorbeeld van het laatste is een brandwond door contactstroom bij het aanraken van een geleider, die is opgeladen door een radiofrequent veld. Een ander voorbeeld is het storen van een pacemaker. In dit hoofdstuk wordt niet ingegaan op indirecte effecten, hoewel ze tot effecten op de gezondheid kunnen leiden.

Om te komen tot een analyse van de hiaten in de kennis, deelt dit rapport de effecten in op basis van twee kenmerken. Het eerste kenmerk is de zekerheid waarmee een effect is vast te stellen. Dus of het een objectieve (*result* of *sign*) of subjectieve (*symptom*) waarneming is. Het tweede kenmerk is de termijn waarop een effect waargenomen wordt vanaf het moment van blootstelling. Een kortetermijneffect is tijdens of vrijwel direct na blootstelling merkbaar. Dit is bijvoorbeeld het geval als weefsel opgewarmd wordt door radiofrequente velden en het niet meer in staat is om de warmte snel genoeg af te voeren, waardoor lichaamsprocessen ontsporen. Een langetermijneffect heeft twee betekenissen: een effect dat zich openbaart na een langdurige blootstelling waaronder het zich heeft op kunnen bouwen, of een effect dat zich openbaart na een lange incubatietijd. Een voorbeeld van het eerste is als iemand door de blootstelling aan radiofrequente velden van een continu opererende radiozender naast zijn huis geheugenstoornissen krijgt. Een voorbeeld van het tweede is als blootstelling aan een elektromagnetisch veld op één of andere manier tot DNA schade zou leiden, waardoor in een later stadium tumoren ontstaan.

3.4 Het mechanisme

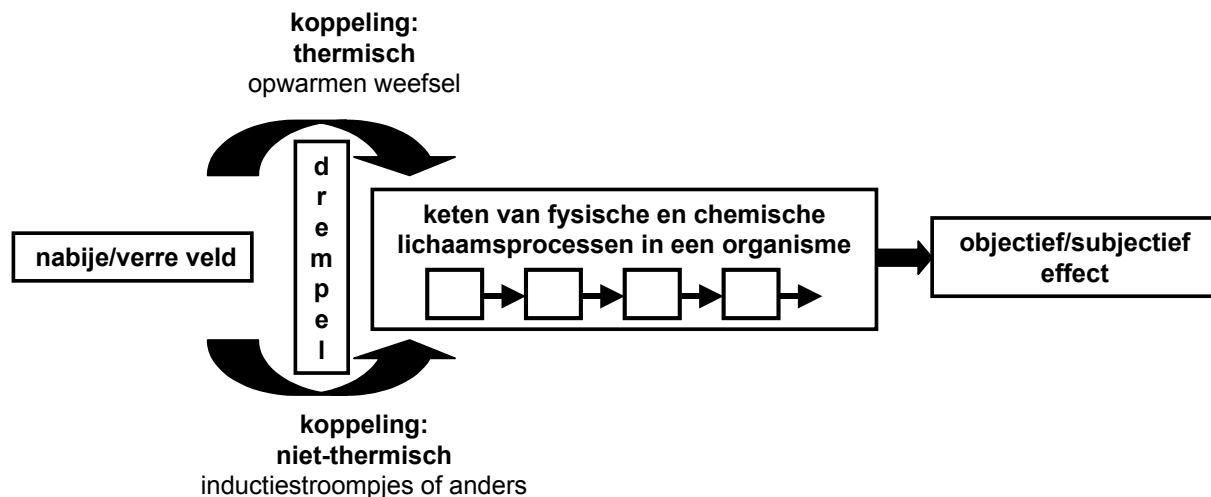
3.4.1 Onderzoeksmethoden

Het begrijpen van het mechanisme is van belang omdat dan bekend is hoe het best maatregelen genomen kunnen worden om een effect te voorkomen. Bovendien kan het ook een rol spelen bij de rechtvaardiging om die maatregelen te nemen. Een directe manier om vast te stellen of omgevingsfactoren leiden tot ziekte is door middel van epidemiologisch onderzoek. Dit houdt zich bezig met de verspreiding, zowel geografisch als onder groepen, van een ziekte en de bepalende factoren daarvoor onder de bevolking. Er blijken zich problemen voor te doen met de uitgevoerde epidemiologische onderzoeken naar radiofrequente velden, zoals geconstateerd in het Stewart-rapport [33] en door Barnes en Na [43]. Ze stellen dat de onderzoeken vaak statistisch zwak zijn, methodologische fouten bevatten en dat consistente positieve uitkomsten ontbreken. Een van de tekortkomingen is dat niet bekend is welke blootstellingsmaten gehanteerd moeten worden. Epidemiologisch onderzoek is zinvol om kortetermijneffecten zoals vermoeidheid, hoofdpijn en opwarming achter het oor vast te stellen. Ook wordt het gebruikt bij het vaststellen van objectieve langetermijneffecten zoals kanker. Juist op dit gebied heeft dergelijk onderzoek tot dusverre echter nog geen eenduidig antwoord kunnen geven [33]. De enige andere mogelijkheid daarvoor is het uitvoeren van langdurige dierproeven.

Bovengenoemd epidemiologisch onderzoek kan echter alleen een statistisch verband constateren. Voor het ontrafelen van het onderliggende mechanisme is ook experimenteel onderzoek nodig. Dat gebeurt zowel door hypothesen te testen door numeriek modelleren, alsook empirisch door in laboratoria de effecten op organismen te bekijken. Hiervoor worden experimentele laboratoriumstudies op levende dieren, *in vivo*, en op losse cellen en weefsels van mensen en dieren, *in vitro*, gedaan. Experimenten met vrijwilligers worden uitgevoerd op het gebied van klachten en ook op voor het bepalen van bloedspiegels en dergelijke.

3.4.2 Aard van het mechanisme

Figuur 10 illustreert dat een mechanisme bestaat uit twee hoofdbestanddelen: er is eerst een koppeling tussen het radiofrequente veld en het organisme, die vervolgens een keten van lichaamsprocessen opwekt. Zo is er voor sommige aandoeningen zoals kanker een keten nodig die uiteindelijk uitmondt in celwoekering. Het onderzoek naar het eventueel ontstaan van kanker door radiofrequente velden richt zich op de gehele keten en kijkt waar de radiofrequente velden aankoppelen in het proces: stimuleert het veld het lichaam om de stoffen aan te maken die vervolgens leiden tot verkeerde synthese van DNA? Of grijpt het veld aan in een later stadium en genereert het breuken in de DNA streng? En wordt dit laatste in gang gezet door opwarming of door andere oorzaken? Zelfs als de verschillende ketens van processen bekend zijn, is het de vraag bij welke waarden van het radiofrequente veld de lichaamsprocessen op gang gebracht of gehouden kunnen worden. Er zijn namelijk ook herstelmechanismen die schade proberen te repareren.



Figuur 10 Samenhang tussen veld, mechanisme (koppeling en interne processen in organisme) en effect.

Een effect kan ruwweg deterministisch of stochastisch zijn. In het geval van deterministische processen is de ernst van een effect gerelateerd aan het blootstellingsniveau. Daartegenover staan stochastische processen waarbij de mate van blootstelling de waarschijnlijkheid van het voorkomen van een bepaald effect bepaalt, maar niet de ernst [29]. Of een proces in gang gezet kan worden en gehouden, hangt af van verschillende parameters. Deze hebben vooral betrekking op de koppeling met het organisme of onderdelen daarvan. Bij deterministische processen vindt een dergelijke koppeling alleen plaats, wanneer de grootte van een van de elektromagnetische veldparameters, bijvoorbeeld het interne elektrische veld, boven een bepaalde drempelwaarde komt. Daaronder zijn de herstelmecanismen zo sterk dat het proces tegengewerkt wordt. Dat wil echter niet zeggen dat er altijd een drempelwaarde is: er is bijvoorbeeld de mogelijkheid dat een langdurige, cumulatieve, blootstelling aan een lage veldsterkte ook tot een effect leidt. Mensen die in de buurt van een basisstation wonen, claimen bijvoorbeeld effecten zoals algehele malaise. Daarnaast zijn er effecten gerapporteerd die slechts werden waargenomen bij velden binnen één of meerdere vensters van veldsterktes, vermogensdichtheden of SARs dus niet boven of onder de grenzen van het venster [33, 52].

3.5 Effecten per frequentiegebied

Interactie met weefsel is afhankelijk van de frequentie. Het radiofrequente gebied tussen 300 Hz en 300 GHz wordt in het algemeen ingedeeld in drie gebieden waarbinnen duidelijk andere koppelingen overheersen: 300 Hz tot 10 MHz, 10 MHz tot 10 GHz en 10 GHz tot 300 GHz¹⁴. Daarnaast is er nog de klasse van gepulste en amplitude gemodelleerde velden, die mogelijk tot andere effecten leiden dan in de drie gebieden.

Het eerste frequentiegebied loopt van 300 Hz tot 10 MHz en wordt ook wel het *Intermediate Frequency* (IF) gebied genoemd. Bij een veld met een dergelijke lage frequentie betekent dat het organisme zich meestal in het nabije veld bevindt (zie Paragraaf 2.2.2) en daardoor losse elektrische en magnetische velden ervaart. Bekende beginpunten van mechanismen in dit gebied die op korte termijn tot een effect leiden, zijn [44, 45]: opwarming, membraanexcitatie

¹⁴ De begrenzingen zijn vrij arbitrair. De NRPB houdt bijvoorbeeld een indeling aan van Voice Frequency (VF): 300 Hz – 300 kHz; Very Low Frequency (VLF) – Very High Frequency (VHF): 300kHz – 300 MHz; microwaves: 300 MHz – 300 GHz.

en elektroporatie. Membraanexcitatie houdt onder andere in dat de membranen een verhoogde elektrische lading krijgen door inductie van het elektrisch veld en stromen. Elektroporatie is het afbreken van een celmembraan en komt alleen voor bij elektrische veldsterktes ruim boven 500 V/m. De blootstellingsmaat voor opwarming is de SAR, voor de andere koppelingen is het de interne stroomdichtheid in ampère per vierkante meter (A/m^2). In de praktijk wordt als blootstellingsparameter echter de waarde van het externe elektrische of het magnetische veld genomen die de stromen opwekken, omdat de stromen zelf moeilijk te meten zijn in levende wezens. De drempelwaarden voor de dosis behorende bij deze koppelingen variëren met de frequentie. In hetzelfde frequentiegebied zijn vaak meerdere soorten mechanismen en dus ook koppelingen mogelijk. Voor lagere frequenties zijn de drempelwaarden voor membraanexcitatie lager, en hogere frequenties dan 100 kHz zijn de drempelwaarden voor opwarming lager. Echter, volgens Litvak *et al.* [44] zijn de drempelwaarden in het IF gebied nog niet goed gemeten maar geëxtrapoleerd van bewezen effecten bij de lagere frequenties, bijvoorbeeld ten gevolge van geïnduceerde stromen, en bij hogere frequenties, ten gevolge van opwarming. Drempels voor lichaamsdelen zoals de ledematen, waar blootstelling van het centraal zenuwstelsel er niet toe doet, maar blootstelling van het perifere zenuwstelsel wel, zijn evenmin goed vastgesteld.

De effecten ten gevolge van membraanexcitatie en de geïnduceerde stromen zijn stimulatie van zenuw- en spiercellen. De chemische reacties die in het lichaam plaatsvinden, gaan gepaard met achtergrondstroomdichtheden. Geïnduceerde stroomdichtheden die groter zijn dan 100 mA/m^2 kunnen voelen als een schok en onwillekeurige samentrekkingen van spieren veroorzaken. Bij stroomdichtheden boven 1 A/m^2 kunnen ademhalingsstoornissen en hart-ritmestoornissen ontstaan.

Het tweede frequentiegebied loopt van 10 MHz tot 10 GHz. In dit gebied vindt er lichaamsresonantie plaats waardoor bepaalde delen van het lichaam net als een antenne extra goed in staat zijn om elektromagnetische energie op te nemen. De belangrijkste blootstellingsmaat voor dit gebied is de SAR (zie Paragraaf 2.4). Het blijkt dat door opwarming van weefsels met meer dan één graad Celsius [46, 47], wat bij mensen overeenkomt met een SAR van meer dan 4 W/kg gedurende 30 minuten [6], de temperatuurregulerende processen kunnen gaan ontsporen, en daarmee ook andere lichaamsprocessen. De grens van één graad is enigszins arbitrair en kan van persoon tot persoon verschillen, een tijdelijke verhoging van één graad komt ook voor bij zware lichamelijke inspanning in een warme omgeving en daar herstelt men meestal van. Echter, opwarming boven de twee graden leidt zeker tot effecten [47].

Blootstelling met een SAR van meer dan 4 W/kg veroorzaakt effecten zowel op korte als op lange termijn, die ook zijn gerapporteerd bij mensen die aan een sterke opwarming blootstonden: bijvoorbeeld mensen die in een warme omgeving werken of langdurig koorts hebben. De goed begrepen kortetermijneffecten zijn onder andere [5, 6, 47]: gedragsveranderingen; moeilijkheden bij het uitvoeren van fysieke en mentale taken; storing van de spermaproductie; verstoring van de ontwikkeling van het ongeboren kind (en aangeboren gebreken als de temperatuur twee tot drie graden Celsius verhoogd is); hersenaantasting door verhoogde permeabiliteit van de bloed-hersen-barrière, al is er controverse of dit mogelijk ook bij lagere SARs van 2 mW/kg voor kan komen [37, 48]; aantasting van het zenuwstelsel en staar. Een langetermijngevolg is bijvoorbeeld dat een grote temperatuursverhoging via het beschadigen van DNA kan leiden tot kanker. Dit voorbeeld is controversieel; waar Lai en Singh [49] in 1997 vonden dat DNA strengen na blootstelling braken, konden andere onderzoeken zoals door Malyapa *et al.* [50, 51] dit tot nog toe niet bevestigen.

Het derde frequentiegebied is het *Micro Wave* gebied dat loopt van 10 GHz tot 300 GHz. Zoals besproken in Paragraaf 2.5 hebben velden met hoge frequenties een kleine doordringdiepte in het menselijk weefsel. Daarom worden velden met frequenties hoger dan 10 GHz aan het huidoppervlak geabsorbeerd, waarbij heel weinig van de opgevangen energie tot de onderliggende weefsels doordringt. De blootstellingsmaat voor deze velden is de vermogensdichtheid in watt per vierkante meter (W/m^2).

Nadelige effecten op de gezondheid, zoals staar (vertroebeling van de ooglenzen) of verbranding van de huid, treden op bij vermogensdichtheden hoger dan 1000 W/m^2 .

Ten slotte is er naast de bovengenoemde frequentiegebieden nog de groep van gepulste en amplitude gemoduleerde velden. Hierin leiden korte pulsen, kleiner dan $35 \mu\text{s}$, met een gemiddeld lage SAR toch tot zeer sterke lokale opwarming. De belangrijkste blootstellingsparameters die de blootstellingsmaat vormen, zijn de hoeveelheid energie van een puls per kilogram weefsel, de hoeveelheid pulsen per seconde en de pulsduur.

Effecten die hoog energetische pulsen worden opgeroepen zijn bijvoorbeeld het zogenaamde microgolfgeluid, een sissend of klikkend geluid in het oor dat ontstaat door snelle opwarming en thermo-elastische uitzetting van zacht weefsel in het hoofd. Dit komt voor bij hoge vermogensdichtheden van de pulsen, bijvoorbeeld zoals een radar afgeeft. Een goede blootstellingsmaat zou een combinatie van de pulsduur en de piek-SAR zijn. Bij ratten blijkt de piek-SAR voor pulsen korter dan $35 \mu\text{s}$ 30 W/kg te zijn, wat overeenkomt met 1 mJ/kg ¹⁵ per puls. Bij hogere vermogensdichtheden ($1 \mu\text{s}$ puls 200 mJ/kg komt overeen met een piek-SAR van 200.000 W/kg) [9, 33] bleek de schrikreactie van muizen onderdrukt te worden, bij nog hogere piek-SAR van $20.000.000 \text{ W/kg}$ ontstonden stuip trekkingen. Deze laatste hoeven echter niet een gevolg te zijn van een onbekend mechanisme, maar kunnen ook het gevolg zijn van irritatie door microgolfgeluid en door opwarming van weefsel. Microgolfgeluid kan ook leiden tot gedragsveranderingen [33].

Naast opwarming zijn ook nog andere mogelijke ketens van lichaamsprocessen voorgesteld die bij gepulste velden een rol zouden kunnen spelen. De onderzoeksresultaten zijn niet eenduidig, laat staan dat er voldoende kennis is over de drempelwaarden. Zo zijn er aanwijzingen dat op celniveau ionen door de membranen gaan stromen. Zij beïnvloeden dan de neuronen, zenuwcellen, door op de membranen te accumuleren en het contact tussen de cellen te bemoeilijken zodat die zenuwsignalen slechter door kunnen geven. Ook zijn er aanwijzingen dat bij bepaalde amplitude modulaties Ca^{2+} ionen celmembranen passeren. Deze uitstroom van ionen komt volgens Dutta *et al.* [52] voor bij een frequentie van 16 Hz en binnen bepaalde SAR-vensters. Deze efflux kan de neurotransmitters beïnvloeden. Neurotransmitters op hun beurt zijn verantwoordelijk voor het aanmaken van stoffen die invloed uitoefenen op slaap, emotie en geheugen.

¹⁵ mJ/kg staat voor millijoule per kilogram. Joule is de eenheid voor energie. Eén watt is voluit geschreven één Joule per seconde.

3.6 Effecten met onbekend mechanisme

Effecten die niet bewezen zijn en waarvoor dus ook geen mechanisme bekend is, zijn meestal effecten die mensen ervaren wanneer ze worden blootgesteld. Qua kortetermijneffecten is uit epidemiologisch en vrijwilligersonderzoek [53, 54, 55] een groep mensen bekend die effecten ervaren na gebruik van een mobiele telefoon, zoals duizeligheid, ongemak, concentratieverstoring, geheugenverlies, vermoeidheid, hoofdpijn, warmtegevoel achter het oor, warmtegevoel op het oor, brandend gevoel op het gezicht, tintelingen, beïnvloeding van cognitieve vaardigheden en vertroebeld gezichtsvermogen. Ze kunnen bij deze SARs niet verklaard worden door opwarming, en ook zijn ze moeilijk objectief vast te stellen. Een recente cohortstudie is het vragenlijstonderzoek van Wilén *et al.* [54] waarbij een groep mensen die één van vier standaardtelefoons gebruiken, werd gevraagd of, en zo ja hoe vaak per week, ze een van bovenstaande effecten ervaren, hoe lang ze per gesprek bellen en hoeveel gesprekken ze voeren per dag. Deze gegevens werden vervolgens gekoppeld aan SARs uit fantoommetingen per telefoon. De waarnemingen geven aanwijzingen dat er een verband is tussen het voorkomen van effecten zoals duizeligheid, ongemak en warmtegevoel achter het oor, en een SAR boven de 0,5 W/kg in combinatie met lange beltijden per dag uitgedrukt in *Specific Absorption per Day* (SAD)¹⁶. Dit laatste wijst erop dat dergelijke effecten eerder cumulatief zijn dan acuut. Het recente vrijwilligersonderzoek van Hietanen *et al.* [55] richtte zich op een groep zogenaamde hypersensitieven, die claimen extreem gevoelig te zijn voor radiofrequente velden. Uit hun experimentele onderzoek bleek, in tegenstelling tot het epidemiologische onderzoek van Wilén *et al.*, geen verband tussen de geclaimde effecten en gebruik van mobiele telefoons, omdat zich geen significante verschillen voordeden tussen testresultaten bij werkelijke blootstelling versus *sham*¹⁷ blootstelling. In Nederland is in 2003 het COFAM-onderzoek afgerond [56]. Het COFAM-onderzoek is een dubbelblind onderzoek naar de cognitieve vaardigheden van hypersensitieven en ‘gewone’ vrijwilligers die worden blootgesteld aan GSM- en UMTS-frequenties op zo’n manier dat ze onder de drempels voor opwarming blijven. Er bleek bij blootstelling aan het UMTS-sigitaal voor beide groepen invloed op de score voor het welbevinden. Van effecten op de langere termijn die moeilijk objectief zijn vast te stellen zoals vermoeidheid en algehele malaise is ook geen mechanisme bekend.

Langetermijneffecten zijn alleen epidemiologisch of door middel van dierproeven vast te stellen. Hoewel er ketens van lichaamsprocessen bekend zijn die uiteindelijk leiden tot kanker en er onderzoeken worden gedaan of radiofrequente velden zo’n keten kunnen versterken of opwekken, is er uit laboratoriumonderzoek niet eenduidig vastgesteld dat ook radiofrequente velden kankervorming opwekken of versterken. De resultaten van epidemiologische onderzoeken zijn niet consistent of tot nog toe niet reproduceerbaar [43, 57]. Wel kunnen velden die voldoende hoog zijn voor opwarming genotoxisch zijn. Ook zijn er aanwijzingen dat kankerverwekkende chemische substanties in een te lage dosis om kanker te veroorzaken dat wel kunnen in combinatie met radiofrequente velden [33]. Vooral nu de mobiele telefoon een wijdverspreid gebruiksartikel is, richt veel van het recente onderzoek zich op velden van 900 en 1800 MHz. Met name Repacholi *et al.* [58] beweerden in 1997 dat blootstelling van

¹⁶ $SAD = SAR * CT * 60$. CT staat voor *Calling Time* in minuten. Een andere factor van belang, maar minder dan de SAD is de Specific Absorption per Call, $SAC = SAD/NC$. NC staat voor *Number of Calls*.

¹⁷ *sham exposure* is Engels voor: geveinsde of namaak blootstelling. Dat betekent dat de zender van elektromagnetische straling uit staat tijdens een experiment zonder dat de deelnemers dat weten. Dit wordt vaak dubbelblind gedaan, wat inhoudt dat noch de onderzoekers noch de proefpersonen weten of de zender aan staat tijdens een experiment. Na afloop van het experiment worden dan daadwerkelijke blootstellingen en testresultaten vergeleken.

transgene muizen aan 900 MHz gedurende 1 uur per dag 18 maanden lang de kans op lymfomen met een factor 2,4 verhoogt. Naar aanleiding hiervan heeft de WHO het tot een van haar prioriteiten binnen het EMF onderzoek gemaakt om te onderzoeken of blootstelling aan radiofrequente velden van mobiele telefoons tot kanker leidt. Hiervoor zijn twee onafhankelijke onderzoeken begonnen met dezelfde transgene muizen: een onderzoek van de Australische National Health and Medical Council door Utteridge *et al.* [59], onlangs afgesloten, en een onderzoek in Italië als onderdeel van het PERFORM A onderzoek, dat ook met niet-transgene muizen onderzoek doet. Dit laatste onderzoek is nog niet afgerond. Utteridge *et al.* zeggen in 2002 het onderzoek van Repacholi *et al.* gereproduceerd te hebben met stringenter parameters, en concluderen in tegenstelling tot Repacholi *et al.* dat er géén toename is in lymfomen na blootstelling aan radiofrequente velden. De Gezondheidsraad [37] en Goldstein *et al.* [60] concludeerden dat het onderzoek van Utteridge *et al.* dusdanig anders is opgezet dan dat van Repacholi *et al.*, dat er geen sprake is van reproductie. Daarnaast loopt er tot in 2004 het epidemiologische INTERPHONE onderzoek [26] van de IARC dat het verband tussen het gebruik van radiofrequente velden zoals afgegeven door mobiele telefoons en hoofd-, nek- en hersentumoren onderzoekt. Ook uit een Zweedse overzichtsstudie van eind 2003 bleek dat er over het mogelijke ontstaan van kanker door blootstelling aan radiofrequente velden geen duidelijke conclusie kan worden gesteld [61].

3.7 Voorstellen voor verder onderzoek

De voorstellen voor verder onderzoek door de gezaghebbende instanties zoals de WHO, CSTEE, de IEGMP-NRPB (Stewart-rapport) en de Gezondheidsraad stemmen in grote lijnen overeen. De WHO stelt in haar EMF *Research Priorities* [27] op het gebied van radiofrequente velden dat er proefdieronderzoek gedaan dient te worden naar effecten als kanker en de synergie tussen kankerverwekkende stoffen en radiofrequente velden, vooral van mobiele telefoons. Ook raadt zij epidemiologisch onderzoek naar vóórkomen van kanker in de buurt van basisstations van mobiele telefonie en zendmasten aan. Voorts raadt zij onderzoek aan op het gebied van de effecten die door hypersensitieven worden geclaimd. Als speciaal onderzoek noemt zij het onderzoek naar de effecten veroorzaakt door blootstelling aan radar, vooral ultra-breedbandradar. En in het algemeen geeft ze de voorkeur aan *in vivo* boven *in vitro* onderzoek vooral op het gebied van het bepalen van drempelwaarden en het theoretisch modelleren van mechanismen. Ook wil ze extra studies om de uitkomsten van onderzoeken te reproduceren op het gebied van effecten op oog en oor, geheugen, en neurofysiologische effecten, die nu wel geassocieerd zijn met radiofrequente velden maar nog niet door meerdere onderzoeken consistent ondersteund worden. De CSTEE ondersteunt die visie, terwijl de andere organisaties die niet expliciet noemen.

De CSTEE [32] noemt minder specifieke onderzoeken dan de WHO, maar meer stelregels voor onderzoek. Zo stelt zij als één van de hoogste prioriteiten het theoretisch modelleren van het mechanisme en het uitvoeren van dierproeven om specifieke hypothesen te testen. Ook zij stelt voor onderzoek naar ultra-breedbandradar en hypersensitieven uit te voeren. Zij rept vrijwel niet over specifiek onderzoek naar mobiele telefonie.

Het Stewart-rapport [33] dat gericht is op mobiele telefonie raadt aan om verder onderzoek te doen naar het ontstaan van kanker en naar effecten die niet door opwarming veroorzaakt zijn. Ook noemt het specifiek onderzoek naar de effecten op kinderen door blootstelling aan radiofrequente velden van mobiele telefoons. Dit laatste werd in een rapport van de Gezondheidsraad [5] nog onnodig geacht. In een recent gestarte *short term mission* in het kader van COST Action 281 [62] zal er ondermeer speciaal aandacht besteed worden aan de

effecten op kinderen, omdat deze wellicht andere weefselparameters, zoals de diëlektrische constante, en geometrie hebben dan volwassenen. Het Stewart-rapport raadt ook expliciet aan speciaal onderzoek te doen naar gepulste en amplitude gemoduleerde signalen en de mogelijkheid dat hier mechanismen een rol spelen die niet met opwarming te maken hebben. Het overzichtsrapport van de NRPB uit eind 2003 raadt ook aan om goede dosismaten te ontwikkelen zodat bij epidemiologisch onderzoek duidelijk is naar welke grootheden onderzoek gedaan moet worden [34].

De Gezondheidsraad ten slotte, raadt in haar advies uit 2003 over onderzoek in Nederland naar gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden [36] dezelfde onderzoeken aan met betrekking tot hypersensitieven en naar synergie tussen radiofrequente velden en fysische en chemische agentia als de WHO al deed. In tegenstelling tot de WHO acht de Gezondheidsraad het niet zinvol om epidemiologisch onderzoek te verrichten onder omwonenden van GSM-basisstations, vanwege de lage veldsterktes rond de GSM-basisstations. Zij noemt ook de behoefte aan theoretische modelleringen van velden in het nabije veld, waarin het hoofd zich bevindt bij gebruik van een mobiele telefoon. Zij raadt ook meer epidemiologisch onderzoek naar kanker aan omdat ze betwijfelt dat het INTERPHONE-onderzoek uitsluitsel kan geven over langetermijneffecten na langdurige blootstelling. Ook adviseert de commissie om een Nederlands kenniscentrum op te richten om het onderzoek van verschillende instituten te bundelen en informatie uit te dragen.

3.8 Conclusies en hiaten in de kennis

De belangrijkste hiaten in de kennis zijn grotendeels af te leiden uit de onderzoeksdoelstellingen van de coördinerende WHO. Het objectieve langetermijneffect waar grote onzekerheid over bestaat, is of radiofrequente velden kanker kunnen veroorzaken of processen kunnen initiëren of bevorderen die uiteindelijk onder bepaalde omstandigheden tot kanker kunnen leiden. Op het moment wordt daar langdurig proefdieronderzoek met transgene muizen naar gedaan en worden er epidemiologische onderzoeken verricht vooral naar frequenties die gebruikt worden in de mobiele telefonie. Op het moment is er geen bewijs dat radiofrequente velden kankerverwekkend zijn. Er zijn uitkomsten uit sommige dieronderzoeken die erop wijzen dat de kans op kanker verhoogd wordt door blootstelling aan radiofrequente velden, maar deze resultaten zijn nog niet gereproduceerd. De resultaten uit epidemiologische onderzoeken die op verhoogd vóórkomen van kanker wijzen, zijn evenmin gereproduceerd. Bovendien bleken de resultaten vaak onderhevig aan tekortkomingen zoals methodologische fouten.

Aspecifieke kortetermijneffecten, zoals concentratieverlies en hoofdpijn na gebruik van een mobiele telefoon, die plaatsvinden bij SARs onder de limiet voor opwarming met meer dan één graad Celsius, zijn nog niet verklaard. Uit enkele epidemiologische onderzoeken lijkt er een verband te zijn tussen de totale gespreksduur per dag met een mobiele telefoon en het vóórkomen van dergelijke effecten. Echter, tot nog toe is uit de experimentele blootstelling van vrijwilligers, hypersensitieven zowel als ‘gewone’ mensen, geen significant verschil tussen vermeende effecten bij *sham* en bij werkelijke blootstelling gevonden.

De processen die leiden tot kortetermijneffecten en voortkomen uit niet-thermische koppeling met het veld zijn niet goed begrepen. Vooral de gevolgen zoals ionentransport door celmembranen die in gang worden gezet door complexe velden, bijvoorbeeld gepulste of amplitude gemodelleerde velden, zijn niet goed bekend.

4 Wetgeving en beleid

4.1 Inleiding

De overheid is vanuit haar kaderstellende rol verantwoordelijk voor de wetgeving en het beleid dat zich richt op de bescherming van personen tegen de nadelige effecten op de gezondheid als gevolg van de blootstelling aan radiofrequente velden [63]. De overwegingen in het beleidsproces worden waar mogelijk gebaseerd op wetenschappelijke gegevens. In het conceptuele model is de samenhang weergegeven tussen het beleidsproces aan de ene kant en het wetenschappelijke onderzoek aan de andere kant. Daarbij zijn vier belangrijke processen onderscheiden, namelijk het vaststellen dat de (mogelijke) effecten op de gezondheid behoren tot de groep van ongewenste effecten, het vaststellen van blootstellingslimieten, het vaststellen van situaties waar overschrijding van de limieten plaatsvindt en ten slotte het besluiten tot het wel of niet nemen van maatregelen. Een ander belangrijk proces waar wetenschappelijke gegevens een rol spelen, is het evalueren van de effecten van de wetgeving en het beleid.

Naast de mogelijke nadelige effecten op de gezondheid zijn er de belangen van ondernemers die producten en diensten aanbieden waarin radiofrequente velden doelbewust worden toegepast of waarbij deze velden als onbedoeld bijverschijnsel optreden. In beide gevallen is de ondernemer verantwoordelijk voor het beschermen van leden van de bevolking, werknemers en personen die medisch worden onderzocht of behandeld, tegen de mogelijke nadelige effecten op de gezondheid als gevolg van de toegepaste en onbedoeld veroorzaakte velden. De overheid heeft als taak de kaders te stellen waarbinnen zij de bescherming voldoende acht. In de nota ‘Nuchter omgaan met risico’s, beslissen met gevoel voor onzekerheden’ wordt verder ingegaan op de verdeling van verantwoordelijkheden tussen overheid, bedrijfsleven en burgers [63]. Ten slotte is er het belang van de bevolking die, tegen een zo laag mogelijk risico, van de voordelen van de toepassingen van radiofrequente velden gebruik wil maken.

In het voorliggende rapport worden de volgende overheidsniveaus onderscheiden waar wetgeving en beleid wordt gemaakt: de Europese Unie, de rijksoverheid en de gemeentelijke en provinciale overheid. In de paragraaf over de rijksoverheid zullen ook buitenlandse overheden aan de orde komen.

4.2 Europese Unie

4.2.1 Algemeen

Diverse internationale instanties hebben de afgelopen jaren aanbevelingen uitgebracht en bijgesteld die op het beperken van de blootstelling van de bevolking aan radiofrequente velden zijn gericht. Een van de meest toonaangevende instanties is de ICNIRP. ICNIRP volgt kritisch de wetenschappelijke literatuur die betrekking heeft op alle onderdelen van de keten van bron tot en met het risico. Recent heeft ICNIRP een algemene aanpak voor de bescherming tegen niet-ioniserende straling gepubliceerd [29]. Daarin wordt ook een overzicht gegeven van de samenhang tussen ICNIRP en de andere internationale adviserende en wetgevende instanties, zoals de WHO, IEC, CENELEC, IEEE en NCRP. De werkzaamheden van ICNIRP leidden in 1998 tot de publicatie van de ICNIRP *Guidelines* [6].

In Europa werden de ICNIRP *Guidelines* door het neutrale en onafhankelijke Scientific Steering Committee (SSC) overgenomen [64]. Daarmee was de basis gelegd voor de Aanbeveling van de Raad van de Europese Unie uit 1999, hierna te noemen ‘de EU-aanbeveling’ [65]. Nederland heeft tijdens de zitting van de EU-volksgezondheidsraad van 8 juni 1999 vóór de EU-aanbeveling gestemd. Alleen Italië stemde tegen omdat het van mening was dat de aanbeveling te veel op wetenschappelijk onderzoek naar kortetermijneffecten is gebaseerd en onvoldoende rekening houdt met het voorzorgbeginsel en langetermijneffecten [66]. In de volgende paragraaf wordt nader op de wetenschappelijke inhoud van de EU-aanbeveling ingegaan.

Het Europese Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment (CSTEE) heeft recentelijk enkele zogenaamde *opinions* uitgebracht [30, 31, 32], die bedoeld zijn als een herziening van de SSC-*opinion* uit 1998. In deze *opinions* wordt geconcludeerd dat recente wetenschappelijke gegevens over langetermijneffecten als gevolg van radiofrequente velden geen aanleiding geven tot herziening van de blootstellingslimieten in de EU-aanbeveling. Resultaten van onderzoek naar diverse langetermijneffecten blijken immers in de meeste gevallen niet consistent, niet reproduceerbaar of nog controversieel. De CSTEE is van mening dat een mogelijke interactie tussen elektromagnetische velden en andere fysische en chemische agentia nog onvoldoende is onderzocht.

De EU-aanbeveling heeft betrekking op de bescherming van leden van de bevolking. Voor de bescherming van werknemers beschikte de EU reeds over diverse richtlijnen [67]. Kort geleden heeft Denemarken in de rol van EU-voorzitter het initiatief genomen om Europese geharmoniseerde regels te gaan ontwikkelen voor de bescherming van werknemers tegen de nadelige gevolgen van radiofrequente velden. Nederland heeft het Deense voorstel voor een richtlijn van de Raad van de Europese Unie en het Europese Parlement gesteund [68]. Inmiddels is de richtlijn gereed [69].

4.2.2 EU-aanbeveling: basisrestricties en referentieniveaus

In navolging van de ICNIRP hanteert de EU de begrippen basisrestricties en referentieniveaus. Basisrestricties zijn ‘... restricties op de blootstelling aan tijdsafhankelijke elektrische, magnetische en elektromagnetische velden, die direct gebaseerd zijn op bewezen gezondheidseffecten en biologische overwegingen...’, aldus de EU-aanbeveling. Als aan de basisrestricties wordt voldaan, wordt de bescherming tegen gezondheidsschade voldoende gewaarborgd. Ondermeer omdat de basisrestricties niet altijd direct te meten of te berekenen zijn, heeft men voor de praktijk referentieniveaus afgeleid. ‘... Deze niveaus dienen bij de blootstellingsevaluaties in de praktijk om vast te stellen of de basisrestricties waarschijnlijk zullen worden overschreden. ...’, aldus de EU-aanbeveling. Als deze referentieniveaus niet worden overschreden, mag men normaal gesproken ervan uitgaan dat ook de basisrestricties niet worden overschreden. Omgekeerd geldt niet automatisch dat wanneer een referentieniveau wordt overschreden, er ook een of meer basisrestricties worden overschreden. Er dient dan een aanvullende evaluatie te worden gemaakt om vast te stellen of aan de basisrestricties is voldaan.

Op grond van kortetermijneffecten door opwarming stelt de Europese Unie in het frequentiegebied tussen 100 kHz en 10 GHz restricties aan de zogenaamde SAR, de blootstellingsmaat voor de opgenomen energie in W/kg. Voor lagere frequenties geeft ze restricties aan de stroomdichtheid in mA/m², voor hogere frequenties aan de vermogensdichtheid in W/m²; zie Tabel 1.

Voor de precieze formules en tabellen betreffende de referentieniveaus wordt verwezen naar de EU-aanbeveling [65]. In Bijlage 2 zijn voldoende gegevens in grafiekvorm opgenomen om zonder raadplegen van de EU-aanbeveling een eenvoudige toetsing aan de referentieniveaus mogelijk te maken. In deze bijlage wordt ook uitgelegd hoe de toetsing dient plaats te vinden als er sprake is van gelijktijdige blootstelling aan meer dan een frequentie.

*Tabel 1 Basisrestricties voor radiofrequente velden.
(bron: EU [65])*

frequentiegebied	stroom- dichtheid (f in Hz)	lichaams- SAR	plaatselijke SAR (hoofd en romp)	plaatselijke SAR (extremiteten)	vermogens- dichtheid
	mA/m^2	W/kg	W/kg	W/kg	W/m^2
300 Hz - 1 kHz	2	-	-	-	-
1 kHz - 100 kHz	$f/500$	-	-	-	-
100 kHz - 10 MHz	$f/500$	0,08	2	4	-
10 MHz - 10 GHz	-	0,08	2	4	-
10 GHz - 300 GHz	-	-	-	-	10

4.2.3 Het Europese parlement

De leden van het Europese parlement stellen regelmatig vragen aan de Europese Commissie die betrekking hebben op de blootstelling aan radiofrequente velden. In de afgelopen jaren betroffen deze vragen vooral de plaatsing van basisstations voor mobiele telefonie [70]. In de beantwoording door de Commissie wordt veelvuldig verwezen naar de activiteiten van CSTEE als het om informatie over mogelijke gezondheidseffecten gaat en naar de verantwoordelijkheden en de exclusieve bevoegdheden van de autoriteiten van de lidstaten voor de plaatsing van antennemasten.

Een kwestie die commotie heeft veroorzaakt, is de publicatie van Hyland over de fysica en biologie van mobiele telefonie en zijn werkdocument voor het STOA-panel (Scientific and Technological Options Assessment) van het Europese parlement [71, 72]. Hij is van mening dat er bewijs is dat de gepulste velden met de intensiteit die voor mobiele telefonie gebruikelijk is, subtiele, niet-thermische invloeden kunnen hebben. Ook is hij van mening dat als deze invloeden tot nadelige effecten op de gezondheid leiden, de huidige aanbevolen blootstellingslimieten ontoereikend zijn. In een uitgebreide reactie van COST Action 281 wordt gesteld dat Hyland zijn conclusies niet baseert op deugdelijke wetenschappelijke gegevens, maar dat hij een speculatief oordeel geeft [73]. De bijdragen van Hyland tonen volgens COST Action 281 aan hoe belangrijk het is om risicobeoordeling en de daarbij behorende communicatie te baseren op juiste, evenwichtige en bijdetijdse informatie. Hyland heeft vervolgens weer op de COST Action 281-reactie gereageerd [74]. Hij legt daarin uit dat hij door het STOA-panel juist is gevraagd om een eerder rapport dat ‘eenvoudig de industrie-vriendelijke wijsheid napraat’ (*‘... simply regurgitating the conventional industry-friendly wisdom ...’*) van kritische kanttekeningen heeft voorzien. Deze discussie en ook andere, vergelijkbare kwesties die ook nog eens in de media terecht komen, hebben vermoedelijk wel bijgedragen aan het vergroten van onrustgevoelens onder de bevolking [75].

4.2.4 Normalisatie-activiteiten

In lijn met de EU-aanbeveling hebben CEN, CENELEC en ETSI het mandaat [76] gekregen om Europese standaarden te ontwikkelen die betrekking hebben op elektromagnetische velden met frequenties tussen 0 en 300 GHz die worden uitgezonden door apparatuur vallend onder de *Low Voltage Directive* [77] en de *R&TTE Directive* [78]. Zij dienen daartoe naast basisstandaarden voor meet- en berekeningsmethoden vooral productstandaarden voor het op de markt brengen van deze apparatuur te ontwikkelen. Als een product aan die standaarden voldoet, zal de gemeten blootstelling van het menselijk lichaam onder normale omstandigheden de basisrestricties uit de EU-aanbeveling niet overschrijden. CEN, CENELEC en ETSI hebben het mandaat in maart 2001 formeel geaccepteerd. Voor Nederland verlopen de contacten via de commissie Elektromagnetische Velden van het Nederlands Electrotechnisch Comité (NEC-EMF). CENELEC publiceert Europese normen die door Nederland worden overgenomen en waarvan regelmatig in de Staatscourant melding wordt gemaakt [79].

4.3 Rijksoverheid

4.3.1 Nationale wetgeving

De belangrijkste wetten en besluiten die betrekking hebben op radiofrequente velden zijn de Telecommunicatiewet [80], het Inrichtingen- en vergunningenbesluit milieubeheer [81] en het Arbeidsomstandighedenbesluit [82].

De Telecommunicatiewet verstaat onder telecommunicatie ‘... iedere overdracht, uitzending of ontvangst van signalen van welke aard ook door middel van kabels, radiogolven, optische middelen of andere elektromagnetische middelen ...’. Deze wet regelt ondermeer het gebruik van frequentieruimte en de elektromagnetische compatibiliteit (EMC). EMC wordt in de Telecommunicatiewet gedefinieerd als ‘... de eigenschap van apparaten, om op bevredigende wijze in hun elektromagnetische omgeving te kunnen functioneren zonder zelf elektromagnetische storingen te veroorzaken die ontoelaatbaar zijn voor alles wat zich in die omgeving bevindt ...’. De bepalingen in de Europese Richtlijn Elektromagnetische Compatibiliteit [83] worden sinds 1 januari 1992 door de lidstaten toegepast: in geharmoniseerde normen geldt een veldsterkte van 3 V/m als minimum immuniteitseis voor apparatuur die in woon-, kantoor- en licht-industriële omgevingen wordt gebruikt [84]. Deze waarde is overigens bijna een factor 10 lager dan het laagst voorkomende referentieniveau voor blootstelling van leden van de bevolking in verband met bescherming tegen nadelige gezondheidseffecten (zie Figuur 25).

In het Inrichtingen- en vergunningenbesluit milieubeheer worden categorieën van inrichtingen aangewezen die nadelige gevolgen voor het milieu kunnen veroorzaken, zoals emissie van stoffen, bodemvervuiling en stank. Een zendinstallatie betreft een inrichting, als bedoeld in onderdeel 20.1, onder a sub 3 van Bijlage I behorend bij het besluit, ‘... voor het omzetten van elektrische energie in stralingsenergie ...’. Aanvullend is bepaald dat inrichtingen met een elektrisch vermogen of gezamenlijk vermogen voor de omzetting van die elektrische energie kleiner dan 4 kW daar niet toe behoren. De Wet milieubeheer bevat momenteel geen bepalingen met betrekking tot blootstellingsniveaus voor mensen.

Artikel 6.12 van het Arbeidsomstandighedenbesluit, ook wel genoemd het Arbobesluit, vermeldt dat ‘... toestellen die schadelijke, niet-ioniserende elektromagnetische straling

kunnen uitzenden uit deugdelijk materiaal bestaan, van een deugdelijke constructie zijn en in goede staat verkeren. Deze toestellen bevinden zich in een zodanige ruimte en zijn voorts zodanig ingericht, opgesteld of afgeschermd, dat bij het in werking zijn daarvan gezondheidsschade zoveel mogelijk wordt voorkomen. ...’ en ‘... Indien bij het in werking zijn van dergelijke toestellen het gevaar van gezondheidsschade ondanks de naleving van de voorschriften niet of niet geheel kan worden voorkomen, worden zodanige organisatorische maatregelen getroffen, dat gezondheidsschade zoveel mogelijk wordt voorkomen en worden zonodig persoonlijke beschermingsmiddelen ter beschikking gesteld en gebruikt. ...’ Dit artikel besluit met de bepaling dat ‘... bij ministeriële regeling niveaus kunnen worden vastgesteld, waarboven voor de toepassing van dit artikel die straling wordt geacht schadelijk te zijn. ...’

Tot slot is in artikel 6.27, lid 2 van het Arbobesluit bepaald dat ‘... jeugdige werknemers geen arbeid mogen verrichten met toestellen die schadelijke niet-ioniserende elektromagnetische straling kunnen uitzenden ...’.

Ten behoeve van de bescherming van werknemers die nabij antennes werken dienen werkgevers een risico-inventarisatie en -evaluatie op grond van de Arbo-wetgeving op te stellen.

4.3.2 Nationaal beleid

In 1990 bracht het ministerie van VROM een inspectierichtlijn uit die bedoeld was als leidraad voor regionale milieuinspecties en als hulp bij vergunningverlening door provinciale en gemeentelijke overheden [85]. De belangrijkste ontwikkeling in het beleid met betrekking tot radiofrequente velden in de afgelopen vijf jaren betrof het Nationaal Antennebeleid, mede in relatie tot reacties van de rijksoverheid op diverse adviezen van de Gezondheidsraad.

Gezondheidsraad

In 1997 heeft een commissie van de Gezondheidsraad waarden voor basisbeperkingen en referentieniveaus voor blootstelling aan elektromagnetische velden in het frequentiegebied van 300 Hz tot 300 GHz voorgesteld [5] en in 2000 voor het frequentiegebied van 0 Hz tot 10 MHz [45]. Anders dan in de EU-aanbeveling geeft de Gezondheidsraad naast blootstellingslimieten voor leden van de bevolking ook limieten voor werknemers, die over het algemeen hoger zijn dan die voor leden van de bevolking. Daarnaast heeft de semi-permanente commissie Elektromagnetische Velden van de Gezondheidsraad adviezen uitgebracht betreffende GSM-basisstations [35] en mobiele telefoons [25].

Nationaal Antennebeleid

De centrale doelstelling van het Nationaal Antennebeleid is ‘... om binnen duidelijke kaders van volksgezondheid, leefmilieu en veiligheid voldoende ruimte voor antenneopstelpunten te stimuleren en te faciliteren ...’ [86]. Het beleid richt zich op drie doelgroepen. In de eerste plaats zijn er de leden van de bevolking die gebruik willen maken van de nieuwe mogelijkheden van draadloze communicatie maar die ook de zekerheid moeten hebben dat hun gezondheid, leefmilieu en veiligheid daarmee niet in het geding komen. In de tweede plaats zijn er de gemeentelijke en provinciale overheden die primair toezien op het beschermen van de gezondheid, het leefmilieu en de veiligheid van de burgers op hun grondgebied. In de derde plaats richt het beleid zich op de aanbieders van mobiele

telecommunicatiediensten, de operators, die op een zorgvuldige manier aan de wensen van hun netwerkgebruikers moeten voldoen, zodat de gezondheid, het leefmilieu en de veiligheid op geen enkele wijze in gevaar kunnen komen. De belangen van de volksgezondheid, het leefmilieu, de veiligheid en van een voorspoedige economische ontwikkeling dienen daarbij in evenwicht tot hun recht te komen [86].

Tijdens de behandeling van de nota Nationaal Antennebeleid heeft de Tweede Kamer in de motie Wagenaar de regering verzocht initiatieven te nemen om tot onafhankelijk wetenschappelijk epidemiologisch onderzoek te komen naar de effecten van straling door antennes op langere termijn, en onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek te laten verrichten naar geuite klachten [87]. Deze motie is met algemene stemmen aangenomen. Ter uitvoering van de motie heeft de minister van VWS, mede namens de minister van VROM en de staatsecretaris van V&W, aan de Gezondheidsraad gevraagd te adviseren over welk onderzoek nodig is en hoe Nederland daaraan een nuttige bijdrage zou kunnen leveren [36]. De commissie Elektromagnetische Velden heeft aanbevelingen gedaan voor onderzoek van verschillende aard: *in vitro*, *in vivo*, humaan-experimenteel, epidemiologisch en dosimetrisch/modelmatig. Daarnaast beveelt de commissie sterk aan om een in de universitaire structuur ingebed wetenschappelijk kenniscentrum op te zetten rond de effecten van elektromagnetische velden op de gezondheid. Het kenniscentrum zou, aldus de commissie, het onderzoek in Nederland moeten coördineren, de grote lijnen ervan bewaken en het onderzoek afstemmen op de wetenschappelijke ontwikkelingen elders in de wereld. In hun reactie op het advies hebben de bewindslieden van VWS, EZ, VROM en SZW aangegeven dat niet al het door de Gezondheidsraad geadviseerde onderzoek zal worden uitgevoerd en dat er zoveel mogelijk zal worden aangesloten bij reeds lopend nationaal en internationaal onderzoek [88].

Antenneconvenant

In het kader van het Nationaal Antennebeleid is inmiddels een convenant tussen de rijksoverheid, de VNG (Vereniging Nederlandse Gemeenten) en de aanbieders van mobiele telefoondiensten tot stand gekomen waarin afspraken zijn gemaakt over onder andere de procedure bij plaatsing van GSM-basisstations [89]. Er is een regeling voor de noodzakelijke instemming van bewoners van het gebouw waarop de antenne-installatie wordt geplaatst. In artikel 6 van het convenant over blootstellingslimieten is opgenomen dat de operators er zorg voor dragen dat op vrij toegankelijke plaatsen in ieder geval de referentieniveaus volgens de EU-aanbeveling niet worden overschreden door de velden van de betreffende vergunningvrije installaties. Dat geldt ook voor de buitenkant (gebouwcontour) van woningen. Het convenant, dat op 27 juni 2002 is ondertekend, is per 15 augustus 2002 in werking getreden [90]. Op dat moment is de wijziging van de Woningwet voor een deel in werking getreden, waarmee diverse antenne-installaties voor mobiele telefonie bouwvergunningsvrij ('... geen bouwvergunning vereist voor het bouwen dat bij algemene maatregel van bestuur is aangemerkt als van beperkte betekenis, waarbij tevens voorschriften kunnen worden gegeven omtrent het gebruik van het bouwwerk of de standplaats...', art. 43, lid 1, onder c van de Woningwet) zijn geworden [91]. De antenne-installaties van het C2000-netwerk voor de communicatie van nood- en hulpverleningsdiensten zijn eveneens bouwvergunningsvrij verklaard [90]. In het Nationaal Antennebeleid is verder aangegeven dat de afspraken in het convenant in de komende jaren wettelijk zullen worden vastgelegd.

Nationaal Antennebureau

Eind 2001 is het Nationaal Antennebureau (Nabu, onderdeel van het Agentschap Telecom van het ministerie van EZ) van start gegaan. Dit bureau is bedoeld als ‘... hét informatieloket en expertise-centrum voor alle antennevragen van burgers, gebruikers van antennes (operators, vergunninghouders, etc.), werkgevers en overheden, zoals bijvoorbeeld gemeente en provincie ...’ [92]. Het Nabu beheert het antenneregister dat inzicht geeft in geplaatste antennes en beschikbare antenne-opstelpunten in Nederland. In het convenant is geregeld dat operators elke drie maanden allerlei technische gegevens aan het Nabu dienen te leveren. Sinds begin april 2003 is het antenneregister *on line* beschikbaar. Vooralsnog zijn alleen gegevens van de GSM- en DCS1800-antennes in het register opgenomen. Er is nog onduidelijkheid over wanneer de gegevens van andere antennes in het register beschikbaar zullen zijn.

Andere beleidsvoornemens

Een belangrijke bron van informatie over andere beleidsvoornemens is de brief die de ministers van VROM en VWS mede namens de staatsecretaris van V&W op 8 juni 2001 aan de Tweede Kamer hebben geschreven [93] met de reactie op het Gezondheidsraadsadvies betreffende GSM-basisstations uit 2000 [35]:

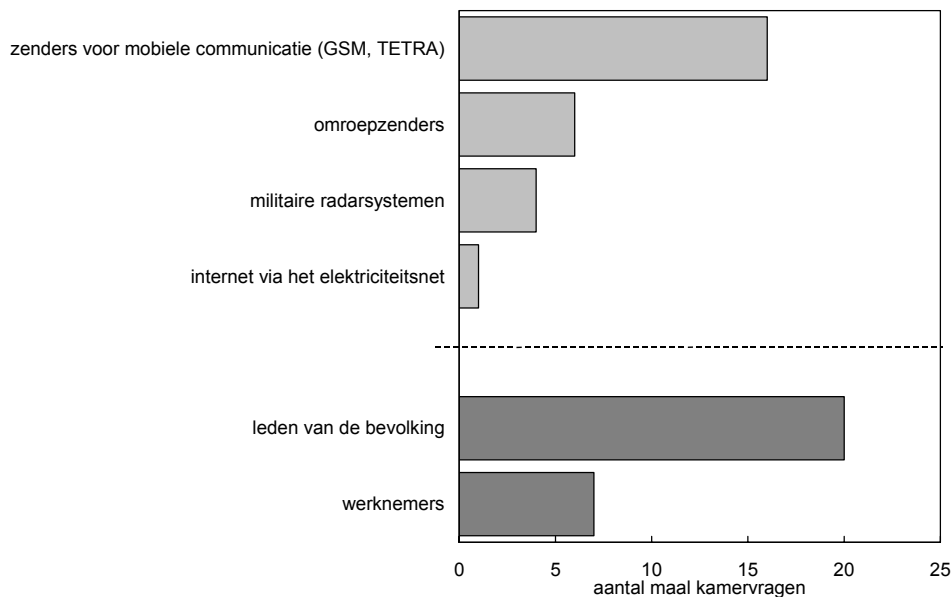
- de limieten voor blootstelling van de bevolking aan radiofrequente velden zullen voor antenne-inrichtingen opgenomen worden in de Wet milieubeheer en voor zendapparatuur in de Telecommunicatiewet;
- omwille van de internationale afstemming zullen de waarden geformuleerd door de ICNIRP en aanbevolen door de EU worden aangehouden in plaats van de, enigszins minder stringente, waarden welke de Gezondheidsraad adviseert; in lijn hiermee zullen ook de door de ICNIRP geformuleerde blootstellingslimieten voor de beroepsbevolking als basis dienen voor regelgeving van het ministerie van SZW;
- er zijn voornemens om in het kader van de Wet Milieubeheer de antenne-inrichtingen afhankelijk van hun invloedsgebied vergunningplichtig of meldingsplichtig te maken; de grenzen voor meldingsplicht en vergunningplicht zullen zodanig worden ingevuld dat er rekening wordt gehouden met cumulatie van blootstelling aan meer dan een zender.

Op 30 januari 2004 heeft de Staatssecretaris van VROM de nota ‘Nuchter omgaan met risico’s, beslissen met gevoel voor onzekerheden’ aan de Tweede Kamer aangeboden [63]. Daarin wordt ingegaan op de essentie van het nieuwe risicobeleid in het algemeen. Over het beleid met betrekking tot basisstations voor mobiele telefonie (GSM, UMTS) in het bijzonder is vermeld: ‘... Op dit moment is er geen aanleiding om het bestaande beleid aan te passen. De Gezondheidsraad heeft geadviseerd aanvullend onderzoek naar mogelijke lange-termijn gezondheidseffecten van radiofrequente elektromagnetische velden te laten uitvoeren. De overheid zal bevorderen dat dergelijk onderzoek wordt meegenomen bij de voorgenomen Europese onderzoeksplannen in het kader van Gezondheid en Milieu. Voorts zal ook het bedrijfsleven de eigen verantwoordelijkheid dienen op te pakken. Tenslotte is ook van belang te melden dat het bedrijfsleven (de sector) nog onlangs toegezegd heeft om samen met de overheid de communicatie richting publiek te evalueren en verbeteren. ...’ [94].

Kamervragen

Naar aanleiding van de bezorgdheid over de mogelijke nadelige effecten op de gezondheid hebben leden van de Tweede Kamer in de afgelopen acht à negen jaren in totaal 27 maal

vragen gesteld [95]. Figuur 11 toont de verdeling van deze vragen over het type bron. Ongeveer 60% van deze vragen betrof systemen voor mobiele communicatie, zoals GSM en TETRA (C2000-netwerk).



Figuur 11 Verdeling van de kamervragen in de periode 1995 - maart 2004 betreffende de mogelijke effecten van radiofrequente velden op de gezondheid van leden van de bevolking en van werknemers.

4.3.3 Buitenlandse overheden

In het kader van de ontwikkeling van het Nationaal Antennebeleid is in 2000 een vergelijking gemaakt van het antennebeleid en de blootstellingslimieten [96, 97] in de ons omringende landen.

In de EU-aanbeveling beveelt de Raad aan dat de lidstaten ‘... verslag uitbrengen over de opgedane ervaringen met de maatregelen die zij op het door deze aanbeveling bestreken gebied nemen en de Commissie hiervan na een periode van drie jaar volgend op de goedkeuring van deze aanbeveling op de hoogte stellen, waarbij zij aangeven hoe daarmee in die maatregelen rekening is gehouden ...’. Het Implementation report uit 2002 geeft een uitgebreid overzicht van de diverse activiteiten die de 15 lidstaten en negen kandidaat-lidstaten hebben ondernomen om bij te dragen aan het opzetten van een consistent systeem van bescherming tegen risico’s van blootstelling aan elektromagnetische velden [98].

De WHO houdt in de EMF World Wide Standards Database per land onder andere bij [99]:

- welke instrumenten ter bescherming tegen de blootstelling aan elektromagnetische velden worden ingezet;
- door wie, op welke schaal en sinds wanneer;
- wie er wordt beschermd;
- hoe de handhaving is geregeld;
- welke grootheden zijn gelimiteerd; en
- hoe deze moeten worden gemeten.

Opvallend is de diversiteit aan detail waarmee de database is gevuld. In Nederland, Denemarken en Portugal is, volgens deze database, weinig vastgelegd. In Rusland en Australië hanteert men een complex geheel van regelingen. Van de meeste landen in Zuid-Amerika, Azië en Afrika zijn geen gegevens bekend. Opvallend is ook hoeveel 'spelers' in sommige landen bij de regulering betrokken zijn, terwijl in landen als de Verenigde Staten, Canada en Nieuw Zeeland slechts een verantwoordelijke instantie is aangewezen. Onder meer omdat de ongelijkheden in de standaarden met betrekking tot elektromagnetische velden ongerustheid over blootstelling aan de velden afkomstig van nieuwe technologieën onder de bevolking heeft veroorzaakt, is de WHO in november 1998 met een wereldwijde harmonisatie van standaarden gestart. In 2000, 2001 en 2002 hebben in totaal negen bijeenkomsten over de hele wereld plaatsgevonden; de finale International Conference on Harmonization of EMF Standards, die in 2004 in Genève is voorzien, moet leiden tot overeenstemming over het raamwerk dat als basis voor nationale en internationale standaarden moet gaan leiden [100].

4.4 Gemeentelijke en provinciale overheden

In 1999 heeft ingenieursbureau DHV de wet- en regelgeving rond zendinstallaties en hoogspanningslijnen voor de lokale overheden geïnventariseerd [101]. Volgens deze inventarisatie liggen de directe bevoegdheden voor de blootstelling aan radiofrequente velden vooral bij de gemeente en in mindere mate bij de provincie. Voor de bescherming van de volksgezondheid kan de gemeente gebruik maken van haar ten dienste staand instrumentarium uit de milieuregelgeving. Voor de ruimtelijke inpassing zijn dat de bouwregelgeving en de regelgeving voor de ruimtelijke ordening.

Milieuvergunning

Als een milieuvergunning moet worden aangevraagd, dient dit te gebeuren in de gemeente waar de zendinrichting zich (voor het grootste deel) bevindt. Bij de beslissing over de milieuaanvraag zal de gemeente onder andere de hiervoor genoemde Inspectierichtlijn gebruiken [85]. Er moet tevens rekening worden gehouden met een eventueel aanwezig gemeentelijk beleidsplan. Vooral naar aanleiding van de problematiek rond de plaatsing van GSM-masten zijn er in vele gemeenten beleidsnotities of beleidslijnen opgesteld [102].

In het kader van het ZeroBase project, dat de herindeling van de FM-band voor omroepzenders moest realiseren, heeft DHV in opdracht van het Directoraat-Generaal Telecommunicatie en Post een uitgebreide aanvraaginstructie voor het vervaardigen van een milieuvergunning opgesteld [103]. Deze instructie is in principe ook bruikbaar voor alle hiervoor bedoelde inrichtingen voor het omzetten van elektrische energie in stralingsenergie (zie Paragraaf 4.3.1). In de vergunning worden voorschriften opgenomen met betrekking tot de maximaal toegestane veldsterkte. In de instructie worden genoemd: '... de door de in de inrichting aanwezige zend- en antenne-installaties gezamenlijk opgewekte elektrische veldsterkte mag buiten de inrichting op plaatsen die voor derden toegankelijk zijn, niet hoger dan 28 V/m zijn ...' en '...de in de inrichting aanwezige zend- en antenne-installaties voor omroep moeten zodanig zijn ontworpen en worden geconfigureerd, dat de door de gewenste signalen van de zendinstallaties en antennes gezamenlijk opgewekte elektrische veldsterkte, als ontwerpwaarde, ter plaatse van gebouwen van derden, niet meer bedraagt dan 3 V/m ...'. Ook wordt in de vergunningvoorschriften vastgelegd hoe de vergunninghouder eventueel toch nog optredende storingen dient te verhelpen. Dergelijke storingen leiden vooral in de buurt van middengolfzenders tot onrust onder omwonenden, waarbij omwonenden ook hun zorgen over mogelijke nadelige gevolgen voor de gezondheid uiten [104].

Bouwvergunning en rol van de provincie

Als een bouwvergunning moet worden aangevraagd, dient dit ook bij de gemeente te gebeuren (zie ook Paragraaf 4.3.2, onder *Antenneconvenant*). De gemeente onderzoekt onder andere of de bouw niet in strijd is met het bestemmingsplan. Desgewenst kan de gemeente via een ‘artikel 19 Wet op de ruimtelijke ordening’-procedure vrijstelling van het bestemmingsplan verlenen. Daarvoor is wel een ‘verklaring van geen bezwaar’ van Gedeputeerde Staten nodig. Gedeputeerde Staten dienen bovendien het gemeentelijke bestemmingsplan goed te keuren voordat het van kracht wordt. Daarbij toetsen Gedeputeerde Staten op hun beurt weer aan het streekplan. De provincie Flevoland heeft het beleid bij de beoordeling van bestemmingsplannen en vrijstellingen met betrekking tot de plaatsing van antenne-installaties in beleidsregels vastgelegd [105].

Volgens de Evaluatie Streekplan Zeeland uit 2002 wordt ‘... een provinciaal antennebeleid - ook door gemeenten - node gemist ...’ [106]. Volgens deze evaluatie zal er via de vaststelling van een beleidsnotitie provinciaal beleid worden geformuleerd voor antennes. In een concept van het ontwerp-streekplan van de provincie Utrecht is vermeld: ‘... Binnenkort zullen radio en televisie ook digitaal worden uitgezonden waarmee in de toekomst de huidige frequentieschaarste wordt opgeheven. Daarvoor zijn in Nederland circa 50 antennes nodig; deze zijn tot 150 meter hoog. Ondanks het uitzenden op een vrij laag vermogen is storing in de ontvangst van de kabel te verwachten. Gelet op de EMC-problematiek van de middengolf verlenen wij (het provinciale bestuur bestaande uit Gedeputeerde Staten en Provinciale Staten) pas medewerking aan het ontwikkelen van opstelpunten voor digitale antennes als dit gepaard gaat aan het opheffen van hoogvermogen-middengolfzenders. ...’ [107].

Een van de activiteiten van de provincies is ‘... het in overleg met het rijk voorbereiden van een planmatige en gecoördineerde aanpak voor de locatiekeuze en vergunningverlening van nieuwe hoge antennemasten voor digitale radio en TV ...’ [108].

Communicatie met bewoners

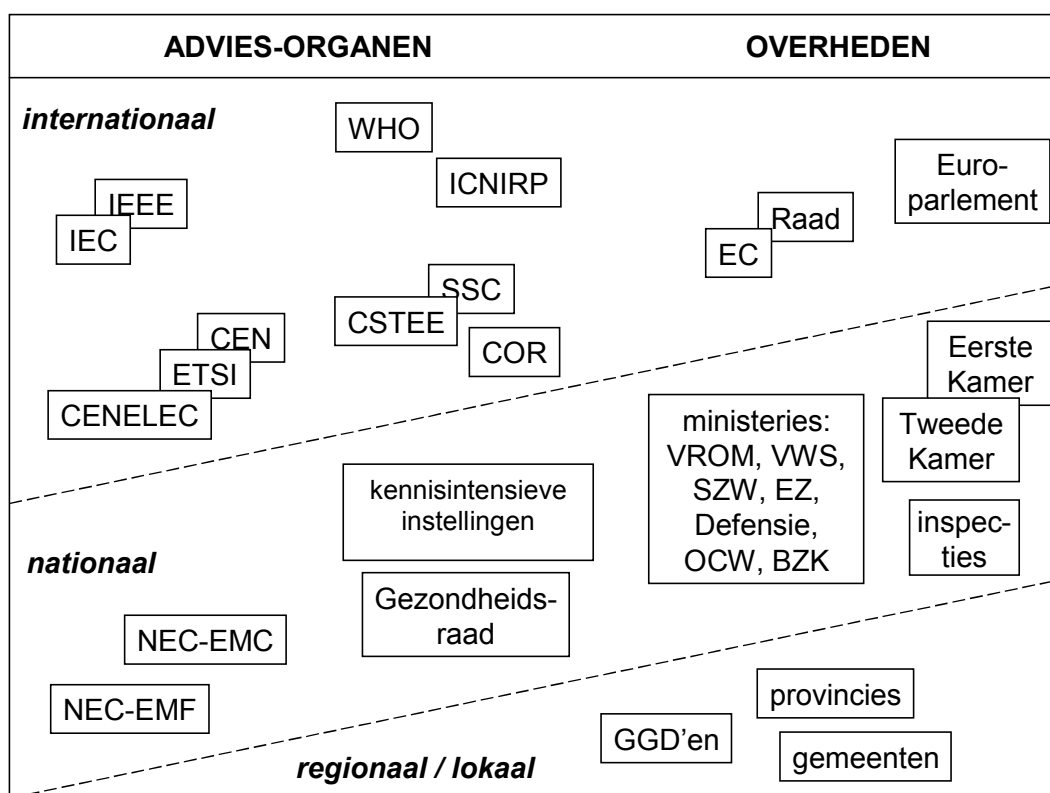
Uiteindelijk zijn alle hiervoor genoemde inspanningen van de overheid gericht op de bescherming van personen tegen de nadelige gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente velden. Ter voorkoming van onrust onder bewoners en om bewoners gelegenheid te geven om hun klachten te uiten, worden door gemeenten - en ook andere overheden - voorlichtingsbijeenkomsten gehouden. Onafhankelijke deskundigen van bijvoorbeeld de Gezondheidsraad en de gemeentelijke gezondheidsdiensten spelen in die bijeenkomsten een rol.

Tot slot is er het Meldpuntennetwerk Gezondheid en Milieu. Provinciale meldpuntbeheerders ‘... signaleren problemen, registreren gezondheidsklachten en bevorderen de communicatie tussen overheid, milieu-vervuilers en burgers ...’ [109].

4.5 Conclusies: hiaten in de kennis

De overheid heeft een kaderstellende taak bij de bescherming van personen tegen de nadelige effecten op de gezondheid als gevolg van de blootstelling aan radiofrequente velden. Met wetgeving en allerlei andere voorzieningen wordt hieraan gewerkt. Figuur 12 toont een schematisch overzicht van de diverse adviserende organen en overheden op de drie niveaus

die in dit hoofdstuk zijn behandeld. Het betreft een groot aantal partijen. Een van de recente adviezen van de Gezondheidsraad is aan niet minder dan zeven ministeries aangeboden [36]. Mede gezien de verdeling van bestuurlijke verantwoordelijkheden in Nederland is in deze complexe situatie niet eenvoudig verbetering te brengen.



Figuur 12 Overzicht van adviserende organen en overheden.

Het is niet eenvoudig om een helder overzicht te verkrijgen van de regelgeving in het buitenland. Mogelijk dat de inspanning van de WHO om tot harmonisatie van standaarden te komen daarin op korte termijn verandering kan brengen. Mede gezien de uitbreiding van de EU in de nabije toekomst, is er behoefte aan een overzicht op EU-schaal, waaraan de Nederlandse overheid zou kunnen bijdragen.

Ondanks alle genoemde regelingen leidt de plaatsing van antennemasten nog steeds tot onrust onder omwonenden. In de regionale kranten zijn nog regelmatig meldingen over tegenstand tegen het plaatsen van GSM- en C2000-masten te vinden. Er zijn in Nederland geen wetenschappelijk verkregen feiten bekend over de omvang en de oorzaken van deze ongerustheid noch over de effecten van bijvoorbeeld voorlichting op het voorkomen of verminderen van de onrust.

5 Communicatie-apparatuur

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staan die bronnen centraal die voor draadloze communicatie van radio-frequente velden gebruik maken. Aanvankelijk betrof deze communicatie meestal een-richtingsverkeer met aan de ene zijde een zender en aan de andere zijde een of meer ontvangers. Dat is nog steeds het geval bij omroepzenders voor radio en televisie en bij zendinrichtingen voor bijvoorbeeld het verzenden van boodschappen naar semafoons. Dit type zenders is meestal bedoeld om een relatief groot verzorgingsgebied te bestrijken, waarvoor relatief hoge vermogens nodig zijn. Hoewel de ontvanger zich meestal dicht bij de gebruiker bevindt, produceert hij geen radiofrequente velden. Voor communicatie met tweerichtingsverkeer is het nodig dat de ontvangende partij ook kan zenden en de zendende partij ook kan ontvangen. In dergelijke gevallen kan een gebruiker zich dicht bij een zender bevinden die bovendien krachtig genoeg moet zijn om het bijbehorende basisstation te kunnen bereiken. De groei van de mobiele telefonie en ook de opkomst van de interactieve televisie en het draadloze internet laten in de loop der tijd een verschuiving van één- naar tweerichtingsverkeer zien.

In de volgende paragrafen komen eerst de zendinrichtingen voor mobiele telefonie (GSM, TETRA, WiFi en dergelijke) aan de orde. Een enigszins aparte groep van bronnen voor tweerichtingsverkeer zijn de straalzenders. Deze zijn immers niet bedoeld voor communicatie met apparatuur die zich dicht bij leden van de bevolking kan bevinden. Een andere groep van zenders die zich wel dicht bij leden van de bevolking kan bevinden is de apparatuur die door zendamateurs wordt gebruikt. Vervolgens komt de groep ‘land, lucht en maritiem mobiele toepassingen’ aan de orde. Deze toepassingen bestaan meestal uit een vast opgesteld basisstation of netwerk van basisstations en een of meer mobiele toestellen. Voorbeelden zijn autotelefoon, mobilfoon, marifoon en communicatiesystemen voor de luchtvaart. De paragraaf over de mobiele toestellen gaat vooral over de GSM-mobieltjes en C2000-portofoons. Tot slot komen de diverse soorten omroepzenders aan de orde: landelijke en regionale, publieke en commerciële en analoge en digitale zenders.

Er is nadrukkelijk aandacht besteed aan nieuwe bronnen, zoals TETRA en WiFi.

In elke paragraaf wordt ingegaan op de beschikbare en gewenste informatie over

- het aantal bronnen;
- de diverse eigenschappen van de bronnen, zoals omvang, hoogte, totaal uitgezonden vermogen, effectief uitgezonden vermogen (ERP), e.d.;
- de niveaus van de elektromagnetische velden rond de bron vergeleken met de referentieniveaus in de EU-aanbeveling;
- de resultaten van *beschikbare* berekeningen en metingen; en
- een schatting van de aard van de (typische) omgeving van de bron, met nadruk op het gebied dat door leden van de bevolking kan worden betreden.

5.2 GSM-basisstations

Een GSM-netwerk bestaat uit antennes met een verzorgingsgebied met een straal van maximaal 35 km, en is gestructureerd als een honingraatnetwerk. Elke cel van de honingraat wordt verzorgd door een macrocellulair basisstation in het centrum. Naast macrocellulaire

basisstations zijn er ook micro- en picocellen voor respectievelijk lokale communicatie, bijvoorbeeld op bedrijfsterreinen en communicatie in gebouwen. Basisstations hebben contact met het vaste net of via straalverbindingen met andere basisstations die contact hebben met het vaste telefoonnet. Een macrocellair basisstation bestaat uit een mast met een aantal antennes, die elk in een andere richting zenden. Op een antenne kunnen meerdere zend- en ontvangsteenheden (TRX-en), in de praktijk maximaal zes, zijn aangesloten, die elk tegelijk zenden op een verschillend frequentiekanaal. Dit is het principe van Frequency Division Multiple Access (FDMA). Een frequentiekanaal bestaat uit twee banden van elk 200 kHz breed, de *uplink* voor het zenden van de mobiele telefoon naar het basisstation en de *downlink* voor het zenden van het basisstation naar de mobiele telefoon. Elke TRX gebruikt een andere frequentie, zodat signalen van naast elkaar gelegen TRX-en en signalen in naast elkaar gelegen cellen elkaar niet storen. Door het beperkte verzorgingsgebied kunnen de frequentiekanalen in verderop gelegen cellen hergebruikt worden. Per frequentie wordt het Time Division Multiple Access (TDMA) systeem gebruikt: de tijd is in *frames* van elk acht tijdsloten verdeeld, en in elk tijdslot wordt naar een andere mobiele telefoon gezonden (zie verder Paragraaf 5.9). Een TRX geeft dus pas permanent zijn maximale vermogen af als alle tijdsloten gebruikt worden. Er kunnen maximaal 48 verbindingen per antenne gelegd worden: zes TRX-en per antenne maal acht tijdsloten per TRX maal één tijdslot per verbinding. Voor cellen waar nog meer mobiele telefoons tegelijk moeten kunnen communiceren, dienen er dus meer antennes geplaatst te worden.

Het maximale vermogen dat een TRX aan de antenne aanbiedt is 15 W. Een typische GSM-antenne bestaat uit bak van 1-2,5 m hoog, 10-35 cm breed en 6-20 cm diep [110]. In de bak bevindt zich een plaat met daarop boven elkaar een aantal zendelementen. Hierdoor worden signalen gebundeld en in een nagenoeg horizontaal vlak uitgezonden. Antennes zenden doorgaans onder een smalle verstelbare hoek, tot 6 graden, naar beneden. De bundel zal bij een hoogte van 30 m de grond niet eerder raken dan op hemelsbreed 300 m van de antenne [33]. In de bundel van de hoofdstraalrichting wordt het vermogen door de antenne versterkt tot een effectief uitgestraald vermogen (ERP¹⁸). Uit de ERP waarde kan in combinatie met de referentieniveaus uit de ICNIRP guidelines [6] de referentieafstand¹⁹ in de hoofdbundel worden uitgerekend. De referentieafstand R_{ref} wordt hier gedefinieerd als de afstand in de hoofdstraalrichting tot de antenne binnen welke het referentieniveau E_{ref} wordt overschreden:

$$R_{ref} = \frac{\sqrt{1,64 \times ERP \times 30}}{E_{ref}} = \frac{\sqrt{1,64 \times ERP \times 30}}{1,375 \times \sqrt{f}} \quad (\text{voor } 400 - 2000 \text{ MHz})^{20},$$

met f de frequentie in MHz, E_{ref} het referentieniveau van het elektrisch veld in V/m, R_{ref} in m en ERP in W.

¹⁸ ERP staat voor Effective Radiated Power, het is de versterking van het vermogen in de hoofdstraalrichting (Engels: *gain*) ten opzichte van een ideale (verliesvrije) halve-golflengte dipoolantenne. De ERP kan berekend worden uit de in hoofdstuk 2 genoemde Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) volgens $ERP = EIRP/1,64$.

¹⁹ De gangbare Engelse term in de wetenschappelijke literatuur is *safety distance*.

²⁰ Voor UMTS-frequenties rond 2100 MHz is volgens de ICNIRP *guidelines* E_{ref} gelijk aan 61 V/m. Voor GSM-frequenties rond 900 MHz is E_{ref} gelijk aan 41,3 V/m en voor GSM-frequenties rond 1800 MHz is E_{ref} gelijk aan 58,3 V/m.

Gegevens in het Antenneregister

Op grond van het Antenneconvenant zijn de vijf providers verplicht een reeks van karakteristieke gegevens over hun basisstations aan het Antenneregister te melden. De volgende data en beschrijvingen zijn ontleend aan de gegevens die in april 2003 door de providers aan het Antenneregister zijn aangeleverd.

In Nederland zijn er twee frequentiebanden waarop GSM-zenders opereren: de 900 MHz-band en de 1800 MHz-band²¹. Deze frequentiebanden bestaan voor de 900 MHz-band uit een *uplink* van 880-915 MHz en een *downlink* van 925-960 MHz, en voor de 1800 MHz-band uit een *uplink* van 1710-1785 MHz en een *downlink* van 1805-1880 MHz. Uit de informatie van het Antenneregister blijkt dat er in Nederland 55.104 TRX-en staan, 21.669 in de 900 MHz-band en 33.435 in de 1800 MHz-band op respectievelijk 3.339 en 8.237 unieke locaties²². In totaal zijn er 11.140 unieke locaties. Dat betekent dat er 436 locaties van 900 MHz en 1800 MHz overlappen²³. Aangetekend moet worden dat door de onnauwkeurigheid in de aangeleverde coördinaten, voor sommige providers tot 50 m, niet eenvoudig te bepalen is hoeveel antennes en TRX-en zich bij elkaar bevinden op één *site* (bijvoorbeeld op één dak).

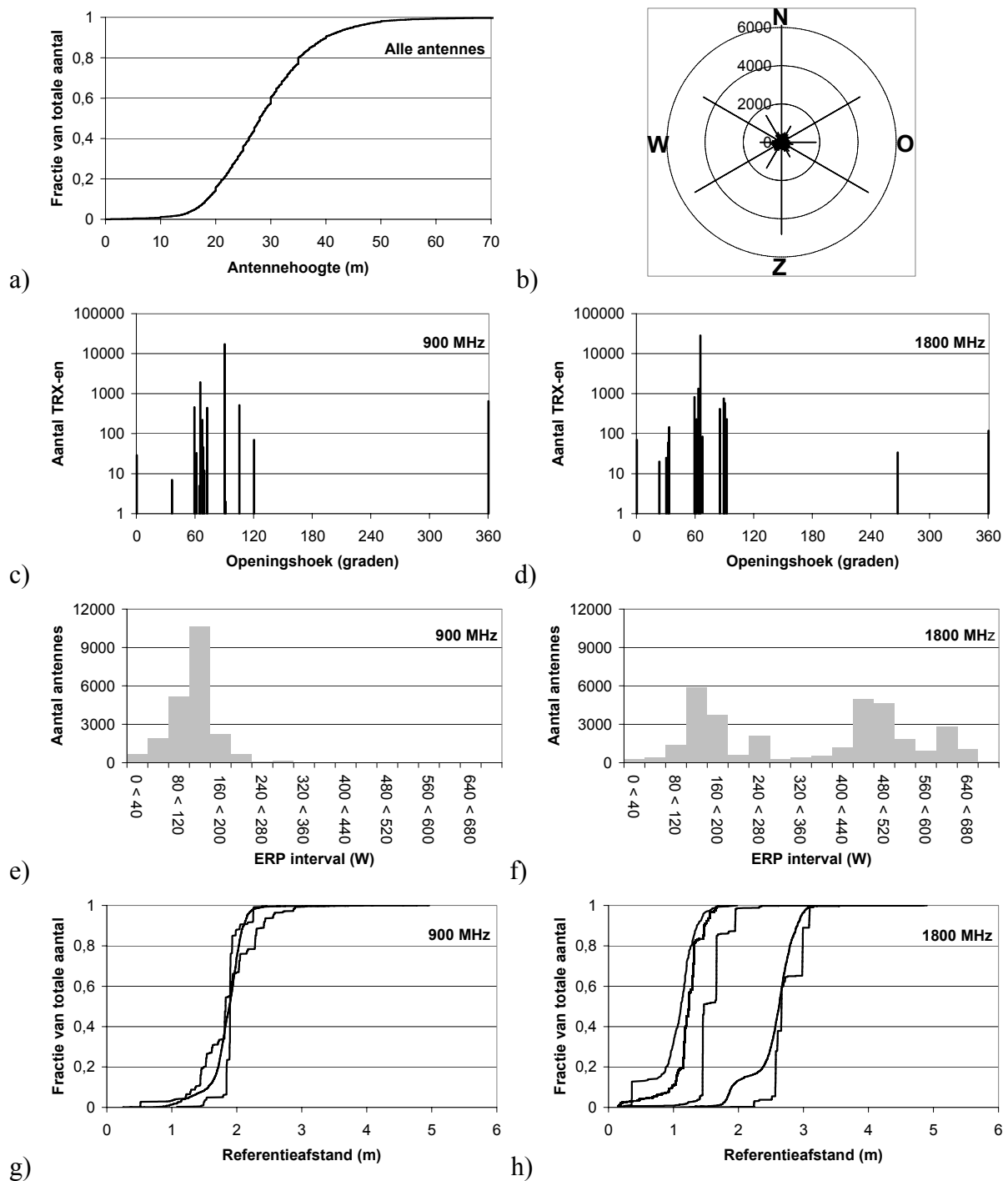
Figuur 13 geeft een aantal kenmerkende eigenschappen van de GSM-TRX-en in Nederland. De meeste antennes bevinden zich op een hoogte tussen 20 en 40 m. De mediaanwaarde van 28 m kan beschouwd worden als een typische hoogte voor een antenne. De hoofdstraalrichting is voor de meeste antennes een geheel aantal maal 60 graden ten opzichte van het noorden. De hoeveelheid antennes is ongeveer gelijk verdeeld over deze richtingen. De openingshoeken komen voor in enkele discrete banden. De meest voorkomende openingshoek is 90 graden voor de 900 MHz-band en 65 graden voor de 1800 MHz-band. Uit de gegevens blijkt dat de ERP voor Nederlandse TRX-en tussen 1 en 1699 W ligt. In de 900 MHz-band bevinden de meeste TRX-en (10.660) zich tussen 120 en 160 W; in de 1800 MHz-band liggen ze meer verspreid met een concentratie tussen 120 en 160 W (5915) en tussen 440 en 520 W (9652). Aangezien een hogere ERP leidt tot een grotere referentieafstand is deze spreiding van belang. Deze spreiding kan het gevolg zijn van een verschil in opgave door de diverse providers. Uit de verdeling van de referentieafstanden blijkt dat er twee providers ERP waarden hebben verschaft die ongeveer een factor 2,5 hoger zijn dan die van de drie andere providers. De mediane referentieafstand is 1,96 m voor de 900-band en 1,94 m voor de 1800-band. De hogere ERP in de 1800-band leidt niet tot grotere referentieafstanden, omdat de hogere frequentie weer leidt tot een hoger referentieniveau.

Figuur 14 geeft een voorbeeld van een afgezette veiligheidszone op een dak, waarbij de referentieafstand is gebruikt als straal van de zone rond de antenne. Merk op dat de antenne op de rand van het dak staat en van het dak af straalt, zodat men zich op het dak niet in de hoofdbundel kan bevinden. De antennekast is hier duidelijk zichtbaar aan de mast. Soms worden antennes gecamoufleerd in de kleur van de omgeving of verstopt achter bijvoorbeeld reclameborden, zodat ze niet opvallen. Dit wordt gedaan om zowel horizonvervuiling tegen te gaan zoals staatssecretaris De Vries in het Nationaal Antennebeleid [87] bepleit, als ook om te voorkomen dat de publieke aandacht zich op de antennes richt. Diverse krantenberichten uit de afgelopen twee jaar wijzen erop dat de aanwezigheid van antennes soms wordt geassocieerd met het krijgen van aandoeningen en ziekten.

²¹ De correcte naam voor de standaard voor mobiel zenden op de 1800 MHz band is niet GSM maar DCS1800 (Digital Cellular System), echter in de praktijk staan beide systemen, GSM-900 en DCS1800, bekend als GSM.

²² 'Unieke locatie' betekent hier een unieke combinatie van x- en y-coördinaten (als ruwste afgerond op 50 m).

²³ Totaal GSM900+GSM1800 –Totaal unieke= Overlappende opstelpunten = 11.576-11.140 = 436.



Figuur 13 GSM-antennes in Nederland. a) Cumulatieve verdeling van hoogtes, b) Aantal antennes per hoofdstraalrichting. c) en d) Verdeling van openingshoeken, e) en f) Aantal antennes per ERP interval, g) en h) Cumulatieve verdeling van referentieafstanden voor drie, respectievelijk vijf afzonderlijke providers (Gebaseerd op gegevens uit april 2003 van het Nationaal Antennebureau).



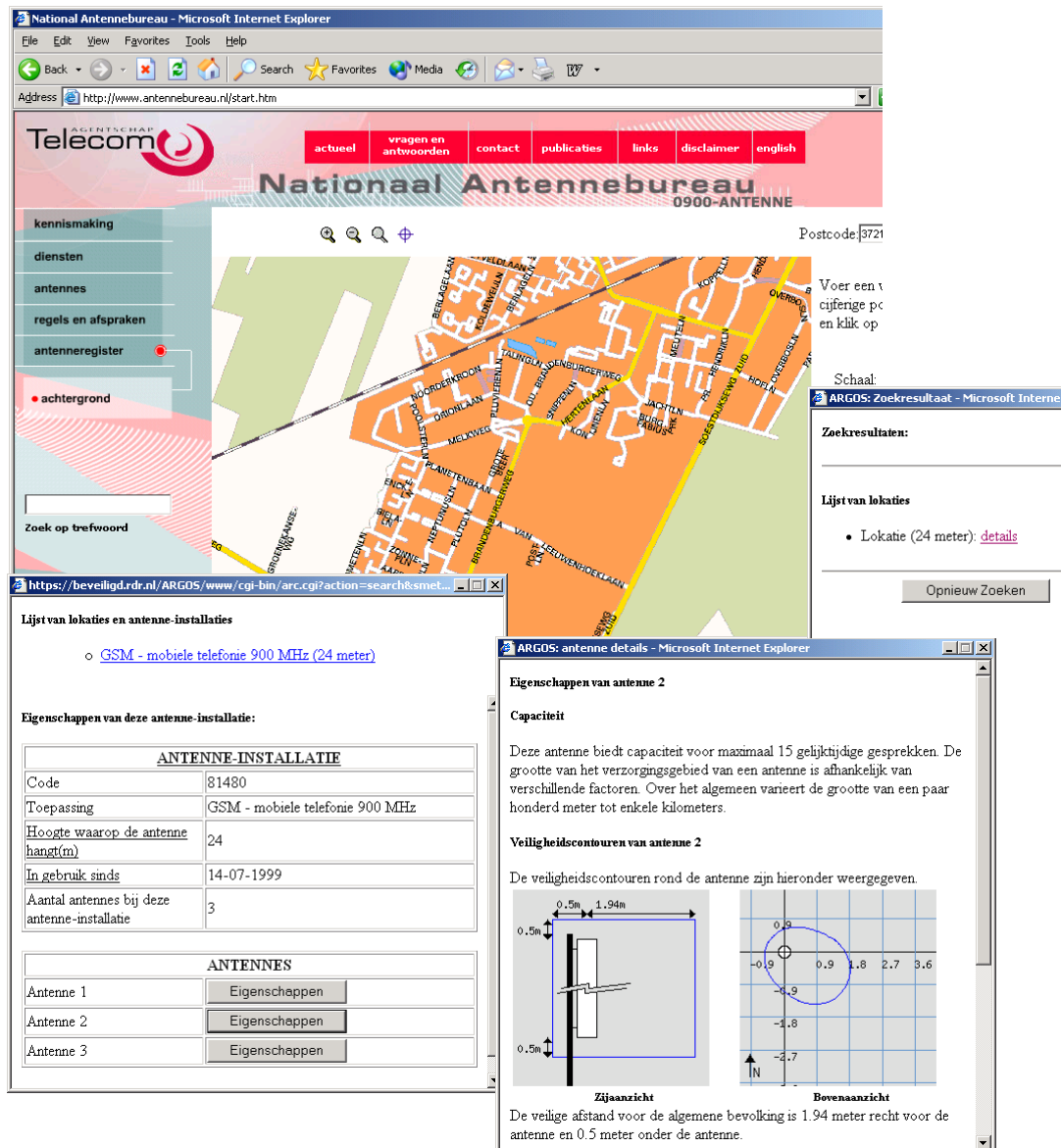
Figuur 14 Een afgezette veiligheidszone rond een antenne op een dak (overgenomen uit Casavola et al. [111]).

Metingen en berekeningen

Het Antenneconvenant verplicht om de blootstellingslimieten aan radiofrequente velden op vrij toegankelijke plaatsen, zoals gesteld in de Europese Aanbeveling van 1999 [65] te respecteren, en te meten als in ‘Meetvoorschrift voor het uitvoeren van EMF-metingen rond basisstations’ [112] zoals uitgegeven door het Agentschap Telecom. Deze norm zal vervallen zodra de nieuwe CENELEC norm ‘Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure to base stations’ van toepassing is. Via internet [92] kan het Antenneregister voor GSM-basisstations door een ieder worden geraadpleegd. Er wordt per 4-cijferig postcodegebied een lijst van de aanwezige opstelpunten van GSM-basisstations gegeven (zie Figuur 15) vergezeld van gegevens zoals masthoogte, frequentie, aantal antennes per installatie, vermogen en uitstralingspatronen en veilige afstanden. Het is niet mogelijk om te zien waar de opstelpunten zich in de straat waar men woont precies bevinden. Dat is een opvallend verschil met de situatie in het Verenigd Koninkrijk: de Radiocommunications Agency geeft op haar Sitefinder website [113] de locaties van opstelpunten op de kaart, vergezeld van een lijst met gegevens zoals de naam van de provider, de frequentie, het maximaal toegestane vermogen, het uitgezonden vermogen, de hoogte van de antenne en het soort signaal.

TNO heeft in 1999 *in situ* veldsterktemetingen gedaan aan in bedrijf zijnde GSM 1800 basisstations op een dak [114]. De hoogste gemeten elektrische veldsterkte op 2 m van een antenne was 1 V/m, zijnde minder dan 2% van het referentieniveau. Op 75 m afstand op straat was de veldsterkte 0,177 V/m en in de kantoorruimte onder de antenne 0,091 V/m. De veldsterkte in de kantoorruimte is lager, omdat de hoofdbundel van het dak afstraalt en vrijwel niet naar beneden en omdat het dak dempt.

De providers verrichten zelf niet-openbare metingen, en het Agentschap Telecom voert ook steekproefgewijs metingen uit aan basisstations.



Figuur 15 Voorbeeld van gegevens over GSM-basisstations op de website van het Antenneregister [92]: basisstations in het 4-cijferige postcodegebied van het RIVM te Bilthoven.

Conclusies

Uit de gegevens in het Antenneregister die door het Nationaal Antennebureau beschikbaar zijn gesteld, blijkt dat leden van de bevolking zich in de praktijk niet binnen referentieafstanden zullen bevinden. Werknemers zoals monteurs en dakwerkers kunnen wel binnen de referentieafstanden komen. De referentieafstanden die hier zijn berekend, zijn een eerste schatting. De cumulatie van signalen van meer antennes is niet onderzocht. De combinatie van de huidige gegevens om de cumulatieve veldsterkte voor een verzamelpaats van antennes te bepalen wordt bemoeilijkt doordat de locatie een onnauwkeurigheid van 50 m kan hebben. Ook zijn de referentieafstanden alleen berekend voor de hoofdbundel. Op andere posities rond de antenne zal het elektrische veld, en daarmee de referentieafstand, kleiner zijn.

5.3 UMTS-basisstations

Universal Mobile Telecommunications System (UMTS²⁴) wordt gezien als een opvolger van GSM. Het is de naam van een standaard die behalve voor spraak door zijn hoge data-snelheid van 384 kilobits tot 2 megabits per seconde ook geschikt is voor het overseinen van data zoals videobeelden [115]. Het gebruikte uitgangsvermogen van basisstations zal maximaal 20 W per kanaal zijn [116]. Mobiele telefoons zullen functioneren op zo'n 0,125 W. De gebruikte vermogens zijn van dezelfde orde van grootte als bij de GSM-toepassing. Ook wordt het zendvermogen aangepast aan de afstand tussen de mobiele telefoon en het basisstation. Des te dichter ze bij elkaar zijn, des te lager is het gebruikte zendvermogen. Echter, het zendprotocol en daarmee het signaal, is anders.

Bij UMTS wordt gebruik gemaakt van Wideband - Code Division Multiple Access (CDMA). Dat betekent dat geen gebruik wordt gemaakt van tijdsloten per gebruiker zoals bij de TDMA systeem gebruikt door GSM-technologie. Bij een CDMA systeem zendt een UMTS-basisstation constant bij een contact met een mobiele telefoon. Bij CDMA gebruikt iedere gebruiker de hele bandbreedte in zijn geheel en tegelijk. De data van alle uitgaande verbindingen worden op een bepaalde manier opgeteld en als één signaal verstuurd. De signalen onderscheiden zich van elkaar door een codering zodat elke gebruiker een eigen code heeft. De signalen van de overige gebruikers zijn dan ruis [117]. Er wordt in eerste instantie gebruik gemaakt van een Frequency Division Duplex (FDD) systeem. Hierbij wordt gebruik gemaakt van twee gepaarde banden van 5 MHz per kanaal. Eén band om te zenden en één band om te ontvangen, zodat het mogelijk is dat zowel zender als ontvanger tegelijk praten. In Nederland zijn er vijf gepaarde banden van 1920 tot 1980 MHz en van 2110 tot 2170 MHz. Daarnaast is er nog het Time Division Duplex (TDD) systeem dat later gebruikt zal worden. Bij het TDD systeem wordt er om en om gezonden en ontvangen op een kanaal. Uit het Nationaal Frequentieplan [118] blijkt dat deze ongepaarde banden lopen van 1900 tot 1920 MHz en van 2010 tot 2025 MHz. Naast het aardse UMTS-systeem, zijn er ook banden toegewezen voor UMTS-communicatie via de satelliet op 1980 tot 2010 MHz en 2170 tot 2200 MHz. De band van 2110 tot 2109,7 MHz is bestemd voor niet openbare communicatie. Om het aardse UMTS-systeem in gebruik te nemen, moet er een nieuw netwerk worden uitgerold. Dat betekent dat er nieuwe basisstations moeten worden bijgebouwd. Dit zal deels gebeuren door bestaande opstelpunten voor GSM-basisstations uit te breiden met UMTS-basisstations, en deels door het oprichten van nieuwe opstelpunten. Hoewel het netwerk pas in januari 2007 dekkend moet zijn, worden op het moment al tests uitgevoerd door twee providers [119].

Het COFAM-onderzoek is in september 2003 afgerond door TNO. Bij het COFAM-onderzoek werden twee groepen vrijwilligers betrokken: een groep met mensen die zelf verklaard hadden last te hebben van GSM signalen en een groep die verklaard had geen last te hebben. Ze werden in een proefopstelling in een anechoïsche kamer dubbelblind in drie sessies blootgesteld aan signalen van GSM-900, GSM-1800, UMTS of placebo. Tijdens iedere sessie deden ze testen en achteraf vulden ze een vragenlijst in. Uit het eindresultaat bleek dat voor beide groepen een UMTS-signaal een statistisch significante invloed had op de score voor het welbevinden. Daarnaast bleek het UMTS-signaal een hogere statistisch significante invloed te hebben op de uitvoering van cognitieve taken van de zelf-verklaarde lasthebbers dan van de niet-lasthebbers [56]. Om deze uitkomsten te bevestigen, moet nog reproductieonderzoek

²⁴ UMTS is een deelstandaard die uitmaakt van de overkoepelende International Mobile Telecommunications at 2000 MHz (IMT-2000) standaard. De International Telecommunications Union (ITU) stelde in 1992 de IMT-2000 standaard op voor de Derde Generatie (3-G) communicatie in de 2 GHz band.

worden uitgevoerd. Bij de gebruikte veldsterktes van 1 V/m op de positie van de vrijwilliger zijn geen overschrijdingen van de basisrestrictie SAR te verwachten.

5.4 TETRA-basisstations

TETRA staat voor TERrestrial TRunked RAdio, een internationale standaard voor digitale communicatie. TETRA kent zowel commercieel gebruik als gebruik voor speciale doeleinden. In Nederland wordt in opdracht van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties door het agentschap ITO (Informatie en Communicatie en Technologie Organisatie) [120, 121] het C2000 netwerk uitgelegd. Dit is het toekomstige netwerk voor mobiele communicatie voor de politie, brandweer, ambulancediensten en de Koninklijke Marechaussee. TETRA is een open digitale standaard gedefinieerd door de ETSI voor deze hulpverleningsdiensten [122]. In het verlengde van het Schengen-verdrag is voor de communicatie voor de sector openbare veiligheid exclusief de 380-400 MHz frequentieband beschikbaar gesteld [121]. TetraNed [123], een samenwerkingsverband tussen Getronics en KPN Telecom, heeft de opdracht gekregen om C2000 in Nederland aan te leggen, waarbij Motorola [124] de apparatuur levert. Het systeem moest voor 2004 operationeel zijn, het is echter in april 2004 nog niet in gebruik genomen. Het C2000 netwerk draait op proef in de regio Amsterdam [125]. Commerciële zelfbouwnetwerken worden wel geadverteerd door de fabrikanten, maar zijn in Nederland nog niet wijdverspreid in gebruik.

Het TETRA-protocol lijkt op het GSM-protocol met *uplink* en *downlink* frequentiebanden. De *downlink* frequentieband is doorgaans gekoppeld aan een 10 MHz hoger gelegen *uplink* frequentieband. De beschikbare frequentiebanden voor TETRA in Nederland zijn: delen uit de 410-420/420-430 MHz voor zakelijke doeleinden; 451,3–455,71/461,3-465,71 MHz voor telecommunicatiedienstverlening aan derden; 870-876/915-921 MHz is beschikbaar maar wordt mogelijk aan andere applicaties toegewezen; en 380-385/390-395 MHz voor C2000 [118]. De banden zijn elk opgedeeld in kanalen van 25 kHz breed.

Het C2000 netwerk bestaat uit 390 opstelpunten: 320 nieuwe vakwerkmasten en 70 bestaande masten of dakopstellingen [126]. Zij staan in het middelpunt van cellen met een straal van 1 tot 6 km [127]. Op deze manier is een landelijke dekking mogelijk. In een vakwerkmast hangen drie of vier antennes: twee antennes voor het TETRA spraak- en datanetwerk voor landmobiele communicatie en één voor het flexnet (alarmering en semaforie)²⁵ netwerk. De vierde antenne is een speciale antenne voor luchtmobiele communicatie. Deze zal slechts in 24 van de 390 masten geplaatst worden [120]. De hoogte van de masten is 45, 53 of 60 m, waarbij de antennes niet per se aan de top zijn gemonteerd. Op een gebouw van meer dan 32 m hoogte bevinden de antennes zich op een mast van 6 m hoogte [121]. Voor ondergrondse tunnels van bijvoorbeeld de metro worden speciale installaties gebruikt. Naast de vaste masten zijn er ook nog mobiele stations, in bijvoorbeeld auto's die met een vermogen van maximaal 10 W zenden.

De communicatie geschiedt via het TDMA protocol met vier tijdsloten [128]. Basisstations zenden typisch met een maximaal zendvermogen van 25 W. Het flexnet gebruikt een frequentieband van 154 tot 174 MHz in combinatie met een zendvermogen tot 150 W [127].

²⁵ Dit net staat ook wel bekend als *paging* netwerk.

Metingen en berekeningen

TNO-FEL heeft in 1998 elektrische veldsterkte metingen verricht aan een typisch C2000 opstelpunt [127]: een mast van 45 m hoog, met antennes op 31,1 m voor het flexnet, op 37,9 m voor het luchtmobiele net en op 39,9 m voor het landmobiele net. In het horizontale vlak is in de hoofdbundel overschrijding van het referentieniveau op 4,3 m voor het flexnet en op 2,3 m voor het landmobiele net gemeten. Aan de voet van de mast zijn de elektrische veldsterktes voor de respectievelijke netten 0,7 V/m en 0,5 V/m.

Uit berekeningen aan de elektrische veldsterkte, gepubliceerd op de C2000 website [121], blijkt een overschrijding van het referentieniveau in het horizontale vlak op 3,5 m voor het flexnet en op 4,6 m voor het landmobiele net. Aan de voet van de mast zijn de elektrische veldsterktes voor de respectievelijke netten 0,6 V/m en 0,95 V/m. Metingen van NRPB komen op een afstand van 42 m van de voet van de mast, waar de hoofdbundel het maaiveld raakt, op 0,19% van het referentieniveau, ofwel 28 V/m [129].

Conclusie

Ondanks dat de berekende en gemeten resultaten niet volledig overeenstemmen, blijkt dat aan de voet van de mast, en op de locatie waar de hoofdbundel het maaiveld raakt, de waarden van het elektrische veld niet boven het referentieniveau uit zullen komen.

5.5 Draadloze verbindingen: WLL, WLAN en Bluetooth

Er bestaan vele verschillende technieken en standaarden om apparatuur draadloos te laten communiceren. Voor grotere afstanden (meer dan enkele tientallen kilometers) worden de Point-to-Point (PP) (vaste) straalverbindingen gebruikt. Voor de middellange afstanden van honderd meter tot enkele kilometers in stedelijke gebieden tot tientallen kilometers in landelijke gebieden wordt Wireless Local Loop (WLL) gebruikt. Voor de kleinere afstanden van enkele honderden meters wordt Wireless Local Area Network (WLAN) met als bekendste standaard Wireless Fidelity (WiFi). Bluetooth is de standaard voor draadloze verbindingen tot circa 10 m.

WLL

WLL is een (digitaal) radiosysteem waarmee vanuit een centraal punt draadloze verbindingen kunnen worden gelegd met vast opgestelde decentrale punten. Dit centrale punt is vervolgens met een breedbandverbinding weer aangesloten op een vast netwerk, zoals het telefoonnet of een glasvezelnet. Andere namen zijn Fixed Wireless Access (FWA), Point-to-Multipoint (PMP), of Local Multipoint Distribution System (LMDS). Een andere vorm is de Multipoint-to-Multipoint (MP-MP). De MP-MP techniek kent een maasvormig stelsel van verbindingen. Bij deze techniek wordt een ontvangen signaal ook weer doorgestuurd naar een volgende antenne. In Nederland zijn voor WLL meerdere frequentiebanden bestemd die eind 2004 verdeeld zijn [130]. In het najaar van 2003 werden de frequentiebanden 2530 - 2667 MHz en 3500 - 3580 MHz geveild aan Enertel en Versatel. Voor PMP systemen moeten ten minste 20 basisstations gebouwd worden, voor MP-MP systemen tenminste 300 basisstations. Het aantal feitelijke gebouwde masten hangt af van de vergunninghouders; een GSM-provider zal bijvoorbeeld gebruik kunnen maken van bestaande opstelpunten. Volgens de website van het ministerie van Economische Zaken [130] maakt WLL gebruik van lage vermogens en '... Hoe lager het vermogen, hoe kleiner het risico op schade aan de gezondheid...'. TNO-FEL heeft in 1998 een rapport uitgebracht over de technische

randvoorwaarden zoals de mogelijke te gebruiken zendprotocollen DS-CDMA, FH-CDMA, FDMA en TDMA [131]. Uit het rapport blijkt dat het zendvermogen dat aan de antenne wordt aangeboden afhankelijk is van de frequentie en het gebruikte zendprotocol. Het zendvermogen ligt rond 2 W (33 dBm²⁶) voor de eerder genoemde systemen of rond 20 W (43 dBm) voor DS-CDMA.

De *worst case* benadering zegt dat in de richting van de hoofdstraal de versterking zo'n 14 dBi²⁷ is voor 2600 MHz band en 8 dBi voor de 3500 MHz band, resulterend in EIRP van 12 W (33+8 dBm) respectievelijk 500 W (43+14 dBm), hetgeen leidt tot referentieafstanden van respectievelijk 0,31 en 2 m.

WLAN

WLANs zijn radiosystemen bedoeld voor mobiele toepassingen op korte afstand, tot enkele honderden meters, rond een basisstation. WLANs zijn onder voorwaarden vrijgesteld van zendvergunningen voor de frequentiebanden en vermogens in Tabel 2 [132].

Tabel 2 Vergunningsvrijgestelde frequentiebanden voor WLAN gebruik met maximaal EIRP [132] en geschatte referentieafstand R_{ref}

frequentieband (MHz)	maximaal EIRP (mW)	R_{ref} cm
2400 - 2483	100	3
5150 - 5350	200	4
5470 - 5725	1000	9
17100 - 17300	100	3

De referentieafstand voor de 2,4 GHz band ligt binnen de golflengte van 16,7 cm. Dat betekent dat op een afstand van één golflengte, waar men zich zeker in het verre veld bevindt, geen overschrijding van de limieten in de EU-aanbeveling zal voorkomen. Voor de eerste 5 GHz band met een golflengte van ongeveer 6 cm geldt hetzelfde. Voor de tweede 5 GHz band met een golflengte van ongeveer 5 cm en de 17 GHz band met een golflengte van 1,7 cm geldt dat de referentieafstand in het verre veld ligt. Voor afstanden binnen het nabije veld, moet de basisrestrictie, de SAR, worden gebruikt. Deze SAR wordt bij gebruik van GSM-telefoons niet overschreden. Aangezien deze zenden met een hoger maximaal vermogen van 2 W, wordt ook bij toepassingen op dit gebied geen overschrijding verwacht.

Er zijn verschillende standaarden die in deze banden werken: WiFi, HomeRF en Zigbee voor de afstanden tot zo'n 100 m, al kan met een richtantenne enkele kilometers gehaald worden; Bluetooth en Hiperlan voor de zeer korte afstanden tot 10 m. Nieuwe standaarden in deze banden worden voortdurend ontwikkeld mede omdat dit een vergunningsvrije band is. Een breedband toepassing voor de lange afstand in deze vergunningsband is WiMax (IEEE 802.16a) dat zonder vrije zichtverbinding over maximaal 50 km contact kan maken. Het nadeel van deze nieuwe toepassingen is dat vooral de 2,4 GHz band waarvan ook garageopeners en magnetrons gebruik maken, vol raken. Het is te verwachten dat in de toekomst meer frequentieruimte nodig is of een hoger vermogen om boven de ruis van andere applicaties uit te komen.

²⁶ dBm staat voor decibel milliwatt. 0 dBm is gedefinieerd als 1 milliwatt. Decibel is een logaritmische schaal die gebruikt wordt om versterkingsfactoren uit te drukken. Iedere 3 dB verhoging betekent een verdubbeling van de waarde.

²⁷ dBi staat voor decibel isotroop. dBi geeft de versterkingsfactor, *gain*, aan ten opzichte van een isotrope antenne. Een versterking van 3 dBi betekent een versterking met een factor 2.

De bekendste WLAN, WiFi opereert in de 2,4 GHz band. WiFi (IEEE standaard 802.11g) wordt toegepast voor onder andere mobiel data- en spraakverkeer. Oorspronkelijk was WiFi bedoeld als draadloos netwerk binnenshuis, maar nu wordt het ook gebruikt om op zogenaamde publieke *hotspots* contact te maken met een basisstation dat via een vast net verbonden is met het internet. Volgens de WiFifinder website [133] zijn er eind september 2003 in Nederland 87 *hotspots* van commerciële (landelijke) netwerken bij onder andere tankstations en koffieshops. Daarnaast zijn er, veelal ongeregistreerde, niet commerciële netwerken waarbij particuliere gebruikers hun overcapaciteit van bijvoorbeeld hun ADSL-verbinding via een WiFi-zendertje beschikbaar stellen. In september 2003 waren er 428 particuliere *hotspots* aangemeld bij de MiWiFi website [134]. Er zijn ook stichtingen die gratis *hotspots* beschikbaar stellen zoals WirelessLeiden [135]. Verwacht wordt dat het aantal *hotspots* in Nederland snel zal uitbreiden omdat WiFi met een datasnelheid van 54 megabits per seconde (Mbps) een goed alternatief is voor gebieden waar geen ADSL voorhanden is.

Toepassingen van WiFi zijn onder andere mobiel internet en WiFifoon. Door middel van een insteekkaartje in de laptop kan op een *hotspot* contact gemaakt worden met het internet. Er zijn ook *hotspots* waar met een speciale WiFifoon kan worden getelefoneerd. Deze toepassing kan vooral worden gebruikt in gebouwen zoals ziekenhuizen voor de interne draadloze communicatie. Ook gaan er *hotspots* worden ingericht door providers zoals KPN [136] die geschikt zijn voor zowel GSM- als WiFi-netwerken. Aangezien WiFi een behoorlijke datasnelheid haalt, wordt het gezien als een goedkoop vergunningsloos alternatief voor UMTS. Figuur 16 geeft enkele voorbeelden van WiFi-toepassingen.



Figuur 16 Voorbeelden van WiFi applicaties: (a) een WiFi antenne aan een computerscherm, (b) een antenne voor de USB-poort en (c) een WiFifoon.

Vanwege het geringe EIRP dat bij de vergunningsvrije WLANs zoals WiFi gebruikt wordt, zie Tabel 2, is het niet aannemelijk dat deze toepassingen leiden tot overschrijding van de referentieniveaus en basisrestricties. Wel blijft het zaak apparatuur die in de hand of tegen het hoofd gehouden wordt te testen op SAR net als bij GSM-toestellen. In de Verenigde Staten is de eerste rechtzaak rond de mogelijke gezondheidseffecten van toepassing van WiFi gebruik in scholen al een feit [137].

5.6 Straalzenders

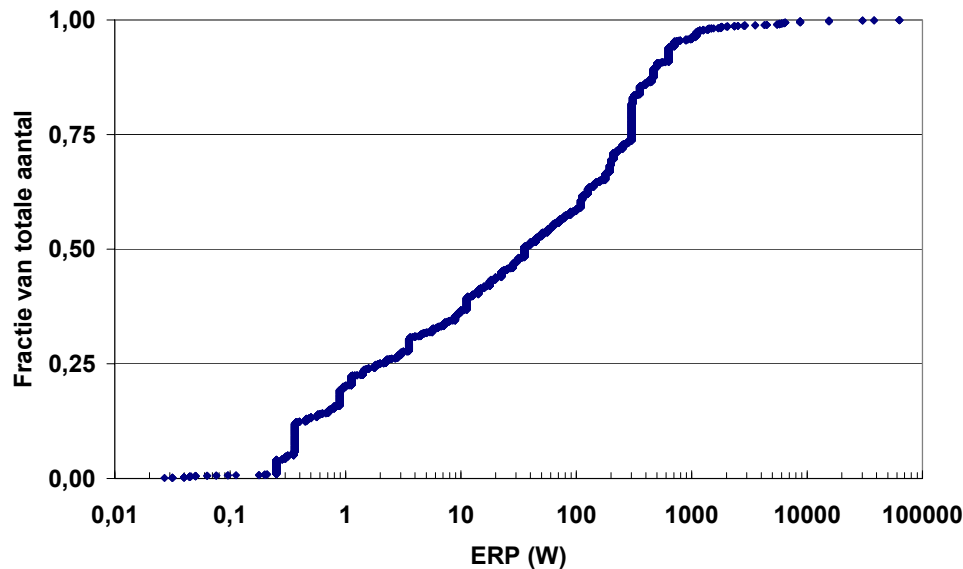
Straalzenderverbindingen, ook wel vaste verbindingen genoemd, zijn draadloze verbindingen tussen twee punten. Aangezien ze met sterk gebundelde signalen opereren, worden als antenne vaak schotels gebruikt. Door de nauwe bundel op een hoge frequentie moeten twee opstelpunten een directzicht verbindingsslijn met elkaar hebben. Vanwege de kromming van de aarde is de maximale afstand tussen zender en ontvanger ongeveer 45 km. Om obstakels te

mijden is voor het overbruggen van een afstand van 10 km een opstelpunt op een hoogte van 30 m nodig, om 45 km te overbruggen is een hoogte van 80 m nodig. De meeste toepassingen maken gebruik van de frequentiebanden rond 25 of 38 GHz. Alleen bij afstanden groter dan 20 km of intensief dataverkeer van meer dan 140 Mbits/s worden frequenties beneden 20 GHz gebruikt. Bij kortere afstanden tot 500 m maakt men gebruik van de frequentieband rond 58 GHz. Vaste verbindingen zijn relatief goedkoop aan te leggen en te veranderen, en maken deel uit van telecommunicatiestructuren, zoals bij het verbinden van GSM-basisstations met een opstelpunt dat is aangesloten op het vaste netwerk. Voor verbindingen voor de Nederlandse omroep worden vaste verbindingen gebruikt op KPN-torens met schotels van 3 m.

De vaste verbindingen zijn doorgaans vergunningsplichtig. Voor de vergunning moeten onder andere de volgende gegevens bekend zijn: locatie van de masten met een nauwkeurigheid van 20 m, polarisatie, hoofdstraalrichting, openingshoek en *gain*. Vaste verbindingen worden gepland in een zo hoog mogelijke frequentieband. Het Agentschap Telecom van het ministerie van Economische Zaken bepaalt het maximaal uitgestraalde zendvermogen en de hoogte van de antenne zodat er precies genoeg signaal arriveert voor voldoende ontvangst [138]. Het EIRP, nodig voor het berekenen van de referentieafstand, is dan te berekenen als het product van de *gain* en het uitgestraalde vermogen. Het Nationaal Antennebureau merkt op dat door de sterke bundeling de referentieniveaus en de basisrestricties alleen in de bundel kunnen worden overschreden, maar dat de veldsterkte op een afstand van ongeveer 30 m tot de schotel in de hoofdbundel al onder 61 V/m liggen. ‘... Hierdoor zal het niet voorkomen dat blootstellingslimieten worden overschreden op plaatsen die toegankelijk zijn voor leden van de algemene bevolking. ...’ [139].

Uit de gegevens uit februari 2000 van de toenmalige Rijksdienst voor Radiocommunicatie (RDR) blijkt dat er in Nederland ongeveer 5000 systemen staan opgesteld. De helft van alle antennes staat opgesteld op een hoogte tussen 20 en 40 m. De meeste verbindingen, 57%, zijn tussen 35 en 38 GHz, en tussen 25 en 30 GHz. De bandbreedtes van de signalen liggen tussen 1 en 110 MHz. De lengte van de verbindingen is verdeeld als volgt: 70% is kleiner dan 5 km, 19% tussen 5 en 10 km, 6% tussen 10-15 km en 5% is groter dan 15 km. De meeste verbindingen worden dus gebruikt voor de kleinere afstanden. De verdeling van het ERP is in Figuur 17 weergegeven. Voor het hoogste vermogen van 2,2 MW blijkt dat het referentieniveau van 61 V/m optreedt op 127 m in de hoofdbundel. Voor 84% van de zenders is het veld al op 1,6 m afgezwakt tot 61 V/m.

Bekende en in woongebieden veel voorkomende, goed zichtbare vaste verbindingen zijn de schotels op GSM-masten. Doorgaans hebben ze een diameter van 30 cm en een vermogen tot 130 mW. Ze zenden tussen de 24 en 40 GHz, waarvoor de verreveldafstand 14,4, respectievelijk 24 m bedraagt. Volgens de Gezondheidsraad [35] heeft een straalzender op een achtste verreveldafstand in de hoofdbundel zijn maximale vermogensdichtheid. Deze is gelijk aan vier maal het beschikbare vermogen gedeeld door de oppervlakte van de antenne. Voor een vermogen van 130 mW en een oppervlak van $0,071 \text{ m}^2$ leidt dat tot $7,36 \text{ W/m}^2$, ofwel 74% van de basisrestrictie van 10 W/m^2 is. Dus zelfs in de bundel kan de basisrestrictie niet overschreden worden. Op 50° buiten de hoofdbundel is het veld zelfs onder 0,5 V/m, ofwel 0,8% van de referentiewaarde van 61 V/m.



Figuur 17 Cumulatieve verdeling van ERP voor straalzenders.

Satellieten

Er zijn vergunningsplichtige en vrijgestelde satellietstraalverbindingen. Over vergunningsplichtige satellietstraalverbindingen is geen informatie beschikbaar. Satellietstraalverbindingen zijn vergelijkbaar met vaste straalverbindingen. Ze werken met een hoog vermogen en een sterk bundelende antenne. De bundel is maar enkele graden breed, zodat het signaal dat reist over meer dan 40.000 km, met genoeg sterkte en zonder veel uitwaaiing aankomt. Satellietgrondstations die met een maximaal uitgangsvermogen van 2 W zenden, zijn vrijgesteld voor drie banden boven 14 GHz wanneer het maximaal uitgestraalde vermogen is beperkt tot 100 kW EIRP [140]. Dit betekent dat in de bundel de referentieafstand 28,4 m bedraagt. Echter, door de smalle bundel is net als bij vaste straalverbindingen het hoogst onwaarschijnlijk dat iemand de maximale veldsterkte kan ervaren.

5.7 Zendamateurs

Zendamateurs zijn hobbyisten die met zelfgebouwde zendapparatuur en combinaties van antennes contact leggen met andere zendamateurs. Ze gebruiken hiervoor verschillende frequentiebanden en antennes. Begin 2003 telde Nederland 13.782 zendamateurs. Zij zenden doorgaans vanaf hun huis of erf, en zullen dus velden genereren in woongebieden waar veel mensen blootgesteld kunnen worden.

Zendamateurs moeten werken volgens een vergunning die het Agentschap Telecom verstrekt na het afleggen van een examen. Een vergunning geeft het recht om op 37 frequentiebanden te zenden met voor elke band een maximum vastgesteld Peak Envelope Power (PEP) [141]. Het PEP is gedefinieerd als het vermogen van het gemoduleerde signaal tijdens de piek van de modulatie zoals aangeboden aan de antenne. Als er geen amplitudevariëaties in de draaggolf optreden zoals bij FM dan mag het vermogen van de draaggolf dus gelijk zijn aan het maximale PEP. Wanneer een AM-zender 100% gemoduleerd wordt, komen de toppen van het signaal twee keer hoger, en het vermogen dus vier keer. Het vermogen van de draaggolf mag dan maar een kwart van het PEP bedragen. Op de laagste frequentieband van 135,7 tot 137,8 kHz mag worden gezonden met maximaal 400 W PEP en op de hoogste band van 248

tot 250 GHz met 120 W PEP. De meest gebruikte frequentiebanden [persoonlijke communicatie diverse zendamateurs, en internet survey op www.qrz.com de dato juli 2000] zijn de banden onder de 30 MHz waar doorgaans AM wordt gebruikt en de band van 144 tot 146 MHz. Voor deze banden geldt een maximum PEP van 400 W.

Berekeningen

PEP is vermogen dat aan de antenne wordt aangeboden. Na vermenigvuldiging met de *gain* van de antenne levert dit het EIRP op. Er is hier niet gekozen om de EIRP te meten omdat deze veelal niet exact bekend is daar zendamateurs verschillende antenne *gains* en -vermogens gebruiken. Een inschatting van een karakteristieke hoge *gain* is een factor 100 [142]. Een worst case geval is een zendamateur die met een EIRP van $100 \times 400 = 40$ kW zendt in een woonwijk. Bij een frequentie van 144 MHz leidt dat tot een referentieafstand van 39 m. Daar zendamateurs in veel gevallen verbindingen proberen te maken tegen de grenzen van het fysisch mogelijke, zal juist het maximale vermogen niet veel gebruikt worden. De 'sport' is om zover mogelijk te zenden met zo weinig mogelijk vermogen. Bij zendamateurs wordt op de meest gebruikte banden doorgaans met een vermogen van 1000 W EIRP gezonden [persoonlijke communicatie Pennders]. Dit leidt tot een referentieafstand van 6,2 m.

Bovengenoemde referentieafstand is berekend aan de hand van het referentieniveau voor het elektrisch veld als dat permanent wordt uitgezonden. In de praktijk is het percentage van de tijdsduur dat er werkelijk wordt gezonden tijdens een radioexperiment bij over en weer praten minder dan 50%. Daarbij is er afhankelijk van het soort modulatie maar een korte tijd dat het maximale vermogen daadwerkelijk wordt uitgezonden. De verhouding tussen gemiddeld en piekvermogen wordt uitgedrukt door de zogenaamde *duty factor* die bepaalt hoeveel procent van het maximaal vermogen gebruikt wordt. Voor het berekenen van de basisrestrictie moet de hoeveelheid geabsorbeerde energie over een gemiddeld tijdsinterval berekend worden. Dus hoe lager de *duty factor*, hoe minder vermogen er wordt geabsorbeerd. De Amerikaanse Federal Communications Commission (FCC) heeft voor verschillende situaties *duty factors* bepaald, en ook referentieafstanden berekend voor veelgebruikte soorten antennes onder aanwending van verschillende vermogens en frequenties [142].

Metingen

Beschikbare metingen aan zendamateurstations zijn gemaakt door de FCC [143] in 1996. Uit hun onderzoek bleek dat de veldsterkte in de voor het publiek toegankelijke gebieden en binnenshuis niet boven de door de Amerikaanse limieten gestelde veldsterkte of vermogensdichtheid uitkomt. De hoogste veldsterktes kwamen voor bij mobiele stations, die echter wel aan de basisrestricties voldeden.

Conclusies

Zendamateurs kunnen elektromagnetische velden in dichtbevolkte gebieden verspreiden. Echter, met inachtneming van de *duty factor* en het afschermende vermogen van muren zal de basisrestrictie waarschijnlijk niet overschreden worden. Dit laatste wordt gestaafd door metingen van de Amerikaanse FCC. Toch is het zaak om mogelijke worst case studies op te sporen, en de ontwikkelingen te volgen. Immers, doordat zendamateurs in woongebieden opereren is er een grote groep mogelijk blootgesteld.

5.8 Land, lucht en maritiem mobiele toepassingen

Land en maritiem mobiele systemen vormen een grote groep radiocommunicatiesystemen waarvoor kenmerkend is dat het systeem mobiel gebruikt wordt al of niet in combinatie met een basisstation. Deze groep heeft toepassingen in onder andere de volgende sectoren: verkeer en vervoer, overheid, industrie en de zorgsector [144].

De gegevens uit 2000, aangeleverd door de toenmalige RDR, omvatten meer dan 25.000 systemen, bestaande uit bijna 10.000 basisstationlocaties en ongeveer 500 mobiele, passieve (éénrichtings-) zenders, zoals draadloze microfoons. Een systeem bestaat uit een basisstation en een aantal mobiele zenders zoals portofoons of mobilofoons. Deze systemen hebben allemaal een vergunning voor het frequentiegebruik nodig. Voor 43% van de 25.000 systemen waren er bruikbare gegevens over de mobiele componenten. Van deze groep had 96% van de systemen minder dan 200 mobiele componenten en 0,7% meer dan 1000 mobiele componenten. Een voorbeeld van één basisstation met meer dan 600 mobilofoons is een taxicentrale.

De toepassingen liggen in een frequentiebereik van 26,1-469,5 MHz, en zijn verdeeld in een 27 MHz band (26,1-27,945: 5177, 20,4%), een 38-40 MHz band (2480, 9,8%), een 146,19-179,1 MHz band (41,6%) en een 440-470 MHz band (25,3%). De vermogens in ERP lopen uiteen van 0,4 mW tot 630 W, met 24% van de basisstations tussen 0,75 en 1,25 W, en 72% tussen 7,5 en 12,5 W. De aangeleverde gegevens bevatten maar zeven systemen die op een hoogte van 1,5 m boven het aardoppervlak een overschrijding van het referentieniveau van 28 V/m veroorzaken. De systemen waren ingedeeld in 270 groepen. Uit de meegeleverde omschrijvingen voor de aangeleverde codes van deze groepen is echter niet duidelijk op te maken welke toepassingen elke groep omvat. Ook is er geen informatie over frequentiebanden voor mobiele communicatiesystemen in banden lager dan 26 MHz, terwijl volgens het Nationaal Frequentieregister daar wel vergunningsplichtige banden voor mobiele communicatie zijn aangewezen, zoals 2502-2635 kHz voor maritiem mobiele communicatie. Over luchtvaartcommunicatie zijn toen helemaal geen gegevens verstrekt.

Naast vergunningsplichtige, geregistreerde toepassingen zijn er diverse vrijgestelde toepassingen voor mobiele systemen [145]. Naast de eerder genoemde WLANs zijn onder andere vrijgesteld: Satellietgrondstations, aansluitingen op een openbaar satellietstelsel ten behoeve van mobiele communicatie, Direct Mode Operating (DMO), Personal Mobile Radio (PMR), een soort walkietalkie systeem, en de 27MC-apparaten, beter bekend als 'bakkies'. Deze toepassingen zijn vrijgesteld voor lage vermogens, en zullen binnen deze vermogens de referentieniveaus in het verre veld niet overschrijden. Echter, sommige van deze apparatuur kan werken met zendvermogens van 2 W [146]. In het geval dat de antenne dichtbij het hoofd gehouden wordt, zoals bij PMR systemen, kan dit mogelijk leiden tot een te hoge SAR.

Conclusies

De informatie over land, lucht en maritiem mobiele toepassingen is niet compleet. Over systemen in banden lager dan 26 MHz en luchtvaartcommunicatie zijn geen gegevens bekend. De geleverde gegevens zijn vaak onder groepscode en het is onbekend welke toepassingen precies onder welke code vallen. Nagenoeg alle systemen in de aangeleverde gegevens veroorzaken veldsterktes die op 1,5 m boven het aardoppervlak onder het referentieniveau blijven. Het is zaak om de gegevens voor deze systemen bij te houden en volledig te maken

om zeker te kunnen zijn dat alle systemen veldsterktes onder de referentieniveaus veroorzaken.

5.9 Mobiele telefoons en TETRA portofoons

GSM-telefoons

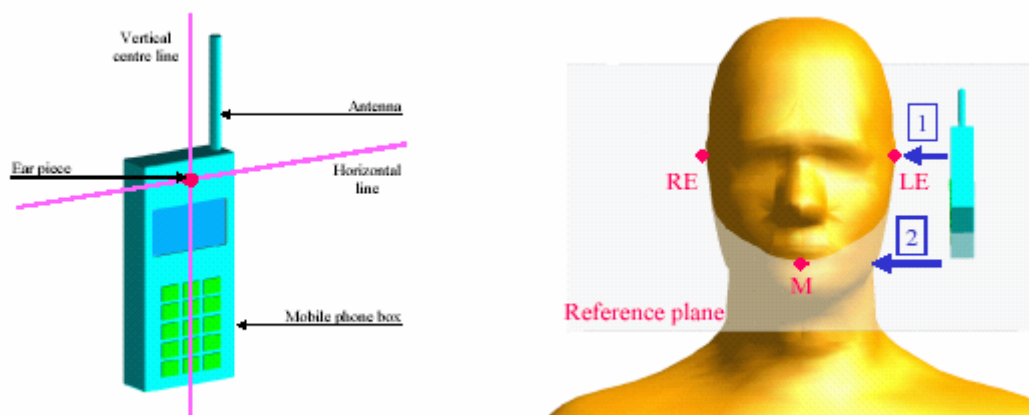
De GSM uplink en downlink banden zijn opgedeeld in kanalen met een breedte van 200 kHz. Per kanaal kunnen acht gebruikers tegelijk bellen door het TDMA protocol, dat betekent dat een gebruiker maar 1/8 van de tijd zendt naar een basisstation. De tijd is ingedeeld in *frames*. Elk *frame* bestaat uit 8 tijdsloten van ieder 0,577 ms, en duurt dus 4,615 ms. Elk *frame* maakt deel uit van een *multiframe* dat bestaat uit 26 *frames*. Elk 26e *frame* wordt er niet gezonden. Deze opdeling leidt tot pulsfrequenties van $1/4,615 \text{ ms} = 217 \text{ Hz}$ en van $1/(26 \cdot 4,615) \text{ ms} = 8,33 \text{ Hz}$, waarmee de draaggolf is gemoduleerd. Hierdoor ontstaan naast de frequentie van de draaggolf zijbandfrequenties. De verschillen tussen de zijbandfrequenties en de draaggolf zijn veelvoud van 217 Hz en van 8,33 Hz [147, 148].

Om de positie in het netwerk vast te stellen, houden GSM-telefoons in de stand-by stand voortdurend contact met een basisstation in de buurt. Ze zenden daartoe met korte pulsen van 1 à 2 seconden met tussenpozen variërend van 20 minuten tot enkele uren. De telefoons zenden dan op het maximale vermogen [25]. Het vermogen dat een mobiele telefoon gebruikt om naar het basisstation te zenden, is maximaal 2 W voor de 900 MHz-band en 1 W voor de 1800 MHz-band [149]. Echter, door het gebruik van de TDMA-techniek zendt een telefoon maar 1/8 van de tijd. Gemiddeld bedraagt het zendvermogen 0,25 W, respectievelijk 0,125 W. Doordat elk 26e frame stil is, moeten deze waarden nog vermenigvuldigd worden met een factor 25/26, zodat het maximale zendvermogen 240 mW, respectievelijk 120 mW blijkt. Echter, een telefoon zendt meestal niet met het maximale vermogen, maar met het vermogen dat nodig is om het netwerk te bereiken. Afhankelijk van de afstand tot het basisstation kan de Automatic Power Control (APC) de verzonden hoeveelheid energie tot een factor 1000 verminderen [34]. Daarnaast gebruiken telefoons de DTX-mode (Discontinuous Transmission), waardoor de telefoon niet zendt als er niet gesproken wordt. De energie van het totaal verzonden spraaksignaal kan daardoor met de helft afnemen, ervan uitgaande dat er slechts één van de twee bellers praat en de ander luistert. Als de DTX-mode gebruikt wordt, wordt de verbinding in stand gehouden door in elk vierde *multiframe*, dus elke 480 ms, het gecomprimeerde achtergrondsignaal te zenden in acht achtereenvolgende pulsen. Hierdoor wordt dus een extra laagfrequente pulsmodulatie van 2 Hz toegevoegd. Uiteindelijk varieert het maximaal gemiddelde zendvermogen tussen 29 tot 240 mW en 14 tot 120 mW voor de 900 MHz-band, respectievelijk de 1800 MHz-band [148]. Echter in geval van GSM-extensies om data mee te verzenden, de zogenaamde 2,5G applicaties zoals GPRS (General Packet Radio Service), HSCD (High Speed Circuit Switched Data) en EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution), verandert de pulsduur en daarmee het gemiddelde vermogen, omdat er dan meer dan éénachtste van de tijd gezonden kan worden [34].

Omdat de telefoon zendt met golflengtes van 33,3 cm (900 MHz) of 16,7 cm (1800 MHz), bevindt het hoofd van de beller zich altijd in het nabije veld. Aangezien voor het nabije veld de referentieniveaus niet van toepassing zijn, moet nu de basisrestrictie, de SAR, gebruikt worden. Zoals in Paragraaf 2.5 al is opgemerkt, kan dit gemodelleerd worden door een computermodel van een hoofd te maken en aan de verschillende weefsels en onderdelen zoals organen, huid, spier, bot etc. diëlektrische constanten toe te kennen. Een voorbeeld hiervan in Nederland is het resultaat van het THERMIC-project dat in 1999 is uitgevoerd door TNO-

FEL in samenwerking met het toenmalig Academisch Ziekenhuis Utrecht (AZU) [150]. Een model van het hoofd is gebaseerd op 3-D MRI-scans waarbij ook de aderen zijn meegenomen. Naast de maximale SAR in het hoofd ten gevolge van radiofrequente velden is ook de temperatuurstijging berekend waarbij de effecten van de bloedsomloop zijn meegenomen. De maximale berekende SAR voor verschillende omstandigheden lag tussen 1,0 en 1,6 W/kg en de maximale temperatuurstijging tussen 0,15 en 0,25 °C. Dat laatste is beneden de waarde van 1 °C waarboven mogelijk op korte termijn gezondheidseffecten kunnen optreden.

Naast berekende waarden worden er ook metingen aan fysische modellen van een menselijk hoofd, zogenaamde fantomen, gedaan. Dit gebeurt voor ieder type mobiele telefoon dat op de Nederlandse markt komt. De SAR varieert met het uitgangsvermogen en het soort antenne dat gebruikt wordt. Figuur 18 geeft een voorbeeld van de meetopstelling.



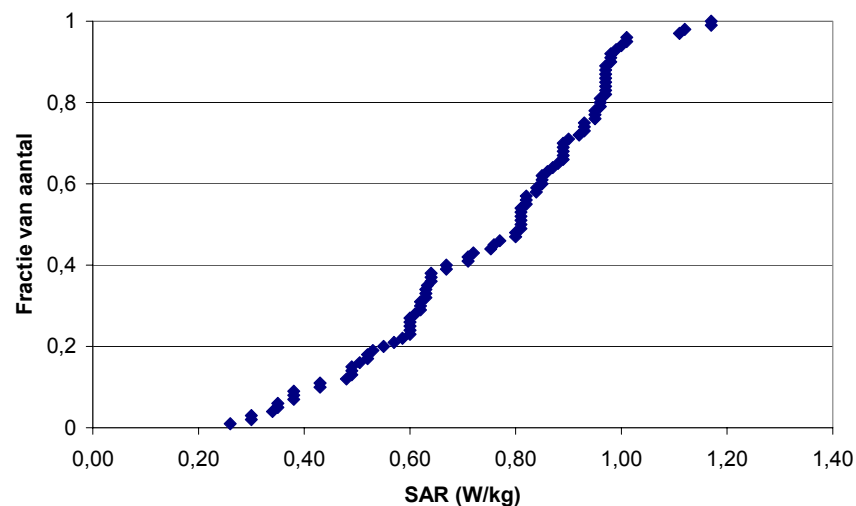
Figuur 18 De positionering van de mobiele telefoon bij het uitvoeren van een SAR meting op een fantoom zoals vastgelegd in de norm (NEN-EN50361 [17]).

Figuur 19 geeft de maximale gemeten SAR in het hoofd voor GSM-toestellen die op hun maximale vermogen werken. De waarden zijn overgenomen uit de opgaven van de diverse fabrikanten voor telefoons die verkrijgbaar waren in Nederland in juli 2003 [151]. De waarden worden opgenomen in de gebruiksaanwijzingen en worden verondersteld te voldoen aan de Europese norm [17]. De hoogst opgegeven waarde was 1,17 W/kg, de mediaan is 0,81 W/kg. De SAR ligt in geen enkel geval boven 2 W/kg, de waarde gesteld in de EU-aanbeveling. De hier opgegeven maximale SARs worden veroorzaakt als de telefoon op maximaal vermogen zendt en als de telefoon aan het hoofd gehouden wordt. In geval van het gebruik van een *headset* wordt de SAR veel lager. Zelfs als een *headset* snoer als antenne gaat werken, dan is het vermogen rond de antenne maximaal 40 mW voor een telefoon die met het maximale vermogen van 2 W aan het zenden is [25]. Dit kan dan ook nog worden teruggebracht door ferriet aan te brengen op het snoer [152]. Gezien het feit dat de maximale SARs van alle bekeken telefoons onder de basisrestrictie van 2 W/kg liggen, is het niet waarschijnlijk dat er zich effecten ten gevolge van opwarming voordoen.

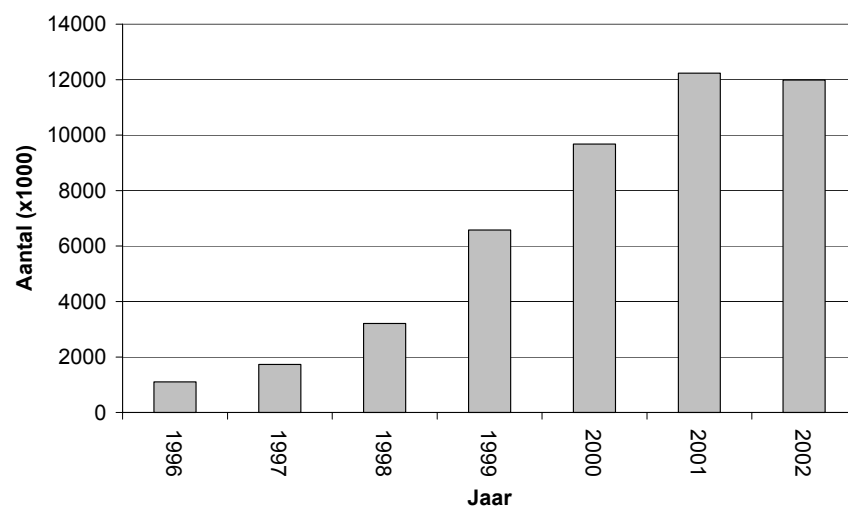
Figuur 20 laat het verloop in de tijd van het aantal GSM-abonnees (*pre-paid* and *post-paid* samengenomen) zien gebaseerd op de jaarverslagen van de providers en gegevens van het CBS [153]. De afgelopen twee jaar lijkt de markt stabiel te blijven op 12 miljoen abonnees. De teruggang in aantal abonnees tussen 2001 en 2002, is te wijten aan het afsluiten van *pre-paid* abonnees die weinig belden [153]. Het gemiddelde aantal minuten per maand per klant in Nederland over 2002 wordt door de grootste mobiele provider, met 5 miljoen gebruikers gesteld op 121 minuten [154]. Dat betekent een toename ten opzichte van de jaren 2000 en

2001: respectievelijk 114 en 118 minuten. Er is wel een groot verschil in gesprekstijd tussen *post-paid* en *pre-paid* abonnees: 47 respectievelijk 260 minuten per maand in 2002. De hoeveelheid gesprekken is niet gegeven.

Volgens Wilén *et al.* [54] verhoogt een gemiddelde beltijd van meer dan 15 minuten per dag, in combinatie met een SAR boven $0,5 \text{ W/kg}^{28}$, de kans op (zij noemen dat subjectieve) gezondheidseffecten, vooral voor duizeligheid. Als de data van de grootste provider representatief worden genomen voor de gehele bevolking, zou volgens het onderzoek van Wilén voor het deel van de bellers die meer dan 450 minuten per maand bellen, verhoogde kans op dergelijke effecten kunnen bestaan. Dit zijn voornamelijk *pre-paid* bellers. Gegevens over aantallen 'veel-bellers' zijn niet bekend.



Figuur 19 De verdeling van de maximale SAR voor GSM-telefoons in Nederland zoals verkrijgbaar in juli 2003 (gebaseerd op de websites van de diverse producenten van telefoons [151]).



Figuur 20 Het verloop over de jaren van het aantal actieve GSM-abonnees (gebaseerd op 1996-1999: jaarverslagen van providers en persoonlijke communicatie, 2000-2002: gegevens van het CBS [153]).

²⁸ Wilén *et al.* gebruiken een SAR gebaseerd op een gemiddelde over 1 g weefsel. De SAR voor telefoons is meestal hoger over 1 g dan over 10 g weefsel. De door Wilén *et al.* gebruikte schatting is hier dus conservatief.

TETRA-portofoons

Binnen een TETRA-netwerk kan tussen portofoons onderling rechtstreeks contact gelegd worden (DMO, naar het Engelse Direct Mode Operation), via een basisstation naar andere portofoons (TMO, naar het Engelse Trunked Mode Operation), of naar een mobiel station in bijvoorbeeld een auto. Het C2000-netwerk zal ongeveer 40.000 portofoons en mobiele stations gaan tellen [155]. De downlink-frequentie is tussen 390 en 395 MHz. TETRA maakt net als GSM gebruik van het TDMA-protocol. Per kanaal van 25 kHz zijn vier tijdsloten beschikbaar. Een gebruiker zendt dus maar een kwart van de tijd. Elk tijdslot beslaat 14,2 ms, een *frame* dus 56,7 ms. Hierdoor ontstaan naast de frequentie van de draaggolf zijbandfrequenties die een veelvoud van $1/56,7 = 17,6$ Hz van de draaggolffrequentie verschillen.

De zendvermogens van een portofoon bedragen maximaal 1 of 3 W. Omdat er vier tijdsloten gebruikt worden, bedraagt het gemiddelde een kwart van deze vermogens. Het vermogen dat een portofoon gebruikt in TMO is maximaal 1 W, en in DMO maximaal 3 W. In DMO wordt het vermogen net als bij GSM-telefoons aangepast aan de afstand tot het basisstation. In TMO daarentegen zendt de portofoon op hetzelfde vermogen [128].

TNO berekende met een computermodel gebaseerd op een MRI-scan de maximale SARs voor een TETRA portofoon die zendt met een vermogen van 1 W. Voor twee mogelijke houdingen tijdens gebruik bedraagt de SAR 0,24 W/kg op 2 cm van de neus, en 0,117 W/kg op 3 cm van het linkeroor. TNO [128] en NRPB [129] redeneren dat de SARs voor GSM-toestellen de bovengrens vormen voor de SAR ten gevolge van TETRA-toestellen omdat bij GSM een hogere frequentie wordt gebruikt, die dus minder diep doordringt, waardoor de energie in een kleiner gebied wordt geabsorbeerd dan bij TETRA.

NRPB [129] publiceerde maximale SARs gemeten op een fantoomhoofd voor een portofoon die zendt met 1 W, en voor een die zendt op 3 W. De maximale SARs voor 1 W zijn 0,89 W/kg aan het linkeroor en 0,24 W/kg voor het gezicht. Voor 3 W zijn de SARs 2,88 W/kg aan het linkeroor en 2,33 W/kg voor het gezicht. Deze waarden zijn hoger dan de door TNO berekende waarden. Voor 3 W zijn de waarden zo hoog dat ze boven de basisrestricties uitkomen voor leden van de algemene bevolking. Echter, ze blijven onder de 10 W/kg die de ICNIRP stelt voor werknemers.

Niet alle producenten van TETRA-toestellen vermelden op hun website de SARs. Uit gegevens gepubliceerd door Nokia blijkt dat de SAR voor een 1 W portofoon typisch rond 0,52 W/kg ligt [156].

TETRA-installaties die zich in een voertuig bevinden, hebben doorgaans een zendvermogen van 3 tot 10 W. Dit vermogen zal voor mensen in het voertuig waarschijnlijk geen overschrijding van de basisrestrictie geven omdat het voertuig het veld afschermt. Voor mensen die zich buiten, dichtbij de antenne bevinden, zou dit niveau kunnen worden overschreden.

Op grond van twee overwegingen kan de gemeten maximale SAR minder zwaar geïnterpreteerd worden. Ten eerste is de SAR gedefinieerd over een tijdsduur van 6 minuten terwijl de gemiddelde gesprekstijd 40 seconden per oproep is. De SAR is in de praktijk dus gemiddeld een negende van de gemeten SAR [129]. Ten tweede worden de portofoons met antenne gedragen aan een riem en wordt er dichtbij het hoofd gebruik gemaakt van spreek- en luistergarnituur, *headsets*, die zelf niet zenden, naar met een snoer aan de portofoon

verbonden zijn [128, 129]. Figuur 21 geeft voorbeelden van een portofoon, een *headset*, en een zendinstallatie in een voertuig.



Figuur 21 Verschillende TETRA communicatie-apparatuur: een portofoon, een headset en een zendinstallatie in een voertuig.

Effecten van pulsmodulatie

Een discussie die nog steeds gaande is en die van tijd tot tijd ook in de media opduikt, is die van mogelijke effecten als gevolg van pulsmodulatie. Er zijn onderzoekers die hun bezorgdheid uitspreken over de invloed op het zenuwstelsel bij kinderen [33], of op hersengolven [71, 72]. Het beïnvloeden van de hersengolven die op een frequentie van 1 tot 60 Hz werken, wordt ook wel afgedaan als onmogelijk [157]. Pulsmodulatie betekent namelijk niet dat er op lage frequenties wordt uitgezonden, maar op zijbandfrequenties van de draaggolffrequentie. Ook zijn er mensen die effecten ervaren zoals vermindering van de alertheid en de gemoedstoestand ten gevolge van pulserende velden. Met betrekking tot het C2000-netwerk is onrust onder de gebruikers ontstaan wegens vermeende effecten [75]. Volgens de reactie op de C2000-website zijn er geen gezondheidseffecten te verwachten. Er wordt verwezen naar het TNO-rapport over de effecten van TETRA-portofoons [128] en naar de situatie in Engeland waar de TETRA-portofoons in gebruik zijn door 10.000 politieagenten zonder dat dat tot gezondheidsklachten leidt [121].

Er zijn publicaties over effecten op de efflux van calciumionen ten gevolge van een 16 Hz modulatie [33, 52]. Deze frequentie ligt in de buurt van de 17,6 Hz puls frequentie voor TETRA. Het Stewart-report [33] geeft een overzicht van onderzoeken en uitkomsten voor verschillende puls frequenties. Repacholi [158] meldt in een overzichtsartikel dat er effecten zijn gemeten op een puls frequentie van 16 Hz op draaggolven variërend in frequentie van 147 tot 450 MHz. Echter, hij meldt ook dat er onderzoeken zijn die dit tegenspreken.

Volgens de Gezondheidsraad is er geen sprake van dat de laagfrequente pulsmodulaties in GSM-signalen van 2 Hz, 8,33 Hz, 217 Hz, en in TETRA-signalen van 17,6 Hz biologisch effectief zijn [25]. De laagfrequente signalen kunnen zich pas manifesteren als er demodulatie van de draaggolf optreedt. Volgens haar is er geen reden om aan te nemen dat biologische systemen hiertoe in staat zijn. De NRPB geeft echter als aanbeveling in een rapport over de mogelijke gezondheidseffecten door TETRA dat er naar dergelijk demodulatiemechanismen onderzoek gedaan dient te worden [129].

5.10 Omroepzenders

In Nederland maken de landelijke en regionale omroepen gebruik van analoge AM- en FM-radiozenders en TV-zenders. Er wordt gewerkt aan de introductie van digitale zenders voor zowel radio (AM en FM) als televisie. Volgens de website van het ministerie van EZ en de nota de Digitale Delta [159] wordt ernaar gestreefd om de analoge zenders op termijn te vervangen door digitale zenders.

AM-zenders zijn doorgaans sterke, rondstralende zenders waarbij de hele mast een antenne is. De hoofdbundel is bij de langegolf en middengolf langs het aardoppervlak gericht en bij de kortegolfzenders schuin omhoog. FM- en TV-zenders staan in masten of omroeptorens, vaak met meer zenders in één mast en hebben een gerichter antennepatroon met een nauw verticaal uitstralingspatroon. De twee belangrijkste beheerders van antenneopstelpunten zijn Nozema [160] en Broadcast Partners [161]. De Nozema-website bevat per opstelpunt ook een foto van de zendtoren en informatie over de uitgezonden frequenties.

AM-zenders

AM-zenders worden gebruikt voor drie frequentiebanden: de langegolf tussen 148,5 en 283,5 kHz, de middengolf tussen 526,5 en 1606,5 kHz en de kortegolf tussen 3,95 en 26,10 MHz.

Vanuit Nederland wordt door de omroep niet op de langegolf uitgezonden. Het grootste kortegolfomroepstation is van de Radio Nederland Wereldomroep en staat in de Flevopolder. Dit antennepark zendt met vier zenders van 500 kW EIRP elk op verschillende frequenties. Door middel van de naar hun uiterlijk genoemde gordijnantennes zenden ze gebundelde straling schuin omhoog om ze via de ionosfeer te laten reflecteren. Ondanks dat de bundels schuin omhoog zijn gericht, is er aan de grond in de nabijheid van de zender een overschrijding van de referentieniveaus mogelijk. Er is dan ook een groot terrein afgezet voor het publiek.

Voor publieke en commerciële omroepen zijn er 15 middengolfzenders in gebruik. Het voordeel van de middengolf ten opzichte van FM is het grote bereik. Met één à twee zenders kan men heel Nederland voorzien. Ook buiten Nederland zijn de Nederlandse middengolf zenders nog te ontvangen, weliswaar met meer kans op storing. Middengolfzenders gebruiken hoge, rondstralende antennes die op de grond staan. De hele mast van typisch 200 m hoog fungeert als antenne. Tabel 3 geeft een overzicht van de locaties en de vermogens²⁹ van de middengolfzenders. Merk op dat door sommige zenders overdag een hoger vermogen wordt uitgezonden dan 's nachts.

TNO berekende veldsterkten voor de middengolfzenders die in 1998 in gebruik waren [162]. De 10 V/m contour liep het verst van de mast voor opstelpunt Lopik: op een afstand van 900 m voor een maximaal EIRP van 3000 kW bij een draaggolf van 747 kHz. Voor voormalig opstelpunt Bloemendaal was dit slechts 20 m bij een EIRP van 1,5 kW en een draaggolf van 1116 kHz. De afstand voor de 1 V/m contour varieert tussen 8 km voor Lopik en 200 m voor Bloemendaal.

²⁹ Het vermogen voor AM-zenders wordt opgegeven als Equivalent Monopole Radiated Power (EMRP). In de tabel zijn de waarden omgerekend naar EIRP door EMRP met drie te vermenigvuldigen.

*Tabel 3 Middengolfzenders (AM) in Nederland.
(bron: Agentschap Telecom, september 2002 [163])*

locatie	frequentie	EIRP (dag)	EIRP(nacht)
	kHz	kW	kW
Zeewolde	747	3300	3300
Zeewolde	1008	1200	900
Lopik	675	360	360
Trintelhaven	1395	300	0
Almere	1224	120	60
Hulsberg	1251	66	66
Hulsberg	891	60	60
Heinenoord	828	60	15
Echt	1035	30	30
Nieuwegein	1332	6	6
Amsterdam	1557	3	3
Den Haag	1485	3	3
Leeuwarden	1602	3	3
Tilburg	1485	3	3
Utrecht	1584	3	3

Uit voorbeelden van berekeningen van Dahme [164] aan kortegolf AM-zenders blijkt de veldsterkte aan de grond 400 V/m op 5 m afstand en 130 V/m op 60 m afstand van de gordijnantenne kan zijn bij een draaggolffrequentie van 21,65 MHz en een vermogen van 275 kW EIRP. Deze veldsterktes zijn ver boven het referentieniveau van 28 V/m.

Bij metingen aan een middengolfzender met een vermogen van 1,8 MW en een draaggolffrequentie van 1,422 MHz werd geconstateerd dat op een afstand van 100 m van de mast de veldsterkte 90 V/m was [164]. Dat betekent dat op deze afstand het referentieniveau van 73,5 V/m nog steeds overschreden wordt.

Cases over AM-zenders

Tijdens een minisymposium over het kortegolfzendstation en volksgezondheid in de gemeente Zeewolde in 1999 [165] bleek dat de lokale bevolking zich zorgen maakt over de gevolgen van de middengolfzender voor de volksgezondheid. Inwoners maken melding van storingen aan apparatuur en vermoeidheid, hoofdpijn en duizeligheid. Inwoners vragen zich ook af of de zender kankerveroorzakend kan zijn. De GGD heeft samen met het toenmalig Meldpunt Gezondheid en Milieu een vragenlijstonderzoek gedaan. Uitkomsten waren dat de vermoeidheid en hoofdpijn verklaard zouden kunnen worden uit het feit dat inwoners van Zeewolde meer kinderen hebben. Nadat de GGD Flevoland hiervoor gecorrigeerd heeft door middel van statistische technieken, blijkt er geen verschil tussen omwonenden die specifieke klachten hebben en omwonenden die geen specifieke klachten hebben [166]. Ook kwam kanker onder Zeewoldenaren niet frequenter voor dan onder de Nederlandse bevolking in het algemeen. De GGD concludeert dat er geen specifieke klachten worden veroorzaakt door de zender. Echter, het aantal ondervraagden is volgens deskundigen te klein, en er is dus niet bepaald dat er geen specifieke klachten ontstaan door de zender.

Een tweede case is de door Nozema beheerde AM-zender nabij de Trintelhaven op de dijk tussen Lelystad en Enkhuizen. Deze zender zendt op een frequentie van 1395 kHz met een EMRP van 100 kW. Er is berekend dat een afstand van 30 m tot de mast voldoende is om onder het referentieniveau te blijven. In de vergunning is een omheining tot op 45 m verplicht

gesteld. Naar aanleiding van klachten van gebruikers van de haven zijn metingen verricht van de veldsterkte door het Agentschap Telecom [167] en TNO-FEL [168]. De klachten waren onder andere het verbranden van de handen aan de stagen van de masten en het doorbranden van diverse apparatuur zoals een GPS. Het Agentschap Telecom heeft maximale veldsterktes gemeten van 48 V/m voor het elektrische veld en 160 mA/m voor het magnetische veld. TNO-FEL heeft een maximaal elektrisch veld met een sterkte van 60 V/m, 69% van het referentieniveau, gemeten en een maximale stroom in de voorstag van 0,3 A. Uit aanvullende metingen van TNO-FEL blijkt dat pas bij 1 A de mast substantieel kan opwarmen. Ook contactstromen kunnen bij de gemeten veldsterkten niet tot schokken leiden. Zelfs als de aanbeveling van de Gezondheidsraad wordt aangehouden van 100 V/m [45] overschrijden de gemeten veldsterktes deze waarde niet. Na onderzoek naar de incidentele klachten over effecten die mogelijk met de AM-zender verband houden, heeft de gemeente Lelystad besloten geen beperkingen op te leggen aan het zendvermogen van de zender. Uit de gemeten veldsterktes bleek dat de referentieniveaus niet worden overschreden.

FM-zenders

De FM-band loopt van 87,6 tot 107,9 MHz. Als gevolg van deze hogere frequenties is, anders dan bij de AM-zenders, het bereik tot de horizon. Om Nederland landelijk te voorzien zijn er minimaal zeven zendstations nodig [160]. De velden van FM-radiozenders zijn verticaal gepolariseerd. FM-zenders staan opgesteld in omroeptorens en op masten.

Het Zerobase-project dat onlangs is afgerond, beoogde een herindeling van de FM-frequenties [169]. Daarnaast worden er 12 frequenties op de middengolf opnieuw verdeeld. Zerobase is officieel vanaf 1 juni 2003 in werking. Door de FM-band opnieuw in te delen is er ruimte voor 2 nieuwe commerciële omroepen. Het Zerobase-project betekent dat in geheel Nederland alle landelijk commerciële omroepen een nieuwe frequentie hebben. Er zijn 293 FM-frequenties beschikbaar, voor elke frequentie is een zender, antenne en opstelruimte nodig. De 293 frequenties worden verzorgd door 58 publieke omroepen, 151 landelijk commerciële omroepen, 80 niet-landelijke commerciële omroepen en 4 omroepen voor minderheden. Zoveel nieuwe frequenties zouden nooit op de bestaande masten passen. Daarom wordt er een multipattern-systeem gebruikt, waarbij één antennesysteem tot 9 verschillende frequenties met een ander uitzenddiagram uitzendt [170].

Ten tijde van het opstellen van dit rapport waren de gegevens over FM-zenders van na de Zerobase nog niet in het Antenneregister opgenomen. Een indicatie van het totale aantal zenders en gebruikte vermogens is gebaseerd op data van de toenmalige RDR uit februari 2000: er waren toen 555 zenders waarvan 75% een vermogen kleiner dan 1 kW ERP, 84% kleiner dan 5 kW. De sterkste zender was 200 kW in Hilversum. Begin 2003 vóór de Zerobase waren er 690 FM-zenders, en stond de sterkste zender in Hilversum met een vermogen van 530 kW. 41% van de zenders had een effectieve opstelhoogte tussen de 35 en 40 m.

Analoge televisie

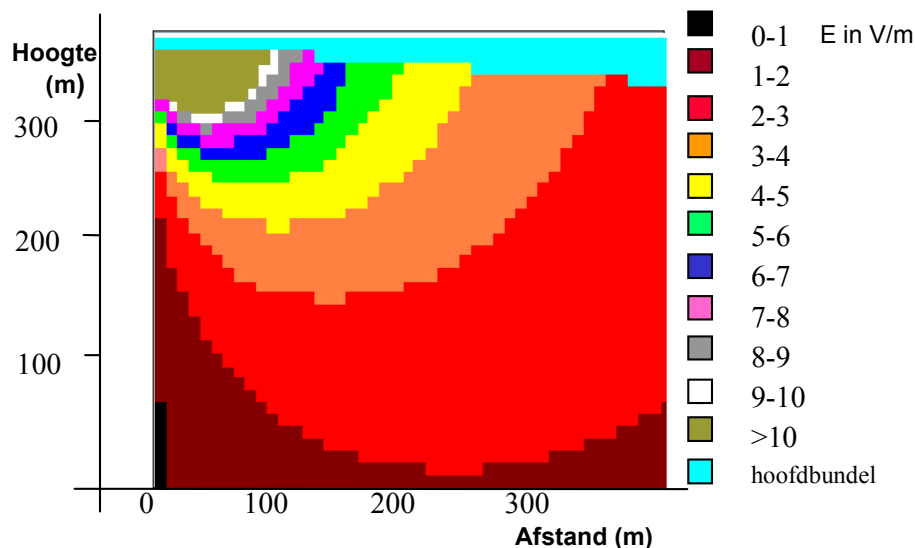
Analoge televisiezenders hebben een apart kanaal voor beeld en teletekst (AM) en een apart kanaal voor geluid (FM). Op de website van het Agentschap Telecom kan men voor iedere TV-zender de frequentie, de locatie en het vermogen opzoeken [171]. Er zijn 311 TV-zenders. De 72 analoge bevinden zich op 32 unieke opstelpunten. TV-zenders zenden op kanaal 4 van 61-68 MHz, kanalen 5-7 van 181-195 MHz en kanalen 21-67 van 181-846 MHz. De TV-programma's worden ook verspreid per satelliet door de commerciële omroepen en per kabel. De vermogens variëren van 0,1 tot 1000 kW ERP. Er zenden 28 zenders met minder dan

1 kW en 53 zenders met 100 kW of minder. Er zijn vijf zenders die met 1000 kW zenden. De signalen van de Nederlandse televisiezenders zijn horizontaal gepolariseerd.

Berekeningen rond analoge FM- en TV- zenders

FM-zenders zenden allemaal met ongeveer hetzelfde vermogen. Er zijn opstelpunten waar deze zenders samen in één mast of toren hangen, zoals bij Lopik. De voormalige RDR heeft in 2000 berekeningen gedaan om de veldsterkte rond opstelpunten van FM- en TV-zenders te schatten aan de hand van semi-empirische propagatiemodellen [172]. Hierbij is tot een afstand van 1 km van de mast het zogenaamde twee stralenmodel aangehouden en verder van de mast het Egli model. Het twee stralenmodel is hetzelfde als het tot nog toe aangenomen berekening voor de veldsterkte in het vrije verre veld van een isotrope straler, gecorrigeerd door er vanuit te gaan dat naast de direct uitgezonden veldsterkte ook eenzelfde hoeveelheid aankomt door grondreflectie. Het Egli model [173] is een empirisch model, afhankelijk van frequentie, zend- en ontvangsthoopte, afstand tot de bron en vermogen. Dit model is, hoewel gebaseerd op metingen in de VS over verschillende terreinsoorten, onafhankelijk van terreineigenschappen.

Figuur 22 laat een schets zien voor een TV-zender met een vermogen van 2 MW ERP en een zwaartepunt van de antenne op 360 m hoogte dat door het nauwe verticale antennepatroon, dichtbij de mast 1 en 2 V/m lager is dan iets verder op ongeveer 300 m afstand met een veldsterkte van ongeveer 2 V/m [174]. Voor heel Nederland zijn berekeningen op een hoogte van 3 m boven de grond uitgevoerd van de elektrische veldsterkte veroorzaakt door TV- en FM-zenders [172]. Hieruit blijkt dat de veldsterkte alleen dichtbij de zendingen, op zo'n 300 m afstand, 10% van het referentieniveau kan overschrijden.



Figuur 22 Schets van de veldsterkte in de omgeving van een TV-zender met een vermogen van 2 MW ERP en een zwaartepunt op 360 m (Leonhard, 2000 [174]).

Digitale radiozenders

Er zijn twee soorten digitale radiozenders die gebruik maken van de huidige analoge frequenties. De digitale AM wordt ook wel Digital Radio Mondiale (DRM) genoemd. DRM heeft de volgende voordelen boven AM: een beter, minder verstoord, geluid net zoals FM en de mogelijkheid om datasignalen mee te zenden. DRM is op het moment in een experimenteel stadium [175]. DRM kan door kleine aanpassingen door bestaande AM worden uitgezonden. Op het moment is nog niet bekend met welke vermogens zal worden uitgezonden.

De andere soort digitale radio is Terrestrial Digital Audio Broadcasting (T-DAB), een in Europees verband ontwikkelde opvolger voor de analoge FM. Via één frequentiekanaal worden tegelijkertijd meerdere programma's verspreid. Ook programmagerelateerde en andere datadiensten kunnen worden aangeboden. Voor een goede geluidskwaliteit en compressie passen er zes programma's op één DAB zender. T-DAB zendt uit op 174-230 MHz, dezelfde ruimte als de TV. Er passen vier DAB zenders in een TV-kanaal. Na uitvoering van de Zerobase kan ook op 227,36 MHz worden uitgezonden. In Nederland wordt niet permanent uitgezonden, al is de techniek al sinds 1993 voorhanden. De overheid onderzoekt nog wel om te gaan uitzenden op 1,4 GHz, de zogenaamde L-band, voor regionale en lokale omroepen. Ze vermoedt hiervoor 350 tot 400 zenders van 100 W nodig te hebben om heel Nederland te kunnen bedekken [176].

Digitale televisie

De overheid streeft ernaar om analoge zenders te vervangen voor digitale [159]. In Nederland wordt de Europese standaard Digital Video Broadcasting Terrestrial (DVB-T) gebruikt. Op dit moment bereidt een onafhankelijke commissie (de commissie Switch-Off) een advies voor met betrekking tot het afschakelen van de analoge etherfrequenties. In 2005 zal in Genève een internationale conferentie worden belegd waarin de huidige afspraken over de frequenties ten behoeve van analoge televisie (gemaakt op de zogenaamde Stockholm '61 conferentie) zullen worden herzien. De vrijgekomen etherruimte zal dan voor digitale televisie en radio gebruikt gaan worden.

Er zijn 239 digitale zenders, waarvan er een aantal in gebruik en een aantal in testfase zijn. De vermogens van deze zenders zijn geringer dan van de analoge TV-zenders en variëren tussen 0,1 en 20 kW ERP, 65% van de zenders heeft een vermogen van 10 kW [171]. De digitale zenders maken van dezelfde frequentieruimtes gebruik als de analoge; ze zenden op kanalen 21: 474 MHz, 23: 490 MHz, 34: 578 MHz, 52: 722 MHz en 64: 818 MHz. Er zijn twee vergunninghouders voor digitale televisie in Nederland: de NOS voor de publieke omroepen en Digitenne [177] voor zowel commerciële als publieke omroepen. Het consortium Digitenne wordt gevormd door KPN Telecom, Nozema, NOB, Publieke Omroep, HMG, SBS, Canal+ en Kindernet.

Buitenland

Volgens een epidemiologische overzichtsstudie uit 2001 [178] door de stad San Francisco is er geen reden om aan te nemen dat wonen in de buurt van omroepstorens leidt tot een verhoogd risico op kanker. De vermeende negatieve gevolgen zijn of niet consistent over de bestudeerde bevolkingsgroep, of niet consistent over een tijdsinterval. Zo zijn er onderzoeken uitgevoerd in het Verenigd Koninkrijk waaruit blijkt dat de verhoging op de kans op leukemie binnen een straal van 10 km afneemt naarmate men verder van de zendmast verwijderd is [179]. Het verband is echter zeer zwak, en voor de huizen vlakbij de mast is helemaal geen verhoogde kans waargenomen.

Conclusies

FM- en TV-zenders vertonen op voor het publiek toegankelijke plaatsen op leefniveau veldsterktes die onder de referentieniveaus blijven. Uit ruwe berekeningen blijkt dat de veldsterkte meer dan een factor 10 onder het referentieniveau blijft. Een worst case rekenvoorbeeld komt tot 2,5 V/m. Op het moment zijn er gegevens over de locaties en frequenties van FM-zenders te vinden op de Nozema-website. Voor TV-zenders zijn de locaties, frequenties en vermogens te vinden op de website van het Agentschap Telecom. De gegevens zoals uitstralingspatroon en maximale vermogens van FM-zenders zijn nu niet beschikbaar, maar wel nodig om exacte berekeningen over de veldsterktes aan de grond te doen.

AM-zenders kunnen op voor het publiek toegankelijke plaatsen op leefhoogte veldsterktes nabij het referentieniveau halen, zoals bijvoorbeeld in Trintelhaven waar 69% van het referentieniveau werd gemeten. Regelmatige metingen rond vooral middengolfzenders van het elektrische en magnetische veld voor gebieden toegankelijk voor de bevolking worden niet gepubliceerd. Het gebrek aan informatie en de berichten in de media leiden tot onrust over AM-zenders bij de bevolking.

Het referentieniveau voor het elektrisch veld is wellicht niet de beste maat om de veiligheid vast te stellen van een zender. De maximale waarde voor het elektrisch veld kan onder het referentieniveau blijven, maar bij een AM-zender is dat wellicht niet de goede waarde om naar te kijken. In een overgangsgebied van effecten moet het meest limiterende referentieniveau gekozen worden. Gezien de aard van de incidentele verwondingen, zoals verbranden van de handen bij het aanraken van metalen delen als stagen, zou het beter zijn naar de contactstroom te kijken.

De huidige referentieniveaus zijn niet strikt geldig voor het nabije veld, en de basisrestrictie zou moeten worden gebruikt. Bij de golflengtes van AM-zenders ligt de golflengte voor 1 MHz op 300 meter en kan men zich dus bij de huidige terreinafzettingen in het nabije veld bevinden. Het is dan nodig om met een volledig dynamisch (reken)model de SAR te bepalen.

Het Ministerie van Economische Zaken zegt in de toekomst te streven naar enkel nog digitale televisiezenders en stimuleert ook digitale radiozenders. Over het algemeen maken deze digitale zenders gebruik van dezelfde frequentiebanden als de analoge, maar met lagere zendvermogens. De verwachting is dus dat het maximale elektrische veld dat een lid van de bevolking kan ervaren, zal afnemen.

Er zijn op het moment niet van alle zenders metingen van de heersende veldsterkte openbaar. Bedrijven als Nozema die wel metingen verrichten, maken deze niet openbaar. Daarnaast

meten zenderexploitanten en ook het Agentschap Telecom vooral of de grenzen van het verzorgingsgebied van een zender worden gerespecteerd. De veldsterktes aan de grenzen zijn in de orde van mV/m.

5.11 Conclusies en hiaten in de kennis

Deze paragraaf geeft een algemeen beeld van de conclusies en hiaten voor de brongroep communicatie-apparatuur. De onderwerpsparagrafen geven de conclusies voor specifieke bronnen.

Er bestaan geen openbare overzichten van radiofrequente communicatie-apparatuur met betrekking tot hun aantal, locaties en zendeigenschappen zoals ERP en antennediagram. Op het moment is er alleen een overzicht voor GSM-basisstations en hun eigenschappen opgenomen in het Nationaal Antenneregister. Door het ontbreken van deze gegevens zijn wellicht per type bron de zendeigenschappen bekend, maar de cumulatieve veldsterkte veroorzaakt door meerdere bronnen kan niet berekend worden. Ook zijn de metingen aan radiofrequente velden over het algemeen niet openbaar.

Bronnen die op normaal toegankelijke plaatsen tot overschrijding van de referentieniveaus kunnen leiden zijn bijvoorbeeld AM-middengolfzenders. De milieuvergunning vereist dat de omgeving van een zendinrichting is afgezet, zodat de radiofrequente velden niet tot overschrijding van de basisrestrictie kunnen komen. Echter, bij opstelpunt Trintelhaven zijn diverse klachten binnengekomen over effecten mogelijk veroorzaakt door contactstromen.

Voor zendamateurs zijn maximale uitgangsvermogens aan de zender gegeven. Het meest gebruikte vermogen is echter onbekend evenals de zendduur en de meest voorkomende *gain* van de zelfgebouwde antennes. Daar zendamateurs vanuit hun woonhuis in dichtbevolkte gebieden kunnen zenden, en daardoor veel mensen bloot kunnen stellen, is het van belang te weten hoe hoog de veldsterkte is en wat de invloed op de cumulatieve veldsterkte is.

Voor een aantal nieuwere bronnen is nog niet duidelijk of effecten ten gevolge van opwarming de enige zijn. De gepulste signalen, onder andere uitgezonden door applicaties als GSM die het TDMA-protocol toepassen, leiden tot aspecifieke klachten zoals slapeloosheid en vermindering van de alertheid. Ook zijn er elkaar tegensprekende onderzoeken die wijzen in verandering van de efflux van calciumionen. Ook andere nieuwe bronnen zoals de UMTS-basisstations veroorzaken mogelijk effecten. In het COFAM-onderzoek van TNO zijn recent statistisch significant effecten op het welbevinden gevonden. De bevindingen zijn nog niet door een andere instantie bevestigd.

Over andere nieuwe snelverspreidende draadloze communicatie-apparatuur zoals WiFi zijn geen effecten gerapporteerd. Deze applicaties zenden in een vergunningsvrije band met een laag vermogen, maar kunnen dicht op het lichaam worden toegepast.

De belangrijkste bronnen van onrust bij de bevolking zijn GSM-basisstations, AM-zenders en de opkomst van de UMTS en andere draadloze toepassingen.

6 Huishoudelijke apparatuur en gebruiksartikelen

6.1 Inleiding

Huishoudelijke apparatuur werkt doorgaans op batterijen of op het lichtnet. Apparatuur die niet bedoeld is om mee te zenden, zoals elektrische scheerapparaten, boormachines, beeldschermen, inductiekookplaten, zal voornamelijk strooivelden³⁰ veroorzaken met frequenties rond 50 Hz. Uitzondering is de magnetron, waarvan de werking berust op opwarming door microgolven. Naast 50 Hz wekt de apparatuur ook hogere (harmonische) frequenties op. Zelfs apparatuur die niet bedoeld is om te zenden, kan mogelijk, vanwege de kleine gebruiksafstand tot het lichaam, onbedoeld velden met een sterkte boven de referentieniveaus genereren. Een voorbeeld van een apparaat op een kleine gebruiksafstand is een scheerapparaat dat zelfs contact maakt met het hoofd. Aangezien het gaat om laagfrequente bronnen op korte afstand is de basisrestrictie de stroomdichtheid en gebruikt men doorgaans als referentieniveau de veldsterkte van het magnetische veld dat de stroom opwekt.

Apparatuur die bedoeld is om te zenden, kan op hoge en op lage frequenties opereren, zoals draadloze huistelefoons, Bluetooth en WiFi-zenders. Afstandbedieningen op infrarood werken op frequenties hoger dan 300 GHz en vallen dus buiten het bereik van dit rapport over radiofrequente bronnen. Paragraaf 5.5 behandelt Bluetooth en WiFi-zenders, die ook in huishoudelijke apparatuur gebruikt worden.

Dit hoofdstuk beperkt zich tot de meest in het oog lopende bronnen van radiofrequente velden. Voor een overzicht van metingen van radiofrequente velden aan diverse huishoudelijke apparatuur wordt verwezen naar een overzichtsrapport van het Bundesamt für Strahlenschutz uit 1997 [180]. Opgemerkt dient verder te worden dat elektrische apparatuur dient te zijn voorzien van het CE-keurmerk wanneer zij op de Europese markt gebracht wordt. Dit keurmerk houdt in dat de apparatuur voldoet aan de toepasselijke Europese richtlijnen, zoals de Low Voltage Directive en de R&TTE Directive, en dat onder normale omstandigheden de basisrestricties niet worden overschreden (zie Paragraaf 4.2.4).

6.2 Apparatuur die strooivelden opwekt

Beeldschermen

Om een afbeelding te maken op een conventioneel CRT-beeldscherm wordt het voortdurend lijntje voor lijntje opgebouwd. Dit gebeurt door een elektronenstraal horizontaal te laten bewegen door een wisselend magnetisch veld. Het veld gedraagt zich volgens een zaagtandsignaal dat de horizontale lijn over het scherm ververst met een frequentie van 15 tot 35 kHz of voor hoge-resolutieschermen met enkele kilohertz meer [181, 182]. Door de zaagtandvorm zijn ook de hogere harmonische frequenties aanwezig in het signaal, dat daardoor bestaat uit frequentiecomponenten van 15 tot zeker 155 kHz. De fundamentele en de harmonische frequenties bij elkaar bevatten ongeveer 95% van de opgewekte elektromagnetische energie. Uit een overzichtsstudie blijkt dat de gemeten magnetische veldsterktes op een gebruiksafstand van 30 cm liggen tussen 0,26 en 170 mA/m met gemiddelde waarden van 20 tot 85 mA/m [181]. De gerapporteerde waarden zijn lager dan het

³⁰ Met de term ‘strooivelden’ wordt bedoeld dat er onbedoeld velden worden opgewekt en verspreid door bepaalde apparatuur die niet als doel heeft te zenden.

referentieniveau van 5 A/m dat voor deze frequenties geldt. Te verwachten is dat door de opkomst van de platte TFT-schermen die met LCD-techniek werken, de magnetische veldsterkte verder zal afnemen.

Inductiekookplaten

Inductiekookplaten maken gebruik van frequenties tussen 20 en 50 kHz en vermogens van enkele kilowatts [182]. De inductiekookplaat warmt voedsel op door eerst energie toe te voeren aan een inductieve spoel die vervolgens magnetische velden opwekt, die weer leiden tot kringstromen³¹ in de pan. Deze kringstromen wekken ten slotte weer warmte op. Uit diverse berekeningen blijkt dat de basisrestrictie voor de hele lichaamsSAR niet wordt overschreden [182]. Uit metingen aan twee types kookplaten op 30 cm werden elektrische veldsterktes gemeten van 4,3 tot 4,9 V/m en magnetische veldsterktes van 0,7 tot 1,6 A/m [181]. Er zijn ook kookplaten waar de plaat zich uitschakelt als er geen pan op staat. Bovendien geldt dat als een pan met eenzelfde diameter als die van de plaat wordt gebruikt, er een optimale koppeling ontstaat waardoor er vrijwel geen strooiveld is [183].

Boormachines, haardrogers en scheerapparaten

Uit metingen door Tofani *et al.* [184] aan diverse veelgebruikte huishoudelijke apparatuur waarin zich een motor bevindt, blijkt dat er naast de 50 Hz component van het lichtnet ook hogere (harmonische) frequenties uitgezonden worden. Voor de meeste gemeten apparaten bleken de frequenties tussen 0 en 2 kHz te liggen, met enkele uitschieters tot 100 kHz. De component met de meeste energie is ook niet altijd de 50 Hz component. Zo is de magnetische veldsterkte voor twee van de gemeten scheerapparaten bij 100 en 130 Hz het hoogst. Tofani *et al.* vonden veldsterktes tussen 5 en 300 A/m op de typische gebruiksafstand van 0 cm (contact) van scheerapparaten en tussen 3 en 10 A/m op 3 cm van haardrogers en 15 cm van boormachines. Aangetekend moet worden dat uit de publicatie niet volledig duidelijk is hoe de velden van de verschillende componenten worden opgeteld. Wel vermelden ze uit berekeningen dat de harmonische frequenties bij elkaar meer bijdragen aan de stroomdichtheid in het hoofd dan de draagfrequentie. Voor frequenties van 100 Hz betekent dat voor scheerapparaten een overschrijding van het referentieniveau van 40 A/m. Onderzoek door Kaune *et al.* [185] bevestigt dat de geometrische gemiddeldes over metingen aan haardrogers het hoogste zijn in de groep 54-606 Hz, maar dat deze haardrogers de referentieniveaus niet overschrijden.

6.3 Apparatuur die radiofrequente velden gebruikt

Draadloze huistelefoons

Draadloze telefoons maken contact met een basiscentrale die weer in contact staat met het vaste telefoonnet. De oudere types van de CT0-standaard zenden met een analoog en continu signaal. De frequentieband van deze oudere types loopt van 31 tot 40 MHz en het piekvermogen is 10 mW [25].

De Digital Enhanced Cordless Telecommunication (DECT) techniek heeft vele toepassingen zoals meer telefoons per centrale en babyfoons. Het totale aantal DECT-telefoons in Nederland is onbekend. Er worden wel SAR-metingen verricht door Europese laboratoria

³¹ Dit soort inductieve kringstromen worden doorgaans benoemd met hun Engelse term: *Eddy currents*.

[186], maar in tegenstelling tot de SARs van GSM-toestellen publiceren niet alle fabrikanten deze waarden op internet. De Gezondheidsraad [25] zegt over DECT-telefoons dat ze doorgaans werken in een frequentieband van 1880 tot 1900 MHz op 10 kanalen met een bandbreedte van 1,728 MHz. Ze gebruiken doorgaans een TDMA systeem met *frames* van 10 ms, die weer onderverdeeld zijn in 24 tijdsloten waarvan de helft gebruikt wordt voor *uplink* en de andere helft voor *downlink* verbindingen. Het maximale vermogen is 250 mW. Omdat per toestel één tijdslot wordt gebruikt, bedraagt effectieve vermogen $250/24 = 10,4$ mW. Het Bundesamt für Strahlenschutz [187] zegt op zijn website dat dat kan leiden tot een SAR van 0,1 W/kg, dus lager dan de basisrestrictie van 2 W/kg.

Magnetrons

Magnetrons werken op een vergunningsvrije frequentie van 2,45 GHz met een vermogen tussen 100 en 1300 W. Magnetrons zenden microgolven uit die in verhouding tot warmtestraling dieper doordringen tot in het voedsel voordat ze geabsorbeerd worden. Hierdoor warmt eten sneller op dan door normale verwarming.

Om te zorgen dat de gebruiker niet aan de microgolven van een magnetron wordt blootgesteld, is de kookkamer van metaal en is het doorzichtige raampje voorzien van een metalen gaas met mazen vele malen kleiner dan de uitgezonden golflengte van ongeveer 12 cm. Op deze manier zit de radiofrequente energie opgesloten in een kooi van Faraday, die er bovendien voor zorgt dat alle uitgestraalde energie door meervoudige weerkaatsing uiteindelijk door het voedsel wordt geabsorbeerd. Echter, door onvolkomenheden in de kooi, zoals een slecht sluitend deurtje, ontstaat er lekstraling. Metingen aan een magnetron in werking op een afstand van 30 cm gaven een gemiddelde vermogensdichtheid van $0,03 \text{ W/m}^2$ [188], dat is onder het referentieniveau van 10 W/m^2 .

6.4 Conclusies en hiaten

Voor de meeste hier beschouwde bronnen wordt op de normale gebruiksafstand voor die bron het referentieniveau niet overschreden. Mogelijk vormen scheerapparaten een uitzondering. Echter, elk apparaat, zelfs als het niet bedoeld is om te zenden, zendt toch stroostraling uit. Deze stroostraling is meestal verdeeld over de hogere harmonische frequenties.

Om er zeker van te zijn dat referentieniveaus bij normaal gebruik niet overschreden kunnen worden, is het nodig de veldsterktes van alle frequentiecomponenten te kennen. Dit geldt vooral voor producten die zeer dicht op het lichaam gebruikt worden, zoals scheerapparaten. Deze informatie is echter niet voorhanden. Wel bezitten alle elektrische apparaten die in de Europese Unie op de markt gebracht worden het CE-keurmerk. Dit houdt in dat onder normale omstandigheden de basisrestricties niet worden overschreden. Het CE keurmerk is echter de verantwoordelijkheid van de fabrikant en het betekent niet dat er ook metingen zijn verricht. Omdat per product de maximaal opgewekte veldsterkte doorgaans niet vermeld wordt en er weinig recente metingen beschikbaar zijn, is niet voor alle elektrische huishoudelijke apparaten met zekerheid vast te stellen dat deze geen veldsterktes opwekken die de referentieniveaus overschrijden.

7 Detectie-apparatuur

7.1 Inleiding

Detectie-apparatuur wordt behandeld in twee hoofdcategorieën: de eerste categorie is de groep van radar (RAdiofrequent Detection And Ranging) toepassingen zoals luchtverkeers-radar, scheepvaartradar en weerradar. De toepassing snelheidsradar wordt uitgebreid behandeld. Vrijwel alle bestuurders worden daar namelijk onvrijwillig aan blootgesteld. De tweede categorie bestaat uit toepassingen voor het waarnemen en identificeren van gelabelde goederen zoals anti-diefstalpoortjes en tolpoortjes op de autowegen. Deze laatste categorie kent enkele nieuwe toepassingen.

7.2 Radartoepassingen

Algemene inleiding

Radar is een systeem voor de detectie, plaatsbepaling en snelheid van objecten. Dit gebeurt door het uitzenden van radiofrequente energie, meestal in een gepulste golfvorm, en het ontvangen en verwerken van het aan het object teruggekaatste ‘echo’ signaal. De antennehoek is een maat voor de richting van het object en het tijdsinterval tussen uitzenden en ontvangen van de puls een maat voor de afstand. De snelheid van een bewegend object kan bepaald worden uit de Dopplerverschuiving. De Dopplerverschuiving is een verschuiving in de frequentie van het originele signaal ten gevolge van weerkaatsing aan een bewegend object.

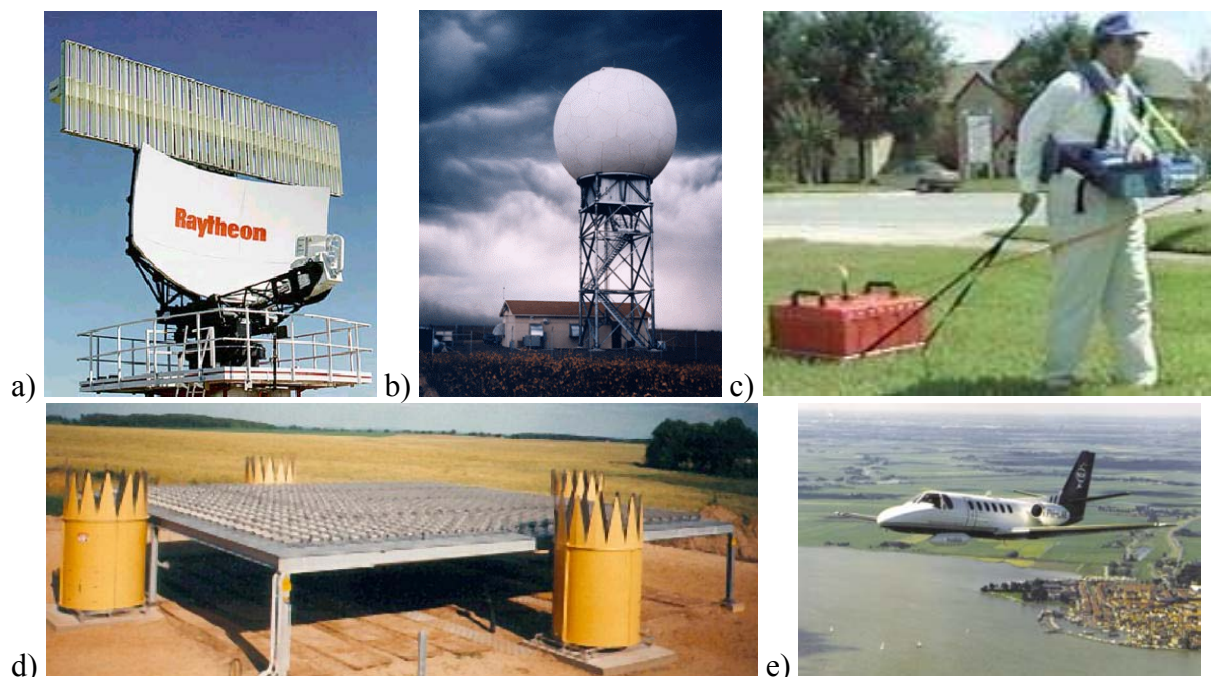
Er zijn verschillende types radars. De meeste radars zenden in pulsen, maar er zijn ook uitzonderingen die continue signalen sturen, zoals de Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW). Er zijn vaste radars die op een bepaalde positie een gericht signaal uitzenden, zoals snelheidsradars, phased array radars die bestaan uit een veld van kleine zendelementjes die elektronisch de totale bundel van richting kunnen veranderen en roterende radars die rondom uitzenden. In sommige gevallen is het niet wenselijk dat een radarbundel in een cirkel uitzendt, bijvoorbeeld als aan de kust alleen zeewaarts waargenomen hoeft te worden. In dat geval zendt de radar geen pulsen wanneer hij landinwaarts gericht is, of is er een afscherming voor de bundel aangebracht. Zo’n afscherming wordt ook wel *sector blocking* genoemd.

Roterende radars draaien over het algemeen een paar keer per minuut rond en zenden in een smalle bundel. Buiten de hoofdbundel neemt de veldsterkte snel af. Sommige radars bewegen zowel in het horizontale vlak als in het verticale. De *duty factor* drukt de fractie van de totale tijd uit dat de bundel eenzelfde object ‘belicht’. De totale *duty factor* is het product van de puls *duty factor* (pulsduur gedeeld door interval) en de rotatie *duty factor* (bundelbreedte gedeeld door 360 graden). Deze *duty factor* vermenigvuldigt met het piekvermogen geeft het gemiddeld uitgezonden vermogen in alle richtingen. Er gelden verschillende basisrestricties voor het gepulste piekvermogen en het gemiddeld vermogen. In de EU-aanbeveling staat dat de vermogensdichtheid gemiddeld over de pulsbreedte niet meer mag bedragen dan 1000 maal de referentieniveaus of de veldsterktes niet groter dan 32 maal de referentieniveaus van de velden.

Typische waarden voor de vermogensdichtheid in de hoofdbundel van een radar zijn voor vaste radars tussen 100 en 1000 W/m². Dat betekent dat op enkele honderden meters het referentieniveau in de hoofdbundel overschreden kan worden. Bij roterende radars bevindt

men zich meestal buiten de hoofdbundel en is de gemiddelde vermogensdichtheid zelden hoger dan 1 W/m^2 . Het piekvermogen is typisch 100 tot 10000 maal hoger dan het gemiddelde. Bij gepulste radars variëren de pulsbreedtes tussen 0,1 tot 100 μs [189].

Radar kent vele toepassingen in Nederland. Het wordt onder andere gebruikt in de scheepvaart, in de luchtvaart, bij defensie, voor weersvoorspelling en voor wetshandhaving. Figuur 23 toont radars voor verschillende toepassingen. Het frequentiegebied waarin de meeste radarsystemen opereren, loopt van 220 MHz tot 35 GHz. Aangezien er geen totaaloverzicht van radartoepassingen voorhanden is dat tenminste hun aantal, locatie, frequentie, zendprotocol, veldsterkte, bundelbreedte en *duty cycle* weergeeft, beperkt dit rapport zich tot een algemenere weergave van de veelvoorkomende radartypes. De data zijn gebaseerd op een nog incomplete database opgebouwd door het RIVM in 2000, uit ondermeer rechtstreekse contacten met beheerders. Gegevens over defensieradartoepassingen zijn niet voorhanden en doorgaans ook niet openbaar.



Figuur 23 Diverse soorten radar: a) Scanning radar, b) Weerradar, c) Grond Penetrating Radar (GPR), d) Windprofiler en e) een vliegtuig met remote sensing APAR radar.

Neerslagradar

Het KNMI heeft twee neerslagradarinstallaties, één in De Bilt en één in Den Helder. Een derde weerradar wordt beheerd door de Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL) en staat in Herwijnen. Neerslagradar wordt gebruikt om de locatie en de intensiteit van neerslag te kunnen bepalen. De neerslagradars maken drie tot zes omwentelingen per minuut en zenden met een frequentie van ongeveer 5,7 GHz. Het piekvermogen bedraagt 250 à 300 kW. Het gemiddeld vermogen is 200 à 300 W. Uit een modellering door het RIVM van weerradar De Bilt blijkt dat op 2 m hoogte op 1000 m afstand een niet homogeen veld met maxima tot 80 V/m voorkomt. Dit is boven het referentieniveau van 61 V/m.

Windprofiler

Een windprofiler is een radar waarmee de windsnelheid en als afgeleide de temperatuur in de onderste lagen van de atmosfeer kan worden gemeten. De enige windprofiler in Nederland staat 300 m ten zuiden van de meetmast van het KNMI te Cabauw. Het systeem zendt met een frequentie van 1,3 GHz [190]. De antenne van een windprofiler is recht omhoog gericht en zendt onder kleine hoeken (niet meer dan ongeveer twintig graden) met de verticale richting. Naar verwachting ligt de blootstelling van de bevolking daarom beneden het referentieniveau.

Navigatieradar voor scheepvaart

Navigatieradars zijn te vinden op zowel de pleziervaartuigen als op schepen voor de (beroepsmatige) zee- en binnenvaart. De meeste systemen werken op een frequentie van rond de 9 GHz, en ook de frequentie van 2920 tot 3622 MHz wordt gebruikt door de pleziervaart.

Volgens het WHO-informatieblad nr. 226 [191] kunnen piekvermogens voorkomen tot 30 kW en liggen de gemiddelde vermogens tussen de 1 en 25 W. Hierbij is de antenneversterking niet meegenomen. De vermogensdichtheid blijft vaak onder de 10 W/m² en daarmee onder de referentieniveaus.

Verkeersbegeleiding van de scheepvaart

In Nederland zijn enige tientallen radarsystemen in gebruik voor de begeleiding van het scheepvaartverkeer door de vaarwegen in het binnenland en op zee. De verkeers-begeleidende systemen waar deze walradars deel van uit maken, worden beheerd door Rijkswaterstaat. De walradars maken ongeveer 20 omwentelingen per minuut en zenden met een frequentie van rond de 9 GHz. De piekvermogens variëren van 1,5 tot 40 kW en de gemiddelde vermogens van 0,18 tot 16 W.

Luchtverkeersleiding

Voor de begeleiding van het civiele luchtverkeer boven Nederland zijn diverse radarsystemen in gebruik, verspreid over het hele land. De LVNL heeft gegevens van elf systemen aangeleverd, waaronder een radar (type Airport Surface Detection Equipment, kortweg ASDE) voor de begeleiding van het grondverkeer op schiphol en tien systemen voor de begeleiding van opstijgende en landende vliegtuigen (*approach control*). Bij approach control radars maakt men onderscheid tussen primaire en secundaire systemen. Primaire radars zijn echte tweewegsystemen: de radar stuurt gepulste elektromagnetische energie weg waarvan een deel aan een vliegtuig terugkaatst en weer door de radar ontvangen wordt. Secundaire radars zijn éénwegsystemen: de radar zendt pulsen uit die ontvangen wordt door een transponder³² aan boord van een vliegtuig en vervolgens stuurt de transponder weer pulsen terug naar de radar. Bij sommige approach-systemen staat de antenne van het secundaire systeem boven op de primaire antenne. Onder de approach control radars vallen drie primaire en zeven secundaire systemen.

De ASDE-radar op de toren van Schiphol Airport zendt met een frequentie van 16 GHz en maakt 60 omwentelingen per minuut. Het piekvermogen bedraagt 60 kW en het gemiddelde vermogen 12 W. De drie primaire radars zenden met een frequentie van 1,2 à 1,3 GHz (Herwijnen) en

³² Transponder is een contaminatie van de Engelse woorden TRANSmitter en resPONDER, ontvanger en beantwoorder. De niet gangbare Nederlandse term is 'antwoordzender'.

2,8 GHz (Beek en Amsterdamse Bos) en maken zes tot vijftien omwentelingen per minuut. De piekvermogens variëren van 150 tot 1200 kW en de gemiddelde vermogens van 50 W tot 3,2 kW. De secundaire systemen zenden met een frequentie van rond de 1 GHz en maken zes tot vijftien omwentelingen per minuut. De piekvermogens zijn niet meer dan 1 kW en de gemiddelde vermogens minder dan 1 W. Luchtverkeersradars hebben dus gemiddelde vermogens tot enkele kilowatts en leveren volgens de WHO voor de bevolking geen gevaar op [191].

Radars aan boord van vliegtuigen

Vliegtuigen worden uitgerust met meerdere radarsystemen zoals: weerradar, radaraltitude-meter, navigatieradar, collision avoidance radar en grondradar. Deze radartypen hebben verschillende karakteristieken waar geen algemene overzichten van bestaan. Ruwweg kan gesteld worden dat vliegtuigen in de lucht geen velden veroorzaken die op de grond boven de referentieniveaus uitkomen, mede door de relatief korte blootstelling tijdens het overvliegen.

Hoge elektrische velden van radars komen wel voor wanneer een vliegtuig aan de grond staat en toch de radar aan heeft staan, bijvoorbeeld bij onderhoudswerkzaamheden. Een typische weerradar aan boord van een vliegtuig veroorzaakt veldsterktes van 20 V/m op 10 m tot 200 V/m op 10 cm in de primaire bundel van de radar. De piekveldsterkte is met 19 kV/m veel hoger [181].

Remote Sensing

Met radarmetingen vanuit een vliegtuig kunnen ook afbeeldingen van de grond worden gemaakt. Hierbij kunnen ook de snelheden van bewegende objecten worden bepaald. Door middel van het na de metingen combineren van nauwe radarbundels onder verschillende hoeken kan een gedetailleerde afbeelding van het grondoppervlak gemaakt worden. Een voorbeeld hiervan is de door onder andere TNO ontwikkelde PHARUS (PHased ARray radar) die werkt met een draagfrequentie van 5,3 GHz en pulsen met een duur van 3,2 tot 25,6 μ s en een pulsrequentie tussen 2000 en 5000 Hz. Het maximale piekvermogen bedraagt 960 W. De blootstelling zal aan de grond nooit langdurig zijn, omdat de metingen gedaan worden bij een vliegsnelheid van 90 tot 150 m/s [192]. Gezien het feit dat navigatieradars met hogere vermogens door de WHO niet schadelijk worden geacht, zijn ook bij deze radarsystemen geen schadelijke effecten te verwachten.

Inbraakbeveiliging en Indringerdetectiesystemen

Ook in de directe woonomgeving van leden van de bevolking wordt radar toegepast. Er worden bijvoorbeeld commerciële radars als onderdeel van alarmerings- en beveiligings-systemen voor woonhuizen en winkels toegepast. Deze systemen maken gebruik van doorgaans zwakke radar, bijvoorbeeld met een zendvermogen van 10 mW bij 10,67 GHz [193]. De radarsignalen worden hier gebruikt om bewegingen in ruimtes door middel van het Dopplereffect te registreren.

Niveaumetingen in industriële processen

Om het niveau van vloeistoffen in procesvaten te meten, worden ook radars gebruikt. Het voordeel hiervan is dat er geen contact met de vloeistof hoeft te worden gemaakt wat in de levensmiddelenindustrie een goede hygiëne bevordert. Er zijn ook toepassingen van radars die wel in procesvaten hangen om vloeistofscheidingsvlakken te detecteren: de zogenaamde Guided Wave Radar (GWR). De GWR bestaat uit een staaf die in een vloeistof niet alleen de hoogte, maar ook de scheidingsvlakken meet. In de procestechnologie wordt gebruik gemaakt van radars die zenden met frequenties tussen 5,8 en 26 GHz. Daarbij wordt zowel puls als FMCW gebruikt [194].

Geofysische methodes: Ground Penetrating Radar (GPR) en elektromagnetische instrumenten

GPR wordt gebruikt om in de bovenste lagen van de aarde van 0,2 tot 30 m diep te kijken. De frequenties liggen tussen 40 en 1000 MHz. Op deze manier kunnen ondergrondse pijpen, archeologische sites, lekkende tanks en andere objecten ontdekt worden. GPR werkt met een laag vermogen van ongeveer 4 W [195].

Elektromagnetische metingen die ook op de bovenste lagen van de aarde worden uitgevoerd, worden doorgaans verricht op één frequentie. Het uitgezonden signaal genereert ondergrondse kringstromen. Metingen aan de verschillende componenten van deze kringstromen geven dan ondergrondse veranderingen in de soortelijke geleiding aan. Doorgaans werken ook deze apparaten op lage vermogens.

Militaire Toepassingen

De gegevens over militaire installaties zijn niet openbaar. Uit het factsheet 226 van de WHO [191] blijkt dat er veel verschillende soorten radarinstallaties zijn die in piekvermogen kunnen oplopen tot enkele megawatts, dat is als gemiddeld vermogen enkele kilowatts. De grote radarinstallaties veroorzaken binnen hun, afgezette, opstelplaats vermogensdichtheden tussen 10 en 100 W/m². De controle radars op vliegtuigen hebben kleine antenneoppervlaktes in combinatie met een relatief hoog zendervermogen van enkele kilowatts en kunnen daardoor velden veroorzaken met vermogensdichtheden tot 10 kW/m². Leden van de bevolking kunnen in principe niet aan deze velden blootgesteld worden, maar militairen en onderhoudspersoneel wel.

Een indicatie van de velden rond militaire radarinstallaties is verkregen uit de publicaties rond het HAWK-radarsysteem. De Duitse Radarkommission [196] bericht dat in het verleden voor het HAWK- en het NIKE-wapensysteem de zogenaamde STANAG³³-grenswaarden van de NAVO [197] zijn overschreden. Ook meldt zij dat voor dergelijke hoogvermogenssystemen rekening moet worden gehouden met blootstelling aan de als nevenproduct opgewekte röntgenstrooistraling. Voor het NIKE-systeem dat werkt met pulsvermogens tot 1 MW kunnen vermogensdichtheden van 1000 W/m² optreden. Deze bronnen stonden vaak op hoge gebouwen, maar ook op mobiele installaties van minder dan 8 m hoog, en was er de mogelijkheid blootgesteld te worden aan de bundel. Ook voor het HAWK-systeem zijn op de

³³ Volgens de STANAG (STAndardisation AGreement) grenswaarden van de NAVO mag de blootstelling voor personeel maximaal 100 W/m² bedragen. Dit is tien maal de waarde van het referentieniveau in de EU aanbeveling voor leden van de algemene bevolking.

werkplek van de bediener van dit systeem hoge vermogensdichtheden bepaald van 90 W/m^2 . In Nederland zijn daar in het verleden kamervragen over gesteld. Na diverse onderzoeken door onder andere TNO-FEL bericht de staatssecretaris van Defensie in 2001: ‘... Tot dusver zijn geen gezondheidsrisico’s gevonden die aan straling van de HAWK-radar of andere radars gerelateerd zijn ...’ [198].

Carcinogene werking radar

Uit een aantal epidemiologische studies concludeerde Repacholi in 1998 [158] dat er op grond van de tot dan toe bekende studies niet kan worden geconcludeerd dat blootstelling aan radar leidt tot een verhoogde kans op kanker. Een aantal studies geeft aan dat er geen verhoogde kans is, maar enkele studies die wel een verhoogde kans aangaven, waren methodologisch niet correct uitgevoerd. De Radarkommissie heeft op grond van een overzicht in 2003 nogmaals bevestigd dat er geen bewijzen zijn dat de beroepsmatige blootstelling aan radar tot een verhoogde kans op kanker leidt [196].

7.3 Snelheidsmetingen

Voor snelheidscontrole heeft het Korps Landelijke Politiediensten (KLPD) drie typen radarsystemen in gebruik. Dit zijn de Gatsometer types 13 en 24 en de Multanova 6F, zie Figuur 24. De systemen werken respectievelijk op 13,4 GHz (X-band), 24,1 GHz (K-band) en 34,36 GHz (Ku-band). Snelheidsradars hebben doorgaans vermogens van 15 tot 50 mW [199]. De Gatsometers worden geplaatst in kasten langs de weg, maar ook in verborgen opstellingen zoals in een aanhanger, in een vuilniscontainer of in een tent van een telefoonmaatschappij. De Multanova staat vaak langs snelwegen op de vangrail, op een statief achter een pilaar van een viaduct of in een (onopvallende) auto van de politie.



Flitskast op de A9



Figuur 24 Een flitskast met een Gatsometer (links) en een mobiel opgestelde Multanova radar (rechts).

Uit onderzoek onder 5000 snelheidsradars blijkt dat op enkele centimeters van het apparaat het elektrische veld varieert tussen 33 en 120 V/m voor de systemen op 10,5 GHz, en tussen 27 en 125 V/m voor de systemen op 24 GHz [181]. Op afstanden waar de radarbundel de auto

treft is de veldsterkte tussen 1 en 0,1 V/m. De bediener ervaart een veldsterkte tussen 1 en 15 V/m [181]. Andere onderzoeken bevestigen dat de veldsterkten voor de bediener en de automobilist onder het referentieniveau blijven. Uit onderzoek van Fink *et al.* [200] blijkt uit 812 metingen dat de vermogensdichtheid ter hoogte van de ogen en testikels van de bediener niet hoger is dan 0,4 W/m² waar het referentieniveau voor leden van de algemene bevolking 10 W/m² is, en volgens de ICNIRP voor werkers 50 W/m².

Volgens Finkelstein [201] blijkt uit verschillende epidemiologische studies dat er geen verband is tussen gebruik van snelheidsradar en kanker.

7.4 Draadloos detecteren en identificeren: EAS en RFID

Electronic Article Surveillance (EAS) en Radio Frequency Identification (RFID) zijn verzamelnamen voor het op afstand detecteren en identificeren van gemerkte goederen en levende wezens. Er zijn geen overzichten van de aantallen, locaties, vermogens en veldsterktes van deze systemen in Nederland. Wel bestaat er internationale wetenschappelijke literatuur over deze systemen.

Hoewel beide categorieën werken met gelabelde goederen die afgelezen worden, is EAS de benaming voor detectietoepassingen, en RFID de benaming voor detectie met toegevoegde informatieoverdracht via een radiofrequent afleesbare ‘streepjescode’. Daarnaast werken de systemen met verschillende frequenties en veldsterktes.

EAS

EAS-systemen werken met detectiesysteempanelen en labels. De panelen zijn vaak detectiepoortjes bij de uitgang van bijvoorbeeld een winkel, museum of een bibliotheek en bestaan uit een veldopwekkend deel, meestal een stroomspoel die bij lage frequenties een voornamelijk magnetisch detectieveld opwekt, en een veldontvangend deel. De labels zijn veelal passieve, dus zonder eigen energiebron, metalen stripjes die het opgewekte veld verstoren, en een alarm doen afgaan. De weinig gebruikte actieve labels, met een eigen krachtbron, wekken velden op die twee tot drie keer zwakker zijn dan de velden van de panelen. EAS-systemen detecteren slechts of een label zich wel of niet in de poort bevindt.

Tabel 4 EAS-systemen en hun typische frequenties en gemeten maximale veldsterktes.

systeemsoort	typische frequenties	gemeten veldsterktes (maximaal)		
		Harris. [203]	Floderu s [204]	Boivin [205]
1. niet-lineair magnetisch	0,01 - 20 kHz	1073 A/m		
2. resonant inductief	20 - 135 kHz	26 A/m	100 V/m 72 A/m	
3. resonant radiofrequent inductief	1 - 20 MHz	10 V/m 0,5 A/m		
4. niet-lineaire microgolven	0,8 - 2,5 GHz	24 V/m		
5. metaaldetectoren	0,1 - 135 kHz		40 V/m 2 A/m	106 A/m

Tabel 4 geeft een overzicht van vier voorkomende EAS-systemen en metaaldetectoren vergezeld van hun typische frequenties en maximale gemeten veldsterktes. De indeling is gebaseerd op de norm NEN-EN 50357 [202]. De veldsterktes en hieronder volgende omschrijvingen van voorkomen zijn afkomstig van Harris *et al.* [203], Floderus *et al.* [204] en Boivin *et al.* [205].

De eerste drie systemen gebruiken velden met frequenties waarbij het te detecteren object zich altijd in het nabije veld bevindt. In dit gebied overheerst het magnetische veld H en is er een verwaarloosbaar stralend veld. Het veld wordt opgewekt door een stroomspoel en is inhomogeen in de ruimte tussen de detectiepanels. Het vierde systeem werkt met hogere frequenties en het te scannen object bevindt zich daardoor in het verre veld.

Het niet-lineaire magnetische systeem gebruikt een stripje van gemakkelijk te magnetiseren materiaal. Dit stripje is zo snel magnetisch verzadigd dat het niet het wisselende opgewekte veld kan aannemen, en daardoor verstoringen met diverse hogere harmonische frequenties op het detectieveld geeft. Dit systeem komt voor in bibliotheken, boek- en muziekwinkels.

Het resonant inductieve systeem gebruikt een detectieveld met korte pulsen van een precieze frequentie. Het label resoneert op deze frequentie en zendt de puls dan opnieuw uit. Wanneer het systeem geen puls uitzendt maar wel een ontvangt, is dit afkomstig van een resonerend label. Dit systeem komt onder andere voor in warenhuizen ter voorkoming van diefstal en in ziekenhuizen ter voorkoming van babyroof.

Het resonante radiofrequente inductieve systeem gebruikt een detectieveld dat voortdurend verschillende frequenties uitzendt. Wanneer een bij één van die frequenties resonerend label in de poort komt, zendt het de frequentie weer uit en wordt een vervorming van het detectieveld gemeten. Dit systeem wordt onder andere gebruikt in bibliotheken en drogisterijen.

Het niet-lineaire microgolfsysteem gebruikt een complexere techniek waarbij het label een microgolfantenne bevat met een elektronisch element, een zogenaamde diode, dat het detectieveld met een extra signaal verstoort. Dit is een relatief duur systeem dat voorkomt ter bewaking van exclusieve artikelen.

Metaaldetectoren reageren niet op een speciaal label maar op een verandering in het detectieveld opgewekt door kringstromen in metalen objecten. Handdetectoren werken vaak met continue sinusgolven. In een metalen object dat wordt geplaatst in een continu magnetisch veld ontstaan inductiekringstromen die een magnetisch veld opwekken tegengesteld aan het externe magnetische veld. De ontvangers van het detectieveld merken dan een verandering op. Naast continue detectievelden worden bij vaste poortjes gepulste magnetische velden en zaagtandfuncties gebruikt. Hierbij worden ook kringstromen opgewekt maar met een vertraging ten opzichte van de puls. De werking hiervan lijkt dus op die van de resonant inductieve systemen.

Gemeten velden bij EAS-systemen

Harris *et al.* [203] hebben metingen verricht voor verschillende subtypen op verschillende afstanden. Tabel 4 geeft slechts de gemeten maxima aan. Deze maxima overschrijden de referentieniveaus voor de niet-lineair magnetische en de resonant inductieve systemen. Ze merken op dat het veld niet goed te voorspellen is. Het hangt namelijk niet alleen van het systeem af, maar ook van de fabrikant en de omgeving waarin het geplaatst is. Ze vermelden ook dat 48 van de 50 door hen geteste pacemakers significante interferentie vertonen voor gepulste resonant inductieve systemen. Ook wordt de maximale gemeten veldsterkte overschreden voor het resonant radiofrequent inductieve systeem waar het referentieniveau tussen 1 en 10 MHz verloopt van 0,73 naar 0,073 A/m en daarboven gelijk is aan 0,073 A/m. Voor het vierde systeem dat werkt met microgolven hebben ze geen overschrijding van het referentieniveau van 38,9 tot 61 V/m voor 2 GHz en daarboven.

Floderus *et al.* [204] hebben voor verschillende types EAS-systemen metingen verricht aan het elektrische en het magnetische veld: een metaaldetector op een vliegveld die werkt op 5 kHz en anti-diefstalpoortjes die werken op 5 en 7,5 kHz. De poortjes hadden velden van maximaal 71,6 A/m en 100 V/m. De maximale veldsterkten van de poortjes overschrijden de referentieniveaus van 5 A/m en 87 V/m. Ze vonden dat de metaaldetector een magnetische veldsterkte had van maximaal 2 A/m en een elektrische veldsterkte van 70 V/m.

Boivin *et al.* [205] hebben aan metaaldetectoren gemeten. Ze vonden voor negen handdetectoren maxima voor de RMS-waarden van het magnetische veld tussen 1,06 en 2,41 A/m. De handdetectoren werkten met continue sinusvormige golven. Voor tien poortjes vonden ze maxima voor de piek-piek veldsterkten van 85 tot 299 A/m, wat vergelijkbaar is met RMS-waarden van 30 tot 106 A/m. Ook deze veldsterkten overschrijden het referentieniveau van 5 A/m.

Hoewel EAS-systemen veldsterktes veroorzaken die het referentieniveau overschrijden, is er sprake van een kortdurende blootstelling bij het passeren van de detectiepoorten. Werknemers zoals caissières die zich dichtbij de poorten bevinden en bewakingspersoneel dat zich tussen of tegen de detectiepanelen langere tijd in het detectieveld bevindt, ontvangt wellicht een te hoge dosis over langere tijd.

Berekende velden bij EAS-systemen

Er zijn diverse numerieke rekenmethoden om de stroomdichtheden in een lichaam te berekenen. In 2001 berekenden Ghandi en Kang [206] met de weerstandsmethode de stroomdichtheden in verschillende organen met behulp van hun specifieke elektrische geleidbaarheid. Ze gebruikten hiervoor een model van een fictief EAS-systeem dat werkt met een stroom in een spoel van 100 A en een frequentie van 30 kHz. De hoogste stroomdichtheid komt voor in de darmen van een volwassen man en bedraagt 597 mA/m^2 . Dat is ongeveer tien keer de basisrestrictie van 60 mA/m^2 voor deze frequentie. De basisrestrictie is echter vooral gebaseerd op aandoeningen van het centraalzenuwstelsel, zoals hersenweefsel. Ghandi en Kang berekenden dat de maximale stroomdichtheid bij een volwassen man onder 60 mA/m^2 blijft, maar voor een jongen van 5 jaar 64 mA/m^2 bedraagt en voor een jongen onder 5 jaar 99 mA/m^2 . Deze stroomdichtheid is hoger voor kinderen, omdat hun hoofd zich ter hoogte van de spoelen bevindt. Ook uit andere berekeningen op basis van soortelijke geleiding en dielektrische constante blijkt dat EAS-systemen velden veroorzaken waardoor de basisrestricties overschreden kunnen worden.

RFID

RFID-systemen detecteren niet alleen een verstoring zoals EAS-systemen, maar detecteren bij het passeren van een lezer ook specifieke informatie. Een RFID-systeem bestaat uit een zender, een ontvanger en een label of transponder. Het label ontvangt een signaal van de zender, herkent dit en stuurt dan een antwoordsignaal naar de ontvanger.

Mogelijke toepassingen zijn tolpoorten op de autowegen, toegangspoortjes, het volgen van goederen bij voorraadbeheer en koffers op transport. In Nederland gaat kledingconcern Benetton chips van Philips met een afmeting van enkele vierkante millimeters in kleding aanbrengen [207]. Op deze manier kunnen kledingstukken van de fabriek tot de winkel gevolgd worden. Omdat RFID-labels van verschillende producten tegelijk kunnen worden gelezen, kan in de toekomst bijvoorbeeld het afrekenen van een gevulde winkelwagen in één keer plaatsvinden zonder elk product apart te scannen. Om dit mogelijk te maken, is het nodig om één standaard voor RFID te ontwikkelen. De Nederlandse Werkgroep RFID-verpakkingsnormen streeft ernaar eind 2008 een standaard te hebben ontwikkeld [208, 209]. Ook is het mogelijk schappen toe te rusten met leesapparatuur die automatisch detecteert welke producten verkocht worden en bijbesteld moeten worden. Kruidvat en Trekleister gaan bijvoorbeeld voor voorraadbeheer in elke vestiging minstens twee terminals plaatsen [210].

Tabel 5 laat zien dat afhankelijk van de hoeveelheid over te dragen informatie en de vereiste leessnelheid, bovengenoemde systemen op verschillende frequenties werken. Des te meer de informatie of des te hoger de leessnelheid, des te hoger de frequentie.

*Tabel 5 RFID-systemen en hun typische frequenties.
(bron: overgenomen uit norm NEN-EN 50357:2001 [202])*

frequentie	kenmerken	typische toepassingen
laag 1 Hz – 500 kHz	korte tot middellange afstand, lage leessnelheid	toegangspassen, dier- identificatie, voorraadbeheer
middel 2 – 30 MHz	korte tot middellange afstand, normale leessnelheid	toegangspassen, smart cards
hoog 850 – 950 MHz 2,45 GHz, 5,8 GHz	lange afstand, hoge leessnelheid, zichtlijn vereist	treinwagon monitoring tolpoorten

Metingen aan RFID-systemen

Polichetti en Vecchia [182] hebben metingen aan vier types paslezers (*proximity detectors*) gedaan. Alle vier gebruikte een frequentie van rond de 120 kHz. De magnetische veldsterktes op 10 cm van de lezer varieerden van 10 tot 5 A/m, wat dus voor drie soorten een overschrijding van het referentieniveau van 5 A/m is en voor één precies op het referentieniveau.

7.5 Conclusies en hiaten

Voor in Nederland voorkomende radarsystemen bestaan er geen complete overzichten van aantallen, locaties, vermogens en veldsterktes. Over het algemeen geldt dat de radarsystemen uiteenlopende gemiddelde en piekvermogensdichtheden veroorzaken. Over het algemeen geldt bij normaal gebruik dat het niet waarschijnlijk is dat op plaatsen toegankelijk voor leden van de bevolking, velden van radarsystemen het referentieniveau zullen overschrijden.

Uit internationale onderzoeken is niet gebleken dat snelheidsradars die door de politie gebruikt worden, velden opwekken met een sterkte boven het referentieniveau op de positie van de auto, noch voor de metende agent.

Ook voor EAS- en RFID-systemen zijn er geen overzichten beschikbaar van de aantallen, vermogens en veldsterktes voor de systemen in Nederland.

Uit de internationale literatuur blijkt dat van diverse EAS systemen overschrijdingen van het referentieniveau zijn gemeten. Ook zijn er overschrijdingen gemeten voor velden opgewekt door metaaldetectoren op vliegvelden. Niet bekend is voor hoeveel systemen dit gelden of die systemen ook in Nederland voorkomen.

De RFID-systemen zijn een groeiende sector van detectiesystemen voorzien van actieve labels. Op het moment zijn er nog geen uitvoerige meetgegevens bekend van de velden rond RFID-systemen in Nederland. Wel blijkt uit metingen in Italië dat er systemen zijn die veldsterktes boven het referentieniveau kunnen veroorzaken.

De veldsterktes van EAS- en RFID-systemen kunnen weliswaar het referentieniveau overschrijden, maar er treedt enkel bij het passeren van de detector(poort) een kortstondige blootstelling op. De mogelijke effecten van een dergelijke blootstelling zijn vooralsnog niet bekend.

8 Discussie, conclusies en aanbevelingen

8.1 Inleiding

Het doel van deze probleemanalyse is de overheid en andere professioneel betrokkenen te informeren over de stand van zaken met betrekking tot en de hiaten in de kennis op het gebied van radiofrequente velden en mogelijke gezondheidseffecten. Hiertoe is in het eerste deel, Hoofdstukken 2 tot en met 4, de nationaal en internationaal bekende basiskennis beschreven over velden, blootstelling-effect relaties gevolgd door de wetgeving in Nederland en de Europese Unie. In het tweede deel, Hoofdstukken 5 tot en met 7 is een overzicht gegeven van de specifieke bronnen in Nederland.

De hiaten in de kennis vallen uiteen in twee groepen overeenkomend met de processen ‘Inventariseren’ en ‘Onderzoeken’ in het conceptuele model (Figuur 2 in Paragraaf 1.3): enerzijds de hiaten betreffende het verband tussen blootstelling en effecten, en anderzijds de informatie over bronnen die ontbreekt om de toetsing aan de huidige of mogelijk toekomstige limieten uit te voeren.

8.2 Het verband tussen blootstelling en effecten

Op het gebied van het verband tussen blootstelling en effecten wordt onderzoek verricht door diverse wetenschappelijke instituten. Op dit gebied zijn diverse grondige overzichtsrapporten met aanbevelingen voor nader onderzoek uitgebracht door onder andere de Gezondheidsraad [36, 37] en de Britse NRPB [33, 34]. Het centrale vraagstuk betreft hier of er wel of geen oorzakelijke verbanden bestaan tussen blootstelling en effecten. Bekende mechanismen zijn de effecten ten gevolge van opwarming of geïnduceerde kringstromen. Op basis van deze bekende mechanismen zijn in een Europese aanbeveling blootstellingslimieten in de vorm van basisrestricties en referentieniveaus gegeven. Naast effecten met bekende mechanismen zijn er ook aanwijzingen voor specifieke effecten, zoals hoofdpijn en verminderd welbevinden waarvan het mechanisme onbekend is. Ook wordt er onderzocht of er sprake kan zijn van langetermijneffecten zoals kanker. Over het al of niet mogelijke voorkomen van kanker is nog steeds geen uitsluitsel [58, 59, 60, 61]. Om ook voor mogelijke specifieke en langetermijneffecten blootstellingslimieten te kunnen stellen, is nader onderzoek nodig dat internationaal gereproduceerd moet worden. Echter, om te kunnen komen tot onderzoek is het belangrijk om te weten wat het mechanisme is, zodat kan worden bepaald welke blootstellingsparameters een centrale rol spelen. Opgemerkt kan worden dat er zich hier een kip-ei situatie voordoet: om de mechanismen te kunnen bepalen moet men weten naar welke blootstellingsparameters gekeken moet worden, terwijl om de juiste blootstellingsparameters te bepalen de mechanismen bekend moeten zijn. Vooral voor epidemiologische studies is het van belang te weten welke parameters gehanteerd dienen te worden. Door niet ideale ontwerpen van deze studies worden de resultaten nogal eens terzijde geschoven.

8.3 Vergelijking van bronnen van radiofrequente velden

Uit de gegevens van de verschillende brongroepen blijkt dat het vergelijken van de impact op de leefomgeving van iedere bron in verhouding tot de andere niet zomaar uit te voeren is. Om te bepalen welke maatregelen genomen zouden kunnen worden, is het van belang een vergelijkingsparameter te kiezen. In grote lijnen kan deze parameter uit drie groepen worden gekozen: technische parameters die direct met de bron en de uitgezonden velden samenhangen, parameters gebaseerd op aangetoonde effecten en tot slot parameters van meer psychologische aard zoals ervaren hinder of bezorgdheid.

Vergelijking op technische gronden

De te kiezen vergelijkingsparameter zou technisch kunnen worden uitgedrukt in bijvoorbeeld de totaal door alle bronnen veroorzaakte veldsterkte. Echter, niet voor alle bronsoorten is de complete verzameling gegevens bekend die voor de berekening nodig zijn, zoals het aantal bronnen en hun individuele locatie, uitgangsvermogen of EIRP, uitstralingspatroon en modulatietechniek.

De gegevens van bronnen waarvoor een vergunning voor het gebruik van frequentieruimte verplicht is, zoals radio- en televisiezenders, zijn meestal wel in het bezit van de overheid, maar de gegevens zijn met een ander doel bijeengebracht en zijn niet altijd openbaar. Voor niet-vergunningsplichtige bronnen bestaan geen overzichten van de aantallen, locaties of piekvermogens. Voorbeelden daarvan zijn nieuwe communicatie-apparatuur zoals WiFi-, GSM- en UMTS-toepassingen, huishoudelijke artikelen zoals draadloze telefoons en magnetrons en snel opkomende detectieapparatuur zoals RFID en EAS systemen. Dit bemoeilijkt het berekenen van de cumulatieve velden van de diverse bronnen. Daarnaast zijn er vergunningen waarbij de locatie niet vastligt, bijvoorbeeld bij de land-lucht-mobiele bronnen en de zendamateurs die met wisselende vermogens en modulatietechniek in dichtbevolkte gebieden kunnen zenden.

Naast de technische gegevens over bronnen, zijn gegevens nodig over de omgeving van de bronnen om rekening te kunnen houden met reflectie, transmissie en absorptie aan obstakels en levende wezens. De technische gegevens en de omgevingsfactoren van de verschillende bronnen zou kunnen worden gecombineerd met een geografische database. Op deze manier kan voor iedere locatie bijgehouden worden, bijvoorbeeld met behulp van een woningbestand, wat de lokale blootstelling van de bevolking is.

Diverse beheerders van zendinrichtingen voeren metingen van radiofrequente velden uit die in beperkte mate openbaar zijn. Er bestaan geen openbaar toegankelijke, systematische overzichten van berekeningen en metingen door onafhankelijke instituten aan praktijk- of typische blootstellingsituaties.

Vergelijking op grond van aangetoonde effecten

Veldsterkte alleen is geen goede vergelijkingsparameter, omdat factoren zoals de frequentie en de blootstellingsduur de effecten mede bepalen. Een mogelijke vergelijkingsparameter is de verhouding tussen het referentieniveau en de veldsterkte op voor het publiek toegankelijke plaatsen. Echter, deze referentieniveaus zijn niet gebaseerd op het beschermen tegen specifieke effecten. Mogelijke andere veroorzakers van deze effecten, zoals de (puls)modulatie van het signaal, worden niet beschouwd. Wellicht levert onderzoek naar mechanismen extra, nu nog onbekende, dosismaten en aanverwante limieten op.

De afstand waarop in de hoofdbundel de veldsterkte gelijk is aan het referentieniveau is in dit rapport de referentieafstand genoemd. Een inschatting over de impact van een bron kan gemaakt worden door te bepalen hoeveel mensen zich hoe lang binnen de referentieafstand kunnen bevinden.

Vergelijking op psychologische gronden

Bezorgdheid hangt niet per se samen met daadwerkelijke schade of hinder die de radiofrequente velden kunnen veroorzaken. Daarentegen worden klachten over verminderd welbevinden *pur sang*, dus ook bezorgdheid, wel degelijk gezien als invloed op de volksgezondheid in de definitie van de WHO³⁴ [211]. Volgens de WHO wordt risicoperceptie gevoed door de volgende zaken: persoonlijke factoren als leeftijd, sekse, culturele achtergrond; externe factoren als wetenschappelijke informatie en informatie via media, de structuur van besluitvorming en de algemene opinie; de aard van het risico [212]. Daarbij wordt de aard van het risico opgesplitst in: bekendheid met de technologie, controle over de situatie, vrijwilligheid van blootstelling, angst voor ziekte, mogelijke voordeel van de technologie en ten slotte de eerlijke verdeling van de blootstelling.

In dit rapport is de bezorgdheid onder de bevolking slechts zijdelings aangestipt bij de behandeling van de problematiek rond de GSM- en UMTS-basisstations en de AM-midden-golfzenders (Paragrafen 5.2, 5.3 en 5.10). De bezorgdheid onder de bevolking wordt gevoed door verslaggeving in kranten en actualiteitenprogramma's en door diverse populair geschreven boeken en websites [onder andere 213, 214]. In populaire publicaties tegen gebruik van diverse radiofrequente bronnen worden de alomtegenwoordige velden benoemd met de term 'electrosmog'. Hoeveel mensen er werkelijk bezorgd zijn is onbekend.

Mogelijkheden voor het terugbrengen van bezorgdheid zijn, volgens de WHO publicatie over risicoperceptie, onder andere te vinden in externe factoren zoals informatievoorziening via de media en actieve openbaring van de resultaten van wetenschappelijk onderzoek. Door de bekendheid met de technologie te vergroten, kan invloed worden uitgeoefend op hoe de aard van het risico wordt ingeschat.

³⁴ De Nederlandse versie luidt 'Gezondheid is een toestand van compleet fysiek, mentaal en sociaal welbevinden en niet slechts de afwezigheid van ziekte of ongemak.'.

8.4 Overzicht van kennis en hiaten

Op grond van voorgaande discussie en uit de diverse conclusies aan het einde van elk hoofdstuk is het mogelijk de in de inleiding gestelde vragen te beantwoorden over de beschikbare informatie, de hiaten in de kennis en welke hiaten op het gebied van radiofrequente velden het verdienen met voorrang te worden ingevuld.

8.4.1 Basiskennis

Op een afstand van enkele golflengtes van de bron zijn het magnetische en het elektrische veld gekoppeld en gedragen ze zich als één elektromagnetisch veld. In dit verre veld heerst een goed te berekenen stralingsveld, dat energie van de bron afvoert. Binnen enkele golflengtes van de bron, het nabije veld, heerst naast een stralingsveld ook een reactief veld dat minder eenvoudig te beschrijven is.

Blootstelling aan radiofrequente velden kan over het algemeen gekwantificeerd worden door de veldsterkte van het magnetische (A/m) of het elektrische veld (V/m). Daarnaast kunnen effecten afhankelijk zijn van de blootstellingsduur, de frequentie van het veld en de modulatie van het signaal. Voor een aantal effecten is het mechanisme, het biofysisch proces van aangrijppunt tot effect, bekend. In dat geval kunnen specifieke blootstellingsmaten gegeven worden.

Er zijn ruwweg drie soorten blootstelling-effect relaties waarbij het oorzakelijke verband bekend is: thermische effecten, stimulatie van zenuw- en spiercellen en verwarming van weefsel aan het lichaamsoppervlak. Bij thermische effecten wordt het mechanisme in gang gezet door opwarming van het weefsel met meer dan 1 à 2 graden Celsius. Hierbij wordt als blootstellingsmaat de Specific Absorption Rate (SAR) gebruikt. SAR is de gemiddelde hoeveelheid energie per tijdseenheid per massa (W/kg) die door het menselijk weefsel uit het radiofrequente veld wordt opgenomen. Voorbeelden van thermische effecten zijn: storing in de spermaproductie en aantasting van het zenuwstelsel. Bij stimulatie van zenuw- en spiercellen wordt het mechanisme in gang gezet door geïnduceerde kringstromen. De blootstellingsmaat is de geïnduceerde stroomdichtheid (A/m²). Effecten ontstaan boven de stroomdichtheden van ongeveer 100 mA/m². Voorbeelden van dergelijke effecten zijn: het ervaren van een schok en het onwillekeurig samentrekken van spieren. Bij het derde bekende mechanisme wordt het oppervlak van de huid zo verwarmd, dat het tot verbranding kan leiden, ook kan het cataract ten gevolg hebben. De blootstellingsmaat die hier gebruikt wordt, is de vermogensdichtheid van het veld. Effecten treden pas op bij een blootstelling boven 50 W/m². Bovenstaande mechanismen zijn afhankelijk van de frequentie van het elektromagnetische veld. Het blijkt dat tot 100 kHz de drempel voor kringstromen lager ligt dan voor opwarming en dat opwarming het belangrijkste effect is tussen 100 kHz en 10 GHz. Daarboven is verhitte aan het oppervlak het belangrijkste.

De impact van radiofrequente velden op de omgeving kan worden beperkt door de veldsterkte op voor de bevolking toegankelijk plaatsen te beperken. De huidige regelgeving is gebaseerd op een Europese aanbeveling die uitgaat van de basisrestricties die door de ICNIRP zijn voorgesteld. De basisrestricties zijn gelegd op een waarde die een factor 50 lager ligt dan de waarde waarboven kortetermijneffecten daadwerkelijk zijn waargenomen. Van de basisrestricties zijn de referentieniveaus afgeleid, grootheden die meetbaar zijn zoals het magnetische veld, het elektrische veld en de vermogensdichtheid. Als wordt voldaan aan het

referentieniveau, wordt voldaan aan de desbetreffende basisrestrictie. Voor situaties in het nabije veld dienen de basisrestricties aangehouden te worden.

Aangezien de veldsterkte met de afstand tot de bron afneemt, is de referentieafstand een maat om de impact van een bron op zijn omgeving te bepalen. De referentieafstand is gedefinieerd als de afstand waarop de veldsterkte in de hoofdbundel gelijk is aan 100% van het referentieniveau. Een inschatting van de impact kan dan gemaakt worden door te bepalen hoeveel mensen zich in de praktijk binnen de referentieafstand bevinden of kunnen bevinden.

8.4.2 Hiaten – Bronnen en blootstelling in Nederland

Om goed in te kunnen schatten wat de typische blootstelling in Nederland is, is een overzicht nodig van de verschillende bronnen. Dan kan naast de referentieafstand voor afzonderlijke bronnen, ook worden vastgesteld wat de cumulatieve veldsterkte voor een bepaalde locatie is. Dit rapport behandelt van drie brongroepen de belangrijkste kenmerken, te weten: communicatie-apparatuur, huishoudelijke apparatuur en gebruiksartikelen en ten slotte detectie-apparatuur.

In de brongroep ‘communicatie-apparatuur’, waaraan alle leden van de bevolking in principe permanent blootgesteld worden, zijn de gegevens niet voor alle bronnen compleet. In principe zijn er van alle zenders met een vergunning voor het gebruik van de frequentieruimte of een bouwvergunning gegevens geregistreerd en dus te achterhalen. Voor andere zenders zijn de gegevens, zeker het aantal, veelal onbekend, tenzij providers via een overeenkomst hebben ingestemd met publicatie. Zo hebben bijvoorbeeld de providers van mobiele telefonie zich via afspraken in het antenneconvenant verplicht alle gegevens over de bouwvergunningsvrije antennes voor GSM- en UMTS-basisstations aan het Nationaal Antennebureau te melden. De gegevens voor GSM-basisstations zijn compleet, voor UMTS-basisstations is de verwachting dat die ook aangeleverd zullen worden op eenzelfde manier zodra ze operationeel zijn. Voor TETRA basisstations is geen openbaar overzicht voorhanden. De gegevens van het niet-commerciële C2000 noodnetwerk zijn binnen de overheid waarschijnlijk wel beschikbaar. Voor de draadloze verbindingen zoals WiFi, WLAN en Bluetooth zijn er gegevens over de modulatie en het maximale zendvermogen bekend, echter niet over de aantallen en de locaties. Voor de WLL, waarvoor onlangs de frequentieruimte is toegewezen, is te verwachten dat de gegevens in de toekomst wel beschikbaar zullen komen. Voor straalzenders met een frequentievergunning is het mogelijk alle benodigde gegevens te verzamelen. Voor zendamateurs, ondanks dat ze vergunningplichtig zijn, is wel te achterhalen op wiens naam de vergunning staat en voor welk maximaal vermogen in welke frequentiebanden, maar de vergunning is niet locatiegebonden en de gain van de zelfgebouwde antenne of het meest gebruikte vermogen is nauwelijks te achterhalen.

Zendamateurs kunnen zenden in dichtbevolkte gebieden met steeds anders georiënteerde en versterkende antennes. Ook WLAN verbindingen, met WiFi als bekendste standaard, komen vooral in dichtbevolkte gebieden voor. De draadloze apparatuur zendt weliswaar met een laag vermogen (tot 1 W EIRP), maar kan zich wel dicht bij het lichaam bevinden.

Van GSM-telefoons en andere mobiele telefoons zoals TETRA portofoons kan uitgaande van het aantal gebruikers bij benadering het aantal toestellen worden geschat. Het maximale zendvermogen van een mobiele telefoon is lager dan 2 W en het vermogen gemiddeld over de tijd is lager dan 0,5 W. Deze hand-apparatuur zal vooral een veld veroorzaken dichtbij de gebruiker.

Voor de éénweg communicatie applicaties zoals omroepzenders voor radio en televisie zijn de technische gegevens in principe ook uit de vergunningen te halen. Er zijn op het moment een aantal van zo'n 240 zenders voor de digitale televisie die nog experimenteel zijn en waar niet alle gegevens over bekend zijn. Het zijn vooral de analoge AM-zenders die tot klachten van omwonenden leiden.

Voor de brongroep 'huishoudelijke apparatuur en gebruiksartikelen', waaraan leden van de bevolking soms langdurig, soms kortstondig, en met enige mate van keuze blootgesteld worden, zijn geen eenduidige waarden van de veldsterkte bekend. Velden zijn doorgaans onder de referentieniveaus, maar het apparaat kan zich wel dicht bij de gebruiker bevinden. De velden zijn niet precies bekend, ook omdat het zenden van deze apparatuur een neveneffect is. Daardoor bestaat er geen database waarin de vele verschillende artikelen zijn opgenomen. Uit literatuur over metingen aan de diverse apparatuur blijkt dat velden vaak een kleine bijdrage aan het totale veld leveren.

De groep 'detectie-apparatuur', waaraan leden van de bevolking meestal kortstondig en zonder keuze blootgesteld worden, bestaat ruwweg uit radarapparatuur en draadloze detectie en registratie van artikelen zoals de EAS en RFID applicaties. Van sommige radars zoals traffic control radars zijn de gegevens bekend, van de meeste soorten echter niet. Voor EAS en RFID geldt dat er veel nieuwe toepassingen worden ontwikkeld en dat elk type zijn eigen kenmerken heeft qua frequentie, modulatie en vermogen. Ook hier zijn de aantallen en de locaties onbekend, wel de typische omgevingen zoals de anti-diefstalpoortjes bij winkelingangen. Aan de totale tijdsgemiddelde elektromagnetische veldsterkte dragen ze weinig bij vanwege de doorgaans gepulste aard van het signaal, hoewel piekveldsterktes tot 1000 A/m mogelijk zijn. Bij normaal passeren van een detectiepoort zal de blootstelling vermoedelijk onder het referentieniveau blijven. Echter, bij langdurige blootstelling is er wel kans op overschrijding bij bijvoorbeeld winkelpersoneel.

8.4.3 Hiaten – Verbanden tussen blootstelling en effecten

Naast de effecten met een begrepen mechanisme waarvoor limieten in de EU-aanbeveling zijn gesteld, zijn er mogelijk ook effecten die in verband met de blootstelling worden gebracht waarvan het mechanisme niet begrepen wordt. Dit zijn veelal specifieke effecten, die over het algemeen op korte termijn na het begin van de blootstelling worden ervaren, en die vaak moeilijk objectief zijn vast te stellen. Deze effecten worden al geclaimed bij veldsterktes die een factor zestig of meer lager dan de referentieniveaus bedragen. Ze worden ook vaak in verband gebracht met de modulatie of pulsform van het radiofrequente signaal. Subjectieve specifieke effecten zijn niet goed te meten. Voorbeelden zijn hoofdpijn, duizeligheid, gevoel van malaise en vermoeidheid. Objectieve specifieke effecten zijn in principe te meten. Voorbeelden daarvan zijn invloed op de cognitieve vaardigheden zoals reactiesnelheid en slapeloosheid. Deze effecten worden geclaimed bij veldsterktes onder de referentieniveaus. Daarnaast blijkt uit diverse publicaties in kranten en websites dat onder leden van de bevolking bezorgdheid over radiofrequente velden heerst. Vooral de velden rond AM-zenders en communicatieapparatuur zoals GSM-telefoons en GSM-basisstations wekken bezorgdheid.

Het ontstaan van kanker als gevolg van blootstelling aan radiofrequente velden is niet aangetoond. Er is ook geen bewijs voor het ontstaan van andere langetermijneffecten. Zowel naar specifieke effecten als het ontstaan of bevorderen van kanker wordt onderzoek gedaan. Er zijn nog geen studies verricht waarbij resultaten die op ontstaan van kanker of specifieke effecten wezen, gereproduceerd konden worden.

8.4.4 Aanbevelingen

De hiaten waarvan wordt aanbevolen er met voorrang aandacht aan te besteden, liggen op het gebied van de mogelijke specifieke effecten. Wanneer vastgesteld is dat dergelijke effecten inderdaad optreden en begrepen is wat het mechanisme is, is het pas mogelijk een blootstellingsmaat vast te stellen. Ook de EU-aanbeveling stelt dat het advies op het gebied van basisrestricties ‘regelmatig opnieuw moet worden gezien en beoordeeld in het licht van nieuwe kennis en ontwikkelingen’. Het verdient aanbeveling om de mogelijkheden te onderzoeken om de bezorgdheid onder de bevolking met betrekking tot effecten en bronnen weg te nemen. Om onrust te voorkomen kan met behulp van complete overzichten van bronnen en blootstellingsniveaus passieve en actieve voorlichting worden gegeven. De EU-aanbeveling stelt ook dat aan de bevolking in geschikte vorm informatie verstrekt dient te worden. Dit kan bijvoorbeeld door deze, net als de Sitefinder website in het Verenigd Koninkrijk, op internet openbaar te maken. Op deze manier krijgen leden van de bevolking zelf de mogelijkheid om genuanceerdere oordelen over hun leefsituatie te vormen.

Een ander hiaat dat invulling verdient, is het ontbreken van beschikbare systematische overzichten van radiofrequente bronnen waarmee de overheid kan controleren hoeveel leden van de bevolking blootgesteld worden en de limieten kan handhaven. Dergelijke informatie is ook belangrijk voor operators van zendapparatuur omdat de door de EU aanbevolen referentieniveaus als cumulatieve waarden zijn bedoeld. Dit komt ook overeen met de opdracht in de EU-aanbeveling voor het opzetten van een consistent systeem van bescherming tegen risico's van blootstelling aan elektromagnetische velden. Dit kan worden ondervangen door het opzetten van een (geografische) database met locaties, technische gegevens en referentieafstanden van radiofrequente bronnen. De gegevens voor een dergelijke database zouden door onafhankelijke instellingen verzameld, berekend of gemeten moeten worden.

Literatuur

- 1 Jackson JD. Classical Electrodynamics. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- 2 Duffin WJ. Electricity and Magnetism. 3rd ed. London: McGraw-Hill book company, 1980.
- 3 NEN-EN 50383:2002 – Basisnorm voor de berekening en het meten van elektromagnetische veldsterkte en SAR met betrekking tot blootstelling van de mens aan radiobasisstations en vaste eindstations voor draadloze telecommunicatiesystemen (110 MHz – 40 GHz). Staatscourant 14 oktober 2002, nr. 197 / pag. 12.
- 4 Federal Communications Commission, Office of Engineering & Technology (FCC). Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields. OET Bulletin 65, 1997.
- 5 Gezondheidsraad. Commissie Radiofrequente straling. Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz - 300 GHz). Rijswijk: Gezondheidsraad, 1997; publicatie nr. 1997/01.
- 6 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys. 1998; 74(4):494-522.
- 7 WHO/ICNIRP Proceedings: International Seminar on Biological Effects, Health Consequences and Standards for Pulsed Radiofrequency Fields. Erice, Sicily, Italy, November 21 to 25, 1999. ICNIRP 11/2001.
- 8 Magin RL, Lidbury RP and B Persson. Biological effects and safety aspects of nuclear magnetic resonance imaging and spectroscopy. Ann. NY Acad. Sci., 1992; 649.
- 9 WHO. Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz). Environmental Health Criteria 137. Geneve: UNEP/IRPA/WHO; 1993.
- 10 Johnson CC and AW Guy. Nonionizing electromagnetic wave effects in biological materials and systems. Proc IEEE, 1972; vol. 60, p. 692.
- 11 Mochizuki S, Watanabe S, Wake K, Taki M, Yamanaka Y, and H Shirai. Detail dosimetric assessment of a human head exposed to near-field of various sources using advanced numerical hybrid techniques. Sessie KA.P.5 (1699) in: Programme oral presentations, International Union of Radio Science (URSI) XXVIIth General Assembly, Maastricht, 17 – 24 August 2002.
- 12 Hirata A, Kita M and T Shiozawa. Comparison of temperature rises in the human eye due to near-field and far-field exposures at various microwave frequencies. Sessie KC.O.7 (95) in: Programme oral presentations, International Union of Radio Science (URSI) XXVIIth General Assembly, Maastricht, 17 – 24 August 2002.
- 13 Persson, BRR. Mobile Phone Systems. Chapter 29 in Radiation. Editors: Brune D, Hellborg R, Persson BRR and R Pääkkönen. Oslo: Scandinavian Science Publisher, 2001.
- 14 Dimbylow PJ and SM Mann. SAR calculations in an anatomically realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz. Phys. Med. Biol., 1994; 39:1537-1553.
- 15 Gabriel C and S Gabriel. Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies. Final Report for the Period 15 December 1994 - 14 December 1995 Prepared for AFOSR/NL Bolling AFB DC 20332-0001, June 1996.
www.brooks.af.mil/AFRL/HED/hedr/reports/dielectric/Report/Report.html, geraadpleegd 22 januari 2003.
- 16 Hurt WD, Zirix JM, Mason PA. 2000. Variability in EMF permittivity values: Implications for SAR calculations. IEEE Trans Biomed. Engin, 2000; 47(3):396-401.
- 17 NEN-EN 50361:2001 – Basisnorm voor de bepaling van de Specific Absorption Rate (SAR) voor de blootstelling van het menselijk lichaam aan elektromagnetische velden van draagbare telefoontoestellen. Uit: Staatscourant 9 oktober 2001, nr. 195 / pag. 13.
- 18 Zwamborn APM, van den Berg PM, Mooibroek J *et al.* Computation of three-dimensional electromagnetic-field distributions in a human body using the weak form of the CGFFT method. Appl. Comput. Electromagn. Soc. J., 1992; 26-42.
- 19 Watanabe S, Nagaoka T, Sakurai K, Watanabe S, Kunieda E, Taki M, en Y Yamanaka. Development of male and female whole-body models and dosimetry. Sessie KB.O.5 (1164) in:

- Programme oral presentations, International Union of Radio Science (URSI) XXVIIth General Assembly, Maastricht, 17 – 24 August 2002.
- 20 Hondou T. Rising Level of Public Exposure to Mobile Phones: Accumulation through Additivity and Reflectivity. J Phys Soc Japan, 2002; 71 (2): 432 - 435.
- 21 Toropainen A. Human exposure by mobile phones in enclosed areas. Bioelectromagnetics, 2003; 24 (1): 63 - 65.
- 22 Oliver JP, Chou CK and Q Balzano. Testing the effectiveness of small radiation shields for mobile phones. Bioelectromagnetics, 2003; 24 (1): 66 - 69.
- 23 Manning MI and M Densley. On the effectiveness of various types of mobile phone radiation shields. SARTest Report 0113, June 2001. www.sartest.com/Rept0113.pdf, geraadpleegd 17 februari 2003.
- 24 De Volkskrant. Spijkerbroek houdt straling uit gsm tegen. De Volkskrant 19 sept 2002.
- 25 Gezondheidsraad: Mobiele telefoons; een gezondheidskundige analyse. Den Haag: Gezondheidsraad, 2002; publicatie nr 2002/01.
- 26 IARC-site: The INTERPHONE Study. www.iarc.fr/pageroot/UNITS/RCA4.html, geraadpleegd 17 februari 2003.
- 27 WHO-site: www.who.int/peh-emf/en, geraadpleegd 17 februari 2002.
- 28 WHO, Fact Sheets on Electromagnetic Fields and Human Health, nrs 182 (Properties and Effects), 183 (Health Effects of Radiofrequency Fields), 193 (Mobile Telephone) and 226 (Radars and human health); www.who.int/inf-fs/en/; geraadpleegd 5 augustus 2002.
- 29 ICNIRP. General approach to protection against non-ionizing radiation. Health Phys 2002; 82(4):540-548.
- 30 CSTE. Opinion on 'Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF), Radio Frequency Fields (RF) and Microwave Radiation on human health'. Opinion expressed at the 27th CSTE plenary meeting. Brussels, 30 October 2001. Brussels: European Commission, DG Health and Consumer Protection, 2001.
- 31 CSTE. Opinion of the CSTE on 'Effects of electromagnetic fields on health'. Reply to question B. Opinion expressed at the 33rd CSTE plenary meeting. Brussels, 22 September 2002. Brussels: European Commission, DG Health and Consumer Protection, 2002.
- 32 CSTE. Opinion of the CSTE on 'Effects of electromagnetic fields on health'. Reply to question B – Appendix to the opinion expressed on 24 September 2002. Opinion expressed at the 35th CSTE plenary meeting. Brussels, 17 December 2002. Brussels: European Commission, DG Health and Consumer Protection, 2002
- 33 Independent Expert Group on Mobile Phones. Mobile Phones and Health. NRPB, Chilton, Didcot, Oxon, 2000.
- 34 AGNIR. Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields. NRPB, Chilton, Didcot, Oxon, 2003, Verenigd Koninkrijk; Documents of the NRPB, Volume 14, No.2.
- 35 Gezondheidsraad: GSM-basisstations. Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; publicatie nr 2000/16.
- 36 Gezondheidsraad. Gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden - Aanbevelingen voor onderzoek. Den Haag: Gezondheidsraad, 2003; publicatie nr 2003/03.
- 37 Gezondheidsraad. Elektromagnetische velden: Jaarbericht 2003. Den Haag, Gezondheidsraad, 2004.
- 38 Bioelectromagnetics Society (BEMS), website: www.bioelectromagnetics.org; laatst geraadpleegd 11 maart 2003.
- 39 European BioElectromagnetics Association (EBEA), website: www.ebea.org; laatst geraadpleegd op 11 maart 2003.
- 40 International Union of Radio Science (URSI) XXVIIth General Assembly, Maastricht, 17-24 August 2002. www.ursi-ga2002.nl; laatst geraadpleegd op 11 maart 2003.
- 41 WBLDB/LEEMFO: knowlEdge-Based Literature DataBase on the Effects of Electro-Magnetic Fields on the Organism, The Research Center for Bioelectromagnetic Interaction, aan het

- universiteitshospitaal van de universiteit van Aken (FEMU/RWTH), wbladb.femu.rwth-aachen.de/; frequent geraadpleegd sinds 13 februari 2002.
- 42 Moulder JE. Cellular Phone Antennas (Mobile Phone Base Stations) and Human Health. Medical College of Wisconsin. www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html; frequent geraadpleegd sinds 3 oktober 2000.
- 43 Barnes FS and H Na. A review of some RF epidemiological studies. In: Programme oral presentations, International Union of Radio Science (URSI) XXVIIth General Assembly, Maastricht, 17 – 24 August 2002.
- 44 Litvak E, Foster KR and MH Repacholi. Health and Safety Implications of Exposure to Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300 Hz to 10 MHz. *Bioelectromagnetics*, 2002; 23:68-82.
- 45 Gezondheidsraad. Commissie ELF elektromagnetische velden. Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz - 10 MHz). Den Haag: Gezondheidsraad, 2000; publicatie nr 2000/6.
- 46 Michaelson SM and EC Elson. Modulated fields and 'window' effects. In: Polk, C and E Postow, eds. Biological effects of electromagnetic fields. Boca Raton, FL: CRC Press; 1996: 435-533.
- 47 NRPB. Board statement on restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation. NRPB: Chilton, Didcot, Oxon, 1993; Documents of the NRPB: Vol 4 No 5.
- 48 Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, and BRR Persson. Nerve Cell Damage in Mammalian Brain after Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones. *Environmental Health Perspectives*, 2003; Volume 111, Number 7.
- 49 Lai H and NP Singh. Malatonin and a spin-trap compound block radiofrequency electromagnetic radiation-induced DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*, 1997; 18: 446-454.
- 50 Malyapa RS, Ahern EW, Straube WL, Moros EG, Pickard WF and JL Roti Roti. Measurement of DNA damage following exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation. *Radiation Research* 1997; 148: 608-617.
- 51 Malyapa RS, Ahern EW, Straube WL, Moros EG, Pickard WF and JL Roti. Measurement of DNA damage following exposure to electromagnetic radiation in the cellular communications frequency band (835.62 and 847.74 MHz). *Radiation Research* 1997; 148: 618-627.
- 52 Dutta SK, Das, K, Ghosh B and CF Blackman. Dose dependence of acetylcholinesterase activity in neuroblastoma cells exposed to modulated radio-frequency electromagnetic radiation. *Bioelectromagnetics*, 1992; 13: 317.
- 53 Hocking B. Preliminary report: symptoms associated with mobile phone use. *Occup. Med.* 1998; 48: 357.
- 54 Wilén J, Sandström M and K Hansson Mild. Subjective symptoms among mobile phone users – A consequence of absorption of radiofrequency fields? *Bioelectromagnetics*, 2003; 24(3):152-159.
- 55 Hietanen M, Hamalainen AM and T Husman. Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: No causal link. *Bioelectromagnetics*, 2002; 23 (4): 264 – 270.
- 56 Zwamborn APM, Vossen SHJA, Van Leersum BJAM, Ouwens MA en WN Mäkel. Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well Being and Cognitive Functions of human subjects with and without subjective complaints. TNO: 's Gravenhage, september 2003; TNO-rapport no: FEL-03-C148.
- 57 Boice, JD jr. and JK McLaughlin. Epidemiological studies of cellular telephones and cancer risk – A review. Stockholm: Swedish Radiation Protection Authority; 2002; SSI rapport 2002:16.
- 58 Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J and AW Harris. Lymphomas in Eμ-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiation Research* 1997; 147: 631-640.
- 59 Utteridge TD, Gebiski V, Finnie JW, Vernon-Roberts B, en TR Kuchel. Long-term exposure of E micro-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma

- incidence. *Radiation Research* 2002; 158(3):357-364. Zie ook commentaar van Goldstein *et al.* in: *Radiation Research* 2003: 159(2):275-278 en 159(6): 835-836.
- 60 Goldstein SL, Kheifets L, Van Deventer E and M Repacholi. Comments on 'Long-term Exposure of Eμ-Pim1 Transgenic Mice to 898.4 MHz Microwaves Does Not Increase Lymphoma Incidence' by Utteridge *et al.*, *Radiat. Res.* 158, 357-364 (2002). *Radiation Research* 2003: 159(2):275-278. En het vervolg door dezelfde auteurs: Further Comments ... *Radiation Research* 159(6): 835-836.
- 61 SSI's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields. Recent Research on Mobile Telephony and Cancer and Other Selected Biological Effects: First annual report from SSI's Independent Expert Group on Electromagnetic Fields. Stockholm: SSI, December 2003.
- 62 COST Action 281. COST is a framework for international research and development cooperation, allowing to coordinate national research at European level. COST does not fund research as such, but coordination of research. The main objective of COST Action 281 (Potential Health Implications from Mobile Communication Systems) is to obtain a better understanding of possible health impacts of emerging technologies, especially related to communication and information technologies, that may result in exposure to electromagnetic fields (www.cost281.org, geraadpleegd 10 maart 2003).
- 63 Brief van de Staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, kenmerk DGM/SAS/2004009386; nota 'Nuchter omgaan met risico's, beslissen met gevoel voor onzekerheden', 30 januari 2004, <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=12350> (geraadpleegd 18 maart 2004).
- 64 SSC. Opinion on 'Possible health effects from exposure to electromagnetic fields (0 Hz - 300 Hz)'. Report and opinion adopted at the meeting of the Scientific Steering Committee of 25-26 June 1998. Brussels: European Commission, DG Health and Consumer Protection, 1998.
- 65 Raad van de Europese Gemeenschappen. Aanbeveling van de Raad van 12 juli 1999 betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz - 300 GHz (1999/519/EG). Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, L 199/59, 1999.
- 66 Brief van de minister van VWS aan de Tweede Kamer met het verslag van de zitting van de EU Volksgezondheidsraad van 8 juni 1999 te Luxemburg. Tweede Kamer, vergaderjaar 1998-1999, 21 501-19, nr. 38. Sdu Uitgevers, Den Haag, 1999.
- 67 Voor het werken met beeldschermapparatuur (Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen Pb L 156, 21 juni 1990, p. 14), voor werkneemsters tijdens de zwangerschap, na de bevalling en tijdens de lactatie (Pb L 348, 28 november 1992, p. 1) en voor bescherming van werknemers tegen fysische agentia (Pb C 77, 18 maart 1993, p. 12 en C 230, 19 augustus 1994, p. 3).
- 68 Brief van de minister van SZW aan de Tweede Kamer met de Geannoteerde Agenda ten behoeve van de Raad voor Werkgelegenheid en Sociaal Beleid, Volksgezondheid en Consumentenzaken van 8 oktober 2002 te Luxemburg. Tweede Kamer, vergaderjaar 2002-2003, 21 501-18 enz., nr. 173. Sdu Uitgevers, Den Haag, 2002.
- 69 Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC), Official Journal L 159, Volume 47, 30 April 2004 of the European Union.
- 70 zie onder andere: Antennes voor mobiele telefonie, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen (Pb) C 192 E/108; Bouw van mobiele-telefoonmasten, Pb C 137 E/179, 12 juni 2003; Elektromagnetische velden, Pb C 277 E/194, 14 november 2002; Masten voor mobiele telefonie, beeldschermapparatuur, Pb C 229 E/199, 26 september 2002; Elektromagnetische vervuiling door steunzenders voor mobiele telefonie, Pb C 160 E/115, 4 juli 2002; Wetenschappelijk advies inzake elektromagnetische vervuiling, Pb C 147 E/165, 20 juni 2002; TETRA-radiomasten, Pb C 147 E/37, 20 juni 2002; Gezondheidseffecten van antennes voor mobiele telefonie, Pb C 134 E/104, 6 juni 2002.
- 71 Hyland GJ. Physics and biology of mobile telephony. *Lancet*. 2000; 356(9244):1833-1836.

- 72 Hyland GJ. The physiological and environmental effects of non-ionizing electromagnetic radiation. Final study. Working document for the STOA Panel. Luxembourg: European Parliament, Directorate General for Research, Directorate A, The STOA-programme, March 2001.
- 73 COST action 281. Scientific Comment on Individual Statements of Concern About Health Hazards of Weak EMF. Report agreed upon by the Steering Committee of COST Action 281, November 2001 (www.cost281.org).
- 74 Hyland GJ. Response to COST281's 'Scientific Comment on Individuals Statements of Concern About Health Hazards of Weak EMF'. February 2002 (www.cost281.org/activiteits.php).
- 75 zie bijvoorbeeld: Van den Dongen J en Nordholt E. Nieuw netwerk gevaar voor gezondheid van agent. Telegraaf, 14 november 2002 en de reactie daarop van het Nationaal Antennebureau van 15 november 2002 (); 'Politiebond wil onderzoek naar nieuw communicatiesysteem', Utrechts Nieuwsblad, 27 februari 2003; Van Rongen E. Is C2000 (TETRA) apparatuur een gevaar voor de gebruiker? 27 februari 2003 (via www.c2000.nl).
- 76 Standardisation mandate addressed to CEN, CENELEC and ETSI in the field of electrotechnology, information technology and telecommunications. europa.eu.int/comm/enterprise/electr_equipment/lv/madate.html, geraadpleegd op 7 november 2002.
- 77 Richtlijn 73/23/EEG van de Raad van 19 februari 1973 betreffende de onderlinge aanpassing van wettelijke voorschriften de Lid-Staten inzake elektrisch materiaal bestemd voor gebruik binnen bepaalde spanningsgrenzen (Low Voltage Directive). Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, L 77, 26 maart 1973, p. 29-33.
- 78 Richtlijn 1999/5/EG van het Europees Parlement en de Raad van 9 maart 1999 betreffende radioapparatuur en telecommunicatie-eindapparatuur en de wederzijdse erkenning van hun conformiteit (R&TTE Directive). Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, L 91, 7 april 1999, p. 10-28.
- 79 zie bijvoorbeeld Staatscourant 14 oktober 2002, nr. 197 / pag. 12 voor de aankondiging van drie nieuwe normen: NEN-EN 50383:2002 – Basisnorm voor de berekening en het meten van elektromagnetische veldsterkte en SAR met betrekking tot blootstelling van de mens aan radiobasisstations en vaste eindstations voor draadloze telecommunicatiesystemen (110 MHz – 40 GHz); NEN-EN 50384:2002 – Productnorm om de overeenstemming aan te tonen van radiobasisstations en vaste eindstations voor draadloze telecommunicatiesystemen met de basiseisen of referentieniveaus met betrekking tot de blootstelling van de mens aan radiofrequente elektromagnetische velden (110 MHz – 40 GHz); NEN-EN 50385:2002 – Productnorm om de overeenstemming aan te tonen van radiobasisstations en vaste eindstations voor draadloze telecommunicatiesystemen met de basiseisen of referentieniveaus met betrekking tot blootstelling van de mens aan radiofrequente elektromagnetische velden (110 MHz – 40 GHz).
- 80 Wet van 19 oktober 1998, houdende regels inzake de telecommunicatie (Telecommunicatiewet), laatstelijk gewijzigd 29 mei 2002.
- 81 Besluit van 5 januari 1993, houdende uitvoering van de hoofdstukken 1 en 8 van de Wet Milieubeheer en hoofdstuk V van de Wet geluidhinder (Inrichtingen- en vergunningenbesluit milieubeheer), Staatsblad 50, 1993, laatstelijk gewijzigd 2 juli 2002.
- 82 Besluit van 15 januari 1997, houdende regels in het belang van de veiligheid, de gezondheid en het welzijn in verband met de arbeid (Arbeidsomstandighedenbesluit), Staatsblad 217, 1997, laatstelijk gewijzigd 14 april 2002.
- 83 Richtlijn 89/336/EEG van de Raad van 3 mei 1989 betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgevingen van de Lid-Staten inzake elektromagnetische compatibiliteit. Publicatieblad L 139 van 23 mei 1989, p. 0019-0026.
- 84 Zie onder andere: NEN-EN 50082-1:1997 - Elektromagnetische compatibiliteit; Algemene immuniteitsnorm; Deel 1: Huishoudelijke, handels- en licht-industriële omgeving., Staatscourant 1998, nr. 2, p. 8.
- 85 Richtlijn voor radiofrequente straling bij zendinrichtingen. Hoofinspectie van de Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne. VROM-publicatie 90-01, 1990.

- 86 Nota Nationaal Antennebeleid. Tweede Kamer, vergaderjaar 2000–2001, 27 561, nr. 1-2. Sdu Uitgevers, Den Haag, 2000.
- 87 Nationaal Antennebeleid; Motie voor onafhankelijk epidemiologisch onderzoek naar de effecten van straling door antennes op langere termijn, Tweede Kamer, vergaderjaar 2000-2001, 27 561, nr. 10, Sdu Uitgevers, 's-Gravenhage, 2001.
- 88 Brief van de minister van VWS aan de Tweede Kamer de met reactie op Gezondheidsraad-advies 2003/03 (Aanbevelingen voor onderzoek.). Nationaal Antennebeleid, Tweede Kamer, vergaderjaar 2003-2004, 27 561, nr. 17, 10 mei 2004.
- 89 Rijksoverheid. Convenant in het kader van het Nationaal Antennebeleid inzake vergunningvrije antenne-installaties voor mobiele telecommunicatie. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, namens de Rijksoverheid, 2002.
- 90 Brief van de staatsecretaris van V&W aan de Tweede Kamer. Tweede Kamer, vergaderjaar 2001-2002, 27 561, nr. 14, 2002; Besluit van 13 juli 2002, houdende voorschriften omtrent het bouwen waarvoor het vereiste van een bouwvergunning niet geldt, en omtrent het bouwen waarvoor een lichte bouwvergunning vereist is (Besluit bouwvergunningvrije en licht-bouwvergunningplichtige bouwwerken), Staatsblad 410, 2002.
- 91 Besluit van 13 juli 2002, houdende vaststelling van het tijdstip van inwerkingtreding van enkele artikelen van de wet van 18 oktober 2001 tot wijziging van de Woningwet naar aanleiding van (...) enkele artikelen van het Besluit bouwvergunningvrije en licht-bouwvergunningplichtige bouwwerken. Staatsblad 411, p.1-3, 2002.
- 92 Website Nationaal Antennebureau, www.antennebureau.nl/start.htm, geraadpleegd op 14 november 2002.
- 93 Brief van de Ministers van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en van Volksgezondheid, Welzijn en Sport aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. Tweede Kamer, vergaderjaar 2000-2001, 27 561, nr. 13, 8 juni 2001.
- 94 Nota 'Nuchter omgaan met risico's -- Beslissen met gevoel voor onzekerheden --', Ministerie van VROM, Den Haag, 30 januari 2004, geraadpleegd 18 maart 2004. http://www.vrom.nl/get.asp?file=/docs/milieu/NOR_jan2004.pdf.
- 95 Kamervragen Tweede Kamer: 2003-2004, nrs. 278, 279, 280 en 454; 2002-2003, nrs. 455 en 1451; 2001-2002, nrs. 1512, 1248 en 878; 2000-2001, nrs. 1613, 584 en 477; 1999-2000, nr. 1480; 1998-1999, nrs. 1970, 1725, 1722, 1637, 1636, 1235, 282 en 64; 1997-1998, nrs. 1731, 1630, 912 en 608; 1996-1997, nr. 632; 1995-1996, nr. 1141; www.overheid.nl/op (geraadpleegd 1 maart 2004).
- 96 Columbi. Internationale vergelijking antennebeleid. Directoraat-Generaal Telecommunicatie en Post, 11 juli 2000.
- 97 Rijksdienst voor Radiocommunicatie. Blootstellingslimieten - een internationale vergelijking. Directoraat-Generaal Telecommunicatie en Post, juni 2000.
- 98 European Commission. Implementation report on the Council Recommendations limiting the public exposure to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). DG Health and Consumer Protection, 2002.
- 99 WHO. EMF World Wide Standards www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Worldmap5.htm (Last Updated on 9-Mar-2002).
- 100 WHO. The International EMF Project. Progress Report 2002-2003 (Eighth progress report; covers activities and outputs for the period May 2002 to May 2003; http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/en/ProgressReport2002_2003.pdf ; geraadpleegd 12 mei 2004).
- 101 Bot TWM en T De Vries. Locale en regionale wet- en regelgeving voor de circulaire EM-velden bij zendinrichtingen en hoogspanningslijnen: DHV Milieu en Infrastructuur BV; 1999 May; DHV reg. nr. ML-BU980860.
- 102 zie bijvoorbeeld de beleidsnotitie 'Antennebeleid. Beleidslijn voor (GSM)zendinstallaties en C2000' van de gemeente Dongeradeel, 2002; beleidsnotities zijn soms zeer uitgebreid zoals de Beleidsnotitie 'Antenne-installaties voor mobiele telecommunicatie in Simpelveld', vastgesteld door de gemeenteraad van Simpelveld op 28 september 2000, of behandelen de problematiek in detail zoals de notitie 'Antennebeleid gemeente Renkum' uit 2001.

- 103 DHV Milieu en Infrastructuur BV. Aanvraaginstructie milieuvergunning; eindversie van 16 juli 2001; www.dhv-zerobase.nl/diensten.html (geraadpleegd 4 april 2003).
- 104 zie twee recente voorbeelden: de problematiek rond de middengolfzender in de Trintelhaven, aan de dijk Enkhuizen-Lelystad (Connie Vertegaal, Radiomast doet boegschroef draaien en lampen branden, Noordhollands Dagblad, 10 augustus 2002) en die rond de zendmast naast de IJsselsteinse wijk Zenderpark ('Probleem zendmast IJsselstein opgelost' en 'Verwarring om zendmast', Utrechts Nieuwsblad, 2 april 2003; 'Kamer zet zendmasten op de agenda', Utrechts Nieuwsblad, 5 maart 2003).
- 105 Provincie Flevoland. Beleidsregels antenne-installaties voor mobiele telecommunicatie. Verordeningen, Reglementen en Beleidsregels C.3.3. Provinciaal Blad nr. 6, 2001.
- 106 Provincie Zeeland. Evaluatie Streekplan Zeeland, vastgesteld door Provinciale Staten op 28 juni 2002; www.zeeland.nl.
- 107 Provincie Utrecht. Concept van het ontwerp Streekplan Utrecht 2005 - 2015. Maart, 2003.
- 108 Interprovinciaal Overleg IPO. Jaarplan 2002 (p. 21). Den Haag, 20 december 2001. Zie ook IPO-Jaarverslag 2001, p. 28.
- 109 Meldpuntennetwerk Gezondheid en Milieu. Cahier 'Het Nationaal Antennebeleid, wat betekent dat voor de burger?', Nummer 10. Stichting Meldpuntennetwerk Gezondheid en Milieu, zomer 2001.
- 110 Website Kathrein: 790 – 2500 MHz Base Station Antennas for Mobile Communications, Status: January 2003. <http://www.kathrein.de/de/mca/kataloge/download/9987042.pdf>, geraadpleegd 6 augustus 2003.
- 111 Casavola L, Ziyat A, Picardo D en J Ch Bolomey. Rapid evaluation of electric and magnetic field radiated by base station antennas for cellular communication. Sessie KA.P.2 (881) in: Programme oral presentations, International Union of Radio Science (URSI) XXVIIth General Assembly, Maastricht, 17 – 24 August 2002.
- 112 Agentschap Telecom. Meetvoorschriften voor het uitvoeren van EMF-metingen rond basisstations. 2003.
- 113 Website: Sitefinder – Mobile Phone Base Station Database, Radiocommunications Agency. <http://www.sitefinder.radio.gov.uk/>, geraadpleegd 10 juli 2003.
- 114 Ouwens MA en AB Woltering. Veldsterktemetingen GSM 1800-steunpunt. TNO: 's Gravenhage, 1999; TNO-rapport: FEL-99-C072.
- 115 Website Nationaal Antennebureau. UMTS. Te downloaden op: http://www.antennebureau.nl/toepassingen_UMTS.htm, geraadpleegd 28 november 2003.
- 116 Vodafone elektronische folder. Vodafone D2 informeert Fragen und Antworten zu UMTS, v8/2002. Te downloaden op: http://www.vodafone.de/downloadarea/faq_umts2002-8.pdf, geraadpleegd 5 december 2003.
- 117 Andersen JB and GF Pedersen. The technology of mobile telephone systems relevant for risk assessment. Radiation Protection Dosimetry Vol. 72, No 3-4, 249-257, 1997.
- 118 Nationaal Frequentieplan. Staatscourant 20 juni 2002, nr. 115. Te downloaden op: http://www.agentschap-telecom.nl/pdf/NFP_2002_CD.pdf, geraadpleegd 22 augustus 2003.
- 119 Aanhangsel van de handelingen: Vragen van het lid Van Dam (pvdA) aan de Minister van Economische Zaken over mogelijk nadelige beïnvloeding van het welzijn van mensen door UMTS-antennes (Ingezonden 3 oktober 2003). Tweede Kamer, vergaderjaar 2003-2004, 2030400840, Sdu Uitgevers, Den Haag, 2003.
- 120 Website ITO (Informatie en Communicatie en Technologie Organisatie): Wat is C2000? <http://www.ito.nl/index.html>, geraadpleegd 11 augustus 2003.
- 121 Website C2000: C2000, digitaal netwerk: <http://www.c2000.nl>, geraadpleegd 14 augustus 2003.
- 122 ETSI. Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 1: General network design. ETS 300 392-1, 1996. Naast de ETS 300 392-1 worden nog vervolg delen uitgebracht. Zie voor overzicht van aanverwante normen en aanvullende delen bijvoorbeeld: Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 17: TETRA V+D and DMO Release 1.1 specifications, 2001.

- 123 Website TetraNed: Volledig voorbereid op de toekomst. <http://www.tetraned.nl>, geraadpleegd 15 augustus 2003.
- 124 Website Motorola: Motorola and TETRA. <http://www.motorola.com/cgiss/emea/tetra/home.html>, geraadpleegd 11 augustus 2003.
- 125 Website van C2000 startregio: C2000 startregio Amsterdam. <http://www.startregio.nl>, geraadpleegd 14 augustus 2003.
- 126 Nationaal Antennebureau. Nationaal Antennebeleid, Vraagbaak voor de uitvoering. Nationaal Antennebureau: Groningen, december 2002.
- 127 Clemens CHM en AB Woltering. Stralingsniveaus in de nabijheid van C2000-basisstations. TNO: 's Gravenhage, 1998; TNO rapport: FEL-98-C236.
- 128 Clemens CHM, Vossen SHJA, Woltering AB en APM Zwamborn. Onderzoek naar mogelijke gezondheidseffecten bij het gebruik van portofoons binnen het C2000-radionetwerk. TNO: 's Gravenhage, 2002; TNO rapport: FEL-02-C152.
- 129 NRPB. Possible Health Effects from Terrestrial Trunked Radio (TETRA). NRPB-Advisory Group on Non-ionising Radiation: Chilton, Didcot, Oxon, Verenigd Koninkrijk, 2001; Documents of the NRPB, volume 12, no 2.
- 130 Website EZ: Vergunningverlening Wireless Local Loop (WLL) http://www.ez.nl/default_bel.asp?pagina=wll, geraadpleegd 24 september 2003.
- 131 Trommelen PH, Van Staalduinen KJ en MAA Melters. Technische randvoorwaarden voor de uitgifte van frequenties voor 'Wireless Local Loop' systemen. TNO: 's Gravenhage, 1998; TNO-rapport: FEL-98-c309.
- 132 Agentschap Telecom. Voorwaarden gebruikt draadloze dataverbindingen (RadioLANs) in de 2,4 en 5 GHz banden. Telecom Nieuwsbrief April 2003; Nummer 04-03 FIS. Te downloaden op: www.agentschaptelecom.nl/informatie/publicaties/nieuwsbrieven/nb_0403_fis.html.
- 133 Website WiFifinder. <http://www.wififinder.com>, geraadpleegd 29 september 2003.
- 134 Website MiWiFi. Hotspots zoeken. <http://www.miwifi.nl>, geraadpleegd 29 september 2003.
- 135 Website Wireless Leiden. <http://www.wirelessleiden.nl>, geraadpleegd 28 oktober 2003.
- 136 KPN. KPN breidt WLAN activiteiten uit, persbericht 5 mei 2003. KPN-corporate website: www.kpn-corporate.com/nl/pers/, geraadpleegd 7 oktober 2003.
- 137 Circuit Court of Cook County, Illinois County Department, Chancery Division. Plaintiffs vs. Oak Park Elementary School District 97, 26 September 2003. Te downloaden op: <http://wifinetnews.com/archives/illinoislawsuit.pdf/illinoislawsuit.pdf>, geraadpleegd 13 oktober 2003.
- 138 Website Agentschap Telecom EZ: Vaste verbindingen technische informatie: Vergunning informatie. http://www.agentschaptelecom.nl/marktsegment/vaste_verbindingen/vastverb_tech_info.html, geraadpleegd 29 augustus 2003.
- 139 Website Antennebureau: Vaste verbindingen. http://www.antennebureau.nl/toepassingen_vasteverbindingen.htm, geraadpleegd 2 april 2003.
- 140 Agentschap Telecom. Verruiming regelgeving kleine satelliet grondstations. Telecom Nieuwsbrief September 2001: Nummer 08-01 M&V. Te downloaden op: http://www.agentschap-telecom.nl/informatie/publicaties/nieuwsbrieven/nb_0801_mv.html, geraadpleegd 5 november 2003.
- 141 Agentschap Telecom. Voorschriften en beperkingen. Radiozendamateurs. Agentschap Telecom, Groningen, september 2003. Te downloaden op: <http://www.at-ez.nl/pdf/vergunningen/908.pdf>, geraadpleegd 22 oktober 2003.
- 142 Ulcek JL, and RF Cleveland Jr. Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields. FCC: Washington, Washington DC, VS, January 1997; Supplement B (Edition 97-01) to OET Bulletin 65 (Edition 97-01).
- 143 Cleveland, RF Jr. Measurements of environmental electromagnetic fields at amateur radio stations. FCC: Washington, Washington DC, VS, 1996; FCC/OET ASD-9601.

- 144 Inspectie Verkeer en Waterstaat. Eindrapport Verkenning toekomstige marktbehoefte besloten netwerken en -systemen (non-trunking). Divisie Telecom van Inspectie Verkeer en Waterstaat, uitvoering Intercai Nederland B.V. in samenwerking met NEI B.V., Groningen, 1 juli 2000.
- 145 Agentschap Telecom. Overzicht vrijgestelde toepassingen. Telecom Nieuwsbrief December 2003; Nummer 08-03 FIS. Te downloaden op: http://www.agentschap-telecom.nl/pdf/vrijstelde_toepass.pdf, geraadpleegd 8 januari 2004.
- 146 Website Skygliders. Radio's - PMR en LPD, MT-4000L. <http://www.skygliders.nl/main/shop/pmr-lpd-vario/pmr-lpd.htm>, geraadpleegd 5 juli 2004.
- 147 Van der Plas M en GJ Eggink. Gezondheidseffecten van mobiele telefonie. RIVM: Bilthoven, 1999; RIVM rapport 610059004.
- 148 Pedersen GF and JB Andersen. RF and ELF exposure from cellular phone handsets: TDMA and CDMA systems. Radiation Protection Dosimetry, 1999; 83: 131-138.
- 149 ETSI. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception. ETSI TC-SMG: Sophia Antipolis, Valbonne, Frankrijk, 1996; GSM 05.05, version 5.2.0 july 1996, ICS: 33.060.50 .
- 150 Van Leeuwen GM, Lagendijk JJW, Van Leersum BJAM and APM Zwamborn. Thermal & RF Modelling of Cellular Phones (THERMIC) Work package 2: Demonstration and validation of the models. TNO: 's Gravenhage, 1999; TNO-rapport: FEL-99-C128.
- 151 - Website Alcatel: SAR information. <http://my-onetouch.com/worldwide/com/common/sar/index.shtml> , geraadpleegd 22 juli 2003.
- Website Motorola: Vergelijk de telefoons. (Informatie over Nederland). <http://direct.motorola.com/dut/comparephones.asp?country=NLD&language=DUT&productid=29043&cat=3> en website: RF Exposure/Specific Absorption Rate (SAR) Information. <http://www.wapps.motorola.com/rfhealth/sar/sarLNprocess.jsp?region=Europe%20/%20Middle%20East%20/%20Africa&country=ALL&standard=ICNIRP-1&language=English>, beide geraadpleegd 23 juli 2003;
- Website Nokia: Phone Models - Europe, Africa, Middle East, <http://www.nokia.com/nokia/0.,73,00.html>, geraadpleegd 24 juli 2003;
- Website Panasonic: Mobilephone Global Site. http://www.panasonicmobile.com/frame/e_eng.html, geraadpleegd 24 juli 2003;
- Website Siemens: Siemens Mobile Netherlands. http://www.my-siemens.com/MySiemens/CDA/Index/0,2730,NL_nl_0_product%253AMW%252FHD%252FHD,FF.html (In Nederland te koop) en website: SAR values for Siemens mobile phones. http://www.siemensmobile.de/mobile/CDA/presentation/ap_mobile_cda_presentation_frontdoor/0,1950,297,00.html (SAR waarden van alle telefoons), beide geraadpleegd 25 juli 2003;
- Website Sony-Ericsson. Welcome to the Sony-Ericsson Global Website. <http://www.sonyericsson.com/nl>, geraadpleegd 25 juli 2003.
- Website Sagem: zonder titel. <http://www.sagem.com/en/index.htm>, geraadpleegd 8 augustus 2003;
- Website Mitsubishi: The Trium-Mitsubishi Range. http://www.mitsubishi-telecom.com/products_mobile_phones.asp, geraadpleegd 22 juli 2003;
- Website Sharp: <http://www.shartp-mobile.com/>, geraadpleegd 22 juli 2003;
- Website Philips: Mobiele Telefoons. http://www.consumer.philips.com/global/b2c/ce/catalog/category.jhtml?divId=0&groupId=COMMUNICATIONS_GR&catId=MOBILE_PHONES_CA, geraadpleegd 25 juli 2003.
- 152 Manning MI and CHB Gabriel. SAR test on mobile phones used with and without personal hands-free kits. SARtest Ltd.: Newdigate, Surrey, Verenigd Koninkrijk, 2000; SARTest Report 0083, Juli 2000.
- 153 CBS. De Digitale Economie 2003. Staat 4.1.1., cijfers uit december. CBS: Voorburg/Heerlen, 2003; CBS productnummer 0041303010. Te downloaden op: <http://www.cbs.nl/nl/publicaties/bedrijfsleven/algemeen/p-34-03.pdf> , geraadpleegd op 5 augustus 2003.
- 154 KPN. Jaarverslag 2002. Koninklijke KPN-NV: Den Haag, 2003.

- te downloaden op: www.kpn-corporate.com/nl/kpn/alg/jaarverslag.php?taal=nl , geraadpleegd 5 augustus 2003.
- 155 Website Motorola. Motorola Mediacenter - Press Releases. http://www.motorola.com/mediacenter/news/detail/0,1958,2180_1769_23,00.html, geraadpleegd 25 augustus 2003.
- 156 Website Nokia. Phone models - Africa, Europe, Middle East. <http://www.nokia.com/nokia/0,,73,00.html>, geraadpleegd 24 juli 2003.
- 157 Van Rongen, E. Is TETRA-apparatuur (C2000) een gevaar voor de gebruiker? NVSnieuws; 2003,2.
- 158 Repacholi MH. Low-Level Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields: Health Effects and Research Needs. Bioelectromagnetics, 1998; 19:1-19.
- 159 Ministerie van Economische Zaken. De Digitale Delta. Nederland online. Min. EZ: Den Haag, juni 1999. Te downloaden op: <http://www.ez.nl/publicaties/pdfs/05r105.pdf> .
- 160 Website Nozema. Welkom bij Nozema. <http://www.nozema.nl/Homepage2.html>, geraadpleegd 7 november 2003.
- 161 Website Broadcastpartners. Over Broadcastpartners. <http://www.broadcastpartners.nl/ned/index.htm>, geraadpleegd 7 november 2003.
- 162 Van Staalduinen KJ, Verhoest P, Ballon P, Clemens CHM en AB Woltering. Studie naar de haalbaarheid van synchrone middengolfzenders in Nederland. TNO-FEL: 's Gravenhage, 1998; TNO-rapport FEL-98-C282.
- 163 CD van Agentschap Telecom. Technische Beschrijving Kavel. Herindeling van commerciële radio-omroepfrequenties. (AM en FM frequentiekavels) peildatum gegevens 12 september 2002.
- 164 Dahme M. Residential RF exposures. Radiation Protection Dosimetry, 1999; Vol. 83, Nos1-2, pp 113-117.
- 165 Gemeente Zeewolde (Martin Etman, wethouder). Minisymposium 'kortegolfzendstation en volksgezondheid', theater Arcade te Zeewolde 13 december 1999. Gemeente Zeewolde, 12 mei 2000.
- 166 Kouw PM en R v.d. Weerdt. Inventarisatie van gezondheidsklachten rond de kortegolfzender te Zeewolde. GGD Flevoland: Lelystad, juni 1997.
- 167 Witvliet B en B Bogaard. Veldsterktemetingen Trintelhaven, AM middengolf 1395 kHz. Agentschap Telecom: Groningen, augustus 2002.
- 168 Intres EL. Metingen AM-zenders Trintelhaven. TNO-FEL: 's Gravenhage, februari 2002; TNO-rapport FEL-02-EM03.
- 169 Binnenmarsch LW, Bruntink GJ, Fieten WH, Hamelink SG, Van der Hoeven RJ en HC Milius. Herindeling van de FM-band 2001, een efficiënte Zerobase herindeling naar moderne maatstaven. Broadcast Partners en Nozema: Terneuzen, 1 mei 2001.
- 170 Elektronische folder op website Nozema: Geschiedenis van Zerobase. <http://www.nozema.nl/ZeroBaseTeksten/GeschiedenisZerobase.doc>, geraadpleegd 4 december 2003.
- 171 Website Agentschap Telecom. Overzicht van analoge en digitale TV zenders. <http://www.at-ez.nl/dav/>, geraadpleegd 7 november 2003.
- 172 Van de Kamp H¹, Brussaard G¹ en H Leonhard². Elektrische veldsterkte van radiozenders in Nederland. Een oriëntatie van de mogelijkheden tot het in kaart brengen van elektrische velden in het radiofrequente bereik. Adviesbureau Radicom¹ en Rijksdienst voor Radiocommunicatie²: Groningen, juni 2000; intern document RDR, niet gepubliceerd.
- 173 Egli JJ. Radio propagation above 40 MC over irregular terrain. Proceedings of the IRE, 1957; 45:1383-1391.
- 174 Leonhard HK. De veldsterktesituatie bij zendinstallaties. Rijksdienst voor Radiocommunicatie: Groningen, mei 2000; intern document, niet gepubliceerd.
- 175 Website DRM consortium. DRM. www.drm.org/system/globsample.htm, geraadpleegd 7 november 2003.

- 176 Hubregtse JJ, Van Pamelan MAJ en XD Yeh. Kosten van het uitzenden in de L-band. Onderzoeksresultaten. Ministerie EZ: Den Haag, juli 2003.
- 177 Website Digitenne. Wat biedt Digitenne? <http://www.digitenne.com/>, geraadpleegd 7 november 2003.
- 178 Mann J, Lee R, Aragon T and R Bhatia. Radiofrequency Radiation from Broadcast Transmission Towers and Cancer: A Review of Epidemiological Studies. San Francisco, Department of Public Health: San Francisco, maart 2001.
- 179 Dolk H, Shaddick G, Walls P, Grundy C, Thakrar B, Kleinschmidt I and P Elliot. Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. I. Sutton Coldfield Transmitter. American Journal of Epidemiology 145(1):1-9, 1997.
- 180 BfS. Schutz vor niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern der Energieversorgung und -anwendung. Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK), Heft 7, 1997.
- 181 Mantiply ED, Pohl KR, Popell SW and JA Murphy. Summary of Measured Radiofrequency Electric and Magnetic Fields (10 kHz to 30 GHz) in the General and Work Environment. Bioelectromagnetics 18:563-577, 1997.
- 182 Polichetti A and P Vecchia. Intermediate frequency (300 Hz – 10 MHz) electromagnetic fields: physical characteristics and public exposure, in: Matthes R, Van Rongen E and MH Repacholi (eds.). Health effects of electromagnetic fields in the frequency range 300 Hz to 10 MHz. ICNIRP 8/99
- 183 Website Bundesamt für Strahlenschutz. FAQs Haushaltgeräte: Häufig gestellte Fragen zum Thema 'Elektrische und magnetische Felder bei Haushaltgeräten'. Te downloaden op: http://www.bfs.de/elektro/faq/faq_haushalt.html, geraadpleegd 13 november 2003.
- 184 Tofani S, Anglesio L, Ossola P and G d'Amore. Spectral analysis of magnetic fields from domestic appliances and corresponding induced current densities in an anatomically based model of the human head. Bioelectromagnetics 16, 356-364, 1995.
- 185 Kaune WT, Miller MC, Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Wacholder S, Mohr AH, Tarone RE and C Haines. Magnetic fields produced by hand held hair dryers, stereo headsets, home sewing machines, and electric clocks. Bioelectromagnetics 23, 14-25, 2002.
- 186 Website Nemko Comlab. <http://www.comlab.no>, geraadpleegd 14 augustus 2003.
- 187 Bundesamt für Strahlenschutz. Stellungnahme zum Artikel über DECT-Telefone 'Ganz schön sendebewusst', Öko-TEST September 2002. Te downloaden op: <http://www.bfs.de/elektro/papiere/dect.html>, geraadpleegd 4 augustus 2003.
- 188 BfS. BfS-Infoblatt 02/98 vom 12. August 1998: Gesundheitliche Risiken durch Mikrowelllenkochgeräte? Te downloaden op: <http://www.bfs.de/druck/infoblatt/mikrowelle.html>, geraadpleegd 11 december 2003.
- 189 Jokela K and L Puranen. Occupational RF Exposures. Radiation Protection Dosimetry Vol. 83, Nos 1-2, pp. 119-124, 1999.
- 190 Website Met Office. Cabauw, Netherlands. <http://www.meto.gov.uk/research/interproj/cwinde/profiler/cabauw/index.html>
- 191 WHO. Electromagnetic fields and public health radars and human health. WHO: Fact Sheet No226, June 1999.
- 192 Website TNO-FEL. Radar Systems PHARUS technical specifications. http://www.tno.nl/instit/fel/os/fac/ra_fac_pha_tech.html, geraadpleegd 26 november 2003.
- 193 Website VCN Beveiligingen. Elektronische Inbraakbeveiliging. <http://www.inbraakbeveiliging.nl/beveiliging/elektronisch/index1.htm>, geraadpleegd 27 november 2003.
- 194 Burggraaf D. RADAR niveaumetingen. Automatie 2, pag 4-7, 2003.
- 195 Zie fabrikanten websites met technische opgaven: Website Accurate Locators: Zond: Ground Penetrating Radar, http://www accuratelocators.com/zond_specs.html#2000 en Website Geomodel. Ground Penetrating Radar Surveys. <http://www.geomodel.com>. Website Geophysical Services. Ground Penetrating Radar (GPR) <http://www.geosurvey.co.nz/services.html>, geraadpleegd 20 november 2003.

- 196 Radarkommission. Bericht der Expertenkommission zur Frage der Gefährdung durch Strahlung in früheren Radareinrichtungen der Bundeswehr und der NVA (Radarkommission). Radarkommission: Berlin, 2 juli 2003.
- 197 STANAG 1979. NATO Standardisation agreement (STANAG) 2345, Evaluation and Control of Personnel Exposure to Radiofrequency Fields. NATO: Brussel, 1979.
- 198 Brief van de staatssecretaris van Defensie aan de Tweede Kamer. Leukemie bij uitgezonden militairen. Tweede Kamer, vergaderjaar 2000-2001, 27 580, nr. 3. Sdu Uitgevers, Den Haag, 2001.
- 199 Lotz WG, Rinsky RA and RD Edwards. Occupational exposure of police officers to microwave radiation from traffic radar devices. (U.S.) National Institute for occupational safety and health: Cincinnati, Ohio, June 1995.
- 200 Fink JM, Wagner JP, Congleton JJ and JC Rock. Microwave Emissions from Police Radar. American Industrial Hygiene Association Journal 60:770-776, 1999.
- 201 Finkelstein MM. Cancer Incidence Among Ontario Police Officers. American Journal of Industrial Medicine 34:157-162, 1998.
- 202 NEN-EN 50357:2001 - Beoordeling van blootstelling van het menselijk lichaam aan elektromagnetische velden afkomstig van toestellen gebruikt in Elektronische Artikel Bewaking (EAB), Radio Frequency Identification (RFID) en soortgelijke toepassingen. Staatscourant 15 januari 2002, nr. 10/ pag. 29.
- 203 Harris C, Boivin W, Boyd S, Coletta J, Kerr L, Kempa K and S Aranow. Electromagnetic field strengths levels surrounding electronic article surveillance (EAS) systems. Health Physics 78(1): 21-27, 2000.
- 204 Floderus B, Stenlund C and F Carlgren. Occupational Exposures to High Frequency Electromagnetic Fields in the Intermediate Range (> 300 Hz – 10 MHz). Bioelectromagnetics 23:568-577, 2002.
- 205 Boivin W, Coletta J and L Kerr. Characterization of the magnetic fields around walk-through and hand-held metal detectors. Health Physics 84-5:582-593, 2003.
- 206 Gandhi Om P and G Kang. Calculation of induced current densities for humans by magnetic fields from electronic article surveillance devices. Phys. Med. Biol. 46: 2759-2771, 2001.
- 207 Paulussen C. Slimme chips van Philips in labels Benetton-kleding. Eindhovens Dagblad 12 maart 2003.
- 208 Website AIM. Persbericht Norm Ontwikkelingen: RFID-toepassingen voor verpakkingen. <http://www.aim-ned.nl/persberichten/verpakking.asp>.
- 209 Website AIM. Normen voor Automatische Identificatie. NEN downloadbaar via: http://www.aim-ned.nl/artikelen/29_flyer%20AI-versie%205_0.pdf, geraadpleegd 19 november 2003.
- 210 Van de Nes JAS. Watson-winkels besparen met RF-bestellen kosten op breed terrein. AIMagazine 12-3:18-22, 2003.
- 211 Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference, New York, 19-22 June, 1946; signed on 22 July 1946 by the representatives of 61 States (Official Records of the World Health Organization, no. 2, p. 100) and entered into force on 7 April 1948.
- 212 WHO. Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields. Geneve: WHO; 2002.
- 213 Teule G. GSM-straling En de grondwettelijke onaantastbaarheid van het lichaam. Sigma Press bv.; 2001.
- 214 Website IGUMED. Freiburger Appell. <http://www.windoc.be/step/freiburg01.html>, geraadpleegd 24 februari 2004.

Bijlage 1 Lijst van afkortingen

APC	Automatic Power Control
AT-EZ	Agentschap Telecom van het Ministerie van Economische Zaken
AM	amplitudemodulatie
AZU	Academisch Ziekenhuis Utrecht
BEMS	Bioelectromagnetics Society
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CDMA	Code Division Multiple Access
CEN	Comité Européen de Normalisation / European Committee on Normalisation
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique / European Committee on Electrotechnical Standardisation
COFAM	COgnitive Functions And Mobiles (TNO-onderzoek)
COST	European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research
CRT	Cathode-Ray Tube
CSTEE	Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment
DCS1800	Digital Cellular System (voor mobiele telecommunicatie-diensten)
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunication
DMO	Direct Mode Operating
DRM	Digital Radio Mondiale
DTX	Discontinuous Transmission
DVB-T	Digital Video Broadcasting Terrestrial
EAS	Electronic Article Surveillance
EBEA	European BioElectromagnetics Association
EC	Europese Commissie
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
ELF	extreem-laagfrequent
EMC	elektromagnetische compatibiliteit
EMF	electromagnetic fields – elektromagnetische velden; ook de naam van een project van de WHO
EMRP	Equivalent Monopole Radiated Power
ERP	Effective Radiated Power
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EU	Europese Unie
EZ	Ministerie van Economische Zaken
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEM	Finite Elements Method (rekenmethode voor dosisberekeningen in het menselijk lichaam)FM
FM	frequentiemodulatie
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave
FTDT	Finite Difference Time Domain (rekenmethode voor dosisberekeningen in het menselijk lichaam)
FWA	Fixed Wireless Access
GGD	Gemeenschappelijke GezondheidsDienst
GPR	Ground Penetrating Radar
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System

GSM	Global System for Mobile Communications (digitaal cellulair systeem voor mobiele telecommunicatie)
GWR	Guided Wave Radar
HSCD	High Speed Circuit Switched Data
Hz	herz (eenheid van frequentie); 1 kHz = 1000 Hz; 1 MHz = 1 miljoen Hz; 1 GHz = 1 miljard Hz
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IEGMP	Independent Export Group on Mobile Phones
INTERPHONE	internationale studie, gecoördineerd door IARC, naar de relatie tussen het gebruik van mobiele telefoons en het risico op hersentumoren
ITU	International Telecommunications Union
KEMA	Keuring Elektrotechnische Materialen Arnhem
KLPD	Korps Landelijke PolitieDiensten
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LMDS	Local Multipoint Distribution System
LVNL	Luchtverkeersleiding Nederland
MoM	Method of Moments (rekenmethode voor dosisberekeningen in het menselijk lichaam)
MP-MP	Multipoint-to-Multipoint
MRI	Magnetic Resonance Imaging - beeldvormende techniek in de medische diagnostiek die van magnetische resonantie gebruikt maakt
Nabu	Nationaal Antennebureau
NCRP	National Council for Radiation Protection and Measurement (US)
NEC-EMC	commissie Elektromagnetische Compatibiliteit van het Nederlands Electrotechnisch Comité
NEC-EMF	commissie Elektromagnetische Velden van het Nederlands Electrotechnisch Comité
NEN	Nederlands Normalisatie-Instituut
NIS	niet-ioniserende straling
NRPB	National Radiological Protection Board (UK)
PEP	Peak Envelope Power
PERFORM A	in vivo research on possible health effects related to mobile telephones and base stations (carcinogenicity studies in rodents)
PHARUS	PHased ARray radar
PMP	Point-to-Multipoint
PMR	Personal Mobile Radio
RDR	Rijksdienst voor Radiocommunicatie (heet nu AT-EZ)
RF	radiofrequent
RFID	Radio Frequency IDentification
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RMS	root mean square - vierkantswortel uit het gemiddelde van de kwadraten
R&TTE	Europese richtlijn voor radioapparatuur en telecommunicatie-eindapparatuur
SAC	Specific Absorption per Call
SAD	Specific Absorption per Day
SAR	Specific Absorption Rate - specifiek absorptietempo
SSC	Scientific Steering Committee
STANAG	STAndardisation AGreement

STOA	Scientific and Technological Options Assessment
T-DAB	Terrestrial Digital Audio Broadcasting
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TFT	Thin Film Transistor (a type of LCD (Liquid Crystal Display) flat panel display screen)
TLM	Transmission Line Matrix (rekenmethode voor dosisberekeningen in het menselijk lichaam)
TNO-FEL	Fysisch en Elektronisch Laboratorium van de Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TRX	Transceiver (transmitter + receiver; zend- en ontvangsteenheid)
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System (standaard voor een digitaal mobiel netwerk dat zowel smalbandig als breedbandig mobiel verkeer kan schakelen)
URSI	International Union of Radio Science
VNG	Vereniging Nederlandse Gemeenten
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
VWS	Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
V&W	Ministerie van Verkeer en Waterstaat
WHO	World Health Organization – Wereld Gezondheids Organisatie
WiFi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WLL	Wireless Local Loop
ZeroBase	project voor de herindeling van de FM-band voor omroepzenders

Bijlage 2 Referentieniveaus (volgens de EU-aanbeveling)

In Tabel 6 en Tabel 7 zijn de referentieniveaus gegeven, die door de EU zijn aanbevolen en die inmiddels door de Nederlandse overheid zijn overgenomen.

*Tabel 6 Referentieniveaus voor RMS-waarden van elektrische, magnetische en elektromagnetische velden.
(bron: EU [65])*

frequentiegebied	<i>E</i> -veldsterkte	<i>H</i> -veldsterkte	<i>B</i> -veld	equivalente vermogensdichtheid voor vlakke golven S_{eq}
	V/m	A/m	μT	W/m^2
0,3 - 0,8 kHz	250/ f	4/ f	5/ f	-
0,8 - 3 kHz	250/ f	5	6,25	-
3 - 150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 - 1 MHz	87	0,73/ f	0,92/ f	-
1 - 10 MHz	87/ $\sqrt{f}$	0,73/ f	0,92/ f	-
10 - 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 - 2 000 MHz	1,375 $\sqrt{f}$	0,0037 $\sqrt{f}$	0,0046 $\sqrt{f}$	#200
2 - 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Opmerkingen:

- f in de eenheid zoals aangegeven in de kolom van het frequentiegebied.
- Voor frequenties tussen 100 kHz en 10 GHz moeten S_{eq} , E^2 , H^2 en B^2 over een willekeurige periode van zes minuten worden gemiddeld.
- Voor frequenties boven 10 GHz moeten S_{eq} , E^2 , H^2 en B^2 worden gemiddeld over een willekeurige periode van $68/f^{1,05}$ -minuten (f in GHz).
- Voor frequenties < 1 Hz, die in feite statische elektrische velden zijn, wordt geen *E*-veldwaarde gegeven. De meeste mensen ervaren elektrische oppervlakteladingen bij een elektrische veldsterkte van minder dan 25 kV/m niet als hinderlijk. Vonkontladingen die stress of hinder veroorzaken, dienen te worden vermeden.

*Tabel 7 Referentieniveaus voor de contactstroom van geleidende voorwerpen.
(bron: EU [65])*

frequentiegebied	maximale contactstroom (f in kHz)
	mA
300 Hz - 2,5 kHz	0,5
2,5 kHz - 100 kHz	0,2 f
100 kHz - 110 MHz	20

Figuur 25, Figuur 26 en Figuur 27 geven de referentieniveaus voor *E*, *H*, en *B* als functie van de frequentie. Hoewel het referentieniveau voor *B* ook berekend kan worden uit het referentieniveau voor *H* via de formule in Paragraaf 2.2.1, is van beide grootheden een grafiek opgenomen.

Figuur 28 en Figuur 29 geven de referentieniveaus voor de vermogensdichtheid *S* respectievelijk de contactstroom I_C van geleidende voorwerpen als functie van de frequentie. In het frequentiegebied van 10 MHz tot 110 MHz beveelt de EU aan de elektrische stroom door de extremiteiten I_E te beperken tot 45 mA.

De referentieniveaus voor E , H , B , I_C en I_E gelden voor effectieve waarden, die worden verkregen door berekening van de zogenaamde *Root Mean Square*-waarde (RMS). Dit is de wortel uit het (tijd-)gemiddelde van het kwadraat. Bij periodieke signalen waarvan het vermogen evenredig is met het kwadraat, zoals stroomsterkte of elektrische of magnetische veldsterkte, is de RMS-waarde die waarde, die als het signaal niet periodiek maar constant zou zijn, met hetzelfde gemiddelde vermogen gepaard zou gaan. De RMS-waarde van een elektrisch veld $E(t)$ met periode T is:

$$RMS = \left[\frac{1}{T} \int_0^T E(t)^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

Bij sinusvormige velden is de RMS-waarde circa 71% van de maximale waarde.

Als de intensiteit van de velden niet constant is, mag onder de volgende voorwaarden met gemiddelde waarden worden gerekend:

- 1 De gemiddelde waarde van E , H , en B worden berekend als de wortel uit het gemiddelde van het kwadraat van de veldsterkte. Voor S wordt gewoon het rekenkundig gemiddelde gehanteerd.
- 2 De referentieniveaus gelden voor iedere willekeurige periode van 6 min voor frequenties f tussen 100 kHz en 10 GHz. Voor $f > 10$ GHz wordt de middelingsperiode berekend als $68 / (f / \text{GHz})^{1,05}$ minuten.
- 3 Piekwaarden (hoge waarden gedurende een periode die beduidend korter is dan de middelingsperiode) worden als volgt beperkt. Eerst berekent men een frequentie f uit de duur van de piek t_p , volgens $f = 1 / (2t_p)$. Vervolgens zoekt men het bij deze frequentie behorende referentieniveau op in Figuur 25, Figuur 26 of Figuur 27. Ten slotte vermenigvuldigt men deze waarde met een factor r , af te lezen in Figuur 30 of te berekenen als:

voor $f < 100$ kHz: $r = \sqrt{2} \approx 1,41$;

voor $f > 10$ MHz: $r = \sqrt{1000} \approx 32$;

daartussen (0,1–10 MHz) $r = 6,8 \times (f / \text{MHz})^{0,68}$.

De piekwaarde dient beneden het aldus bepaalde (piek)referentieniveau te blijven.

Veel bronnen zenden tegelijkertijd straling uit met meer dan een frequentie, hetzij door gebruik van verschillende draaggolven, hetzij doordat het signaal gepulst of niet sinusvormig is. Voor dergelijke gevallen kan men als volgt bepalen of de verzameling veldsterkten en stroomsterkten voldoet aan de door de EU aanbevolen eisen. Bij iedere relevante frequentie f_i leest men de waarden a_i , b_i , c_i , d_i af uit Figuur 31 en e_i uit Figuur 29 (indien f_i buiten het aangegeven frequentiegebied valt, dient de waarde ∞ , oneindig, te worden ingevuld).

Vervolgens moeten de volgende optellingen worden verricht:

- 1 de som van de waarden E_i / a_i voor de relevante frequenties f_i tussen 1 Hz en 10 MHz;
- 2 de som van de waarden H_i / b_i voor de relevante frequenties f_i tussen 1 Hz en 10 MHz;
- 3 de som van de waarden $(E_i / c_i)^2$ voor de relevante frequenties f_i tussen 100 kHz en 300 GHz;
- 4 de som van de waarden $(H_i / d_i)^2$ voor de relevante frequenties f_i tussen 100 kHz en 300 GHz;
- 5 de som van de waarden $(I_{E,i} / 45 \text{ mA})^2$ voor de relevante frequenties f_i tussen 10 MHz en 110 MHz; en
- 6 de som van de waarden $(I_{C,i} / e_i)^2$ voor de relevante frequenties f_i tussen 1 Hz en 110 MHz,

waarin E_i respectievelijk H_i de component van E respectievelijk H is bij frequentie f_i , $I_{E,i}$ die van de elektrische stroom in extremiteiten (armen, benen) I_E , en $I_{C,i}$ van de elektrische contactstroom I_C .

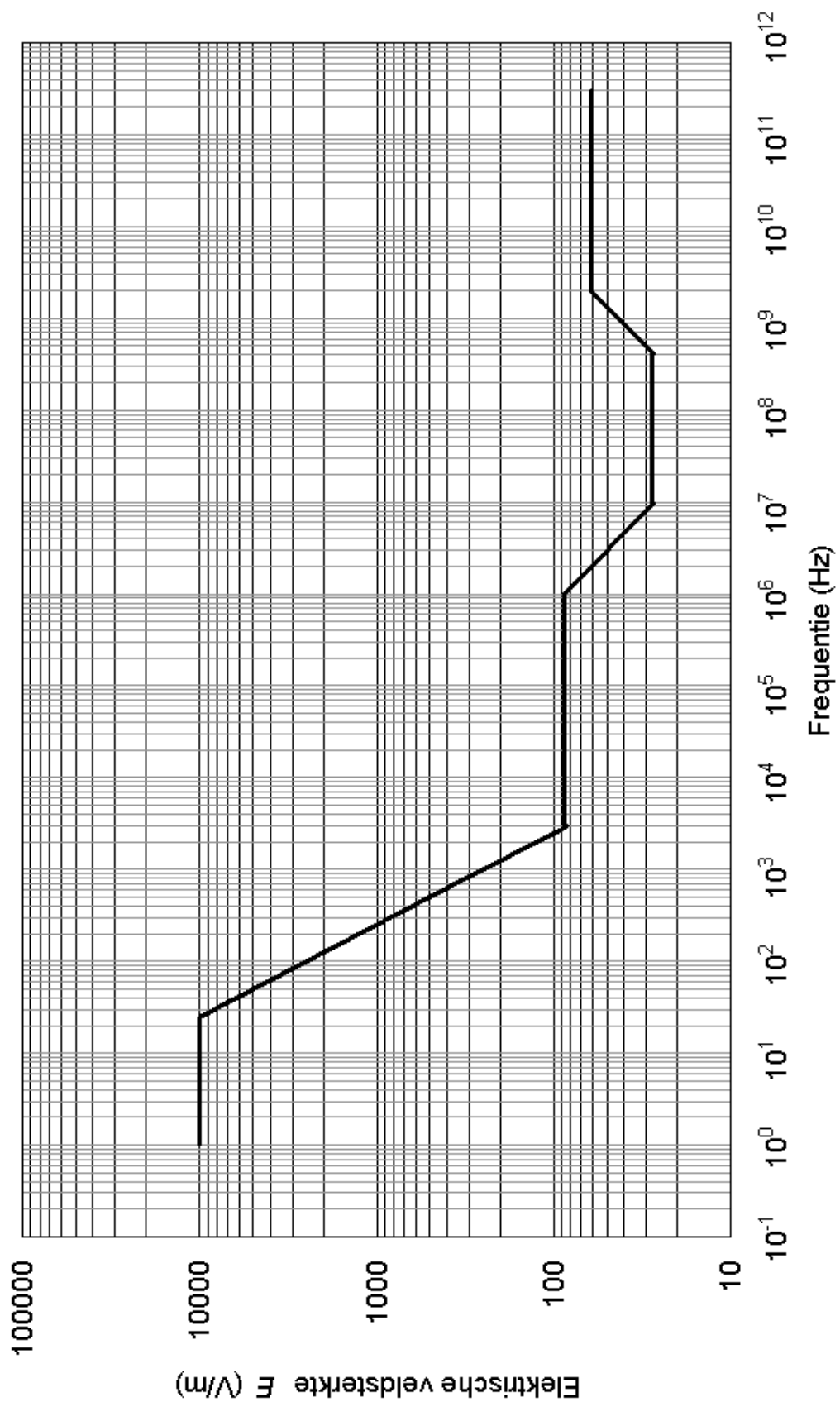
Aan al deze sommen wordt de eis gesteld, dat ze kleiner dan 1 moeten zijn.

Voorbeeld

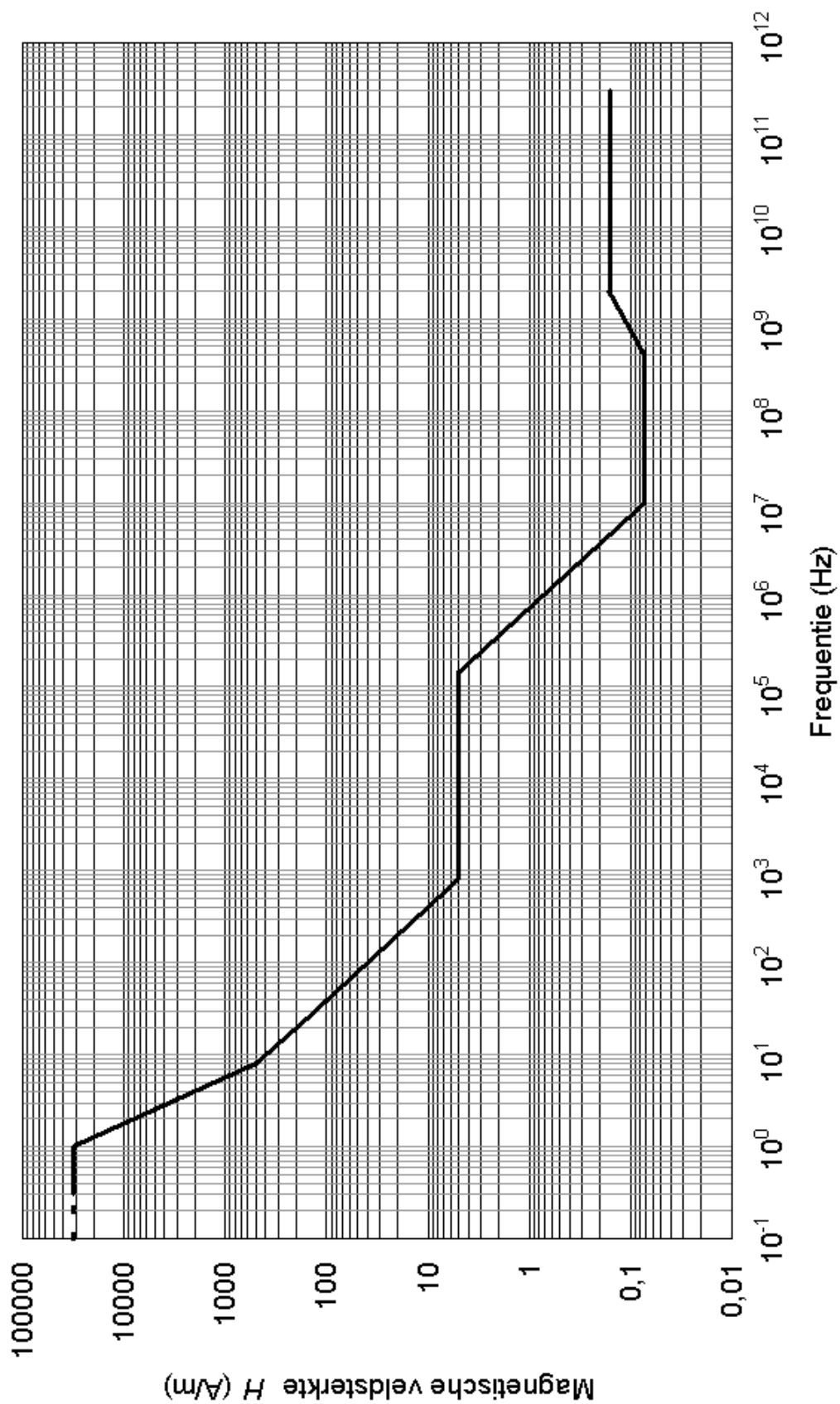
Een publiek toegankelijk terrein bevindt zich in de buurt van een zendmast die drie frequenties uitzendt: 100 kHz, 4 MHz, en 20 MHz. Metingen wijzen uit dat de RMS-waarden van het E -veld op een bepaald punt op het terrein voor deze drie frequenties respectievelijk 40, 30 en 20 V/m bedragen. Met behulp van de figuren kan nu de volgende tabel worden ingevuld:

f (Hz)	E (V/m)	E_{ref} (V/m)	a (V/m)	c (V/m)	E/a	$(E/c)^2$
$1 \cdot 10^5$	40	87	87	27	0,46	0,02
$4 \cdot 10^6$	30	43	87	43	0,34	0,49
$2 \cdot 10^7$	20	28	∞	28	0	0,51
som					0,8	1,02

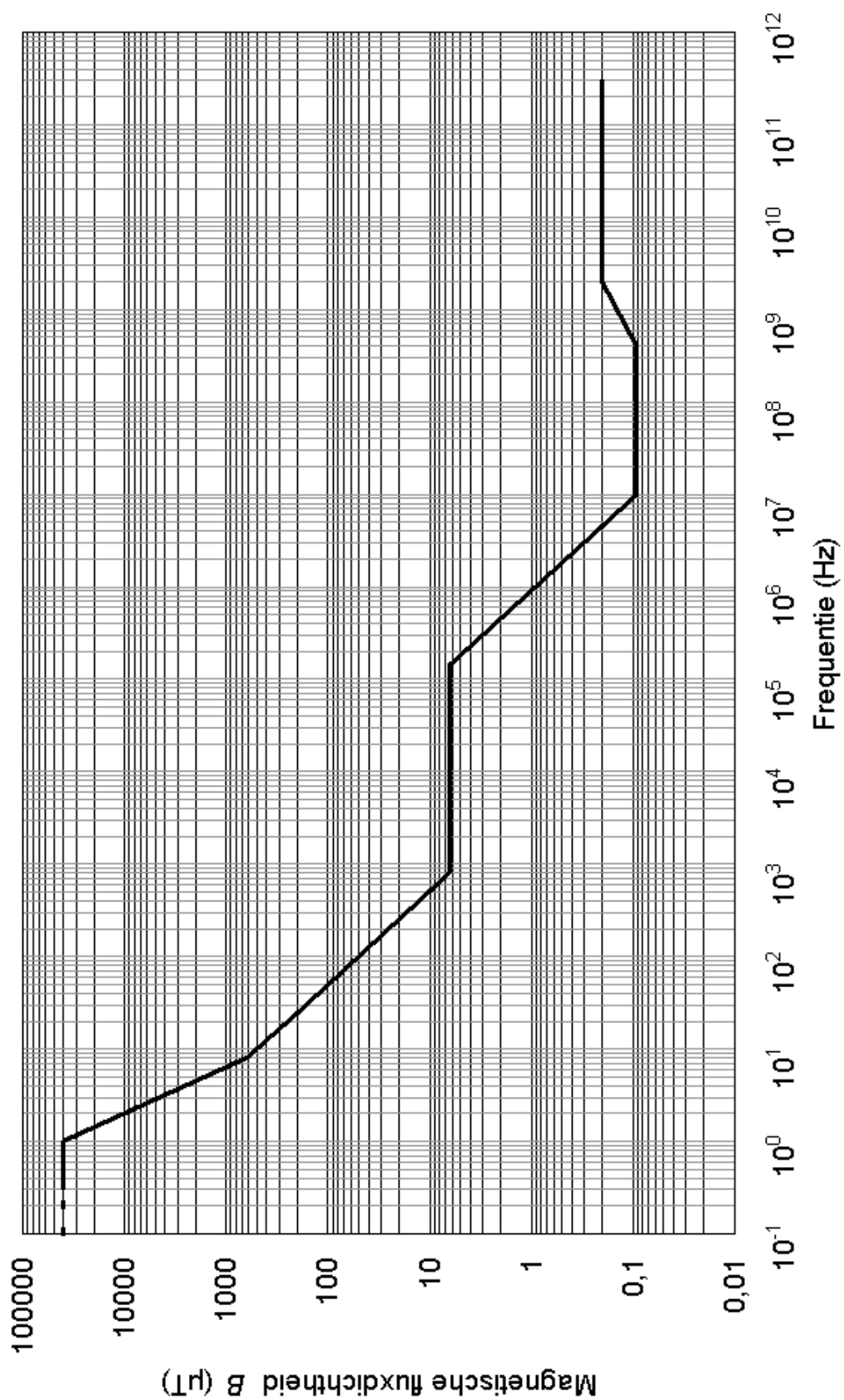
Geen van de referentieniveaus voor enkelvoudige frequenties wordt overschreden. De optelling van de waarden E/a levert een waarde kleiner dan 1 maar de optelling van de waarden $(E/c)^2$ levert een waarde juist boven de 1. Er is dus sprake van een overschrijding van de referentieniveaus.



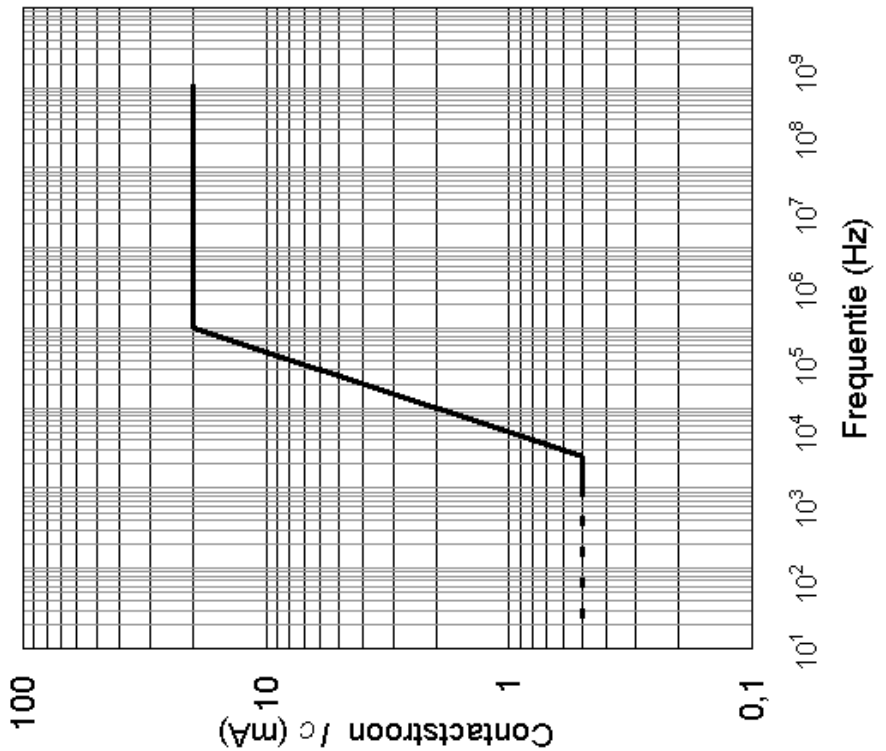
Figuur 25 Referentieniveaus elektrische veldsterkte.



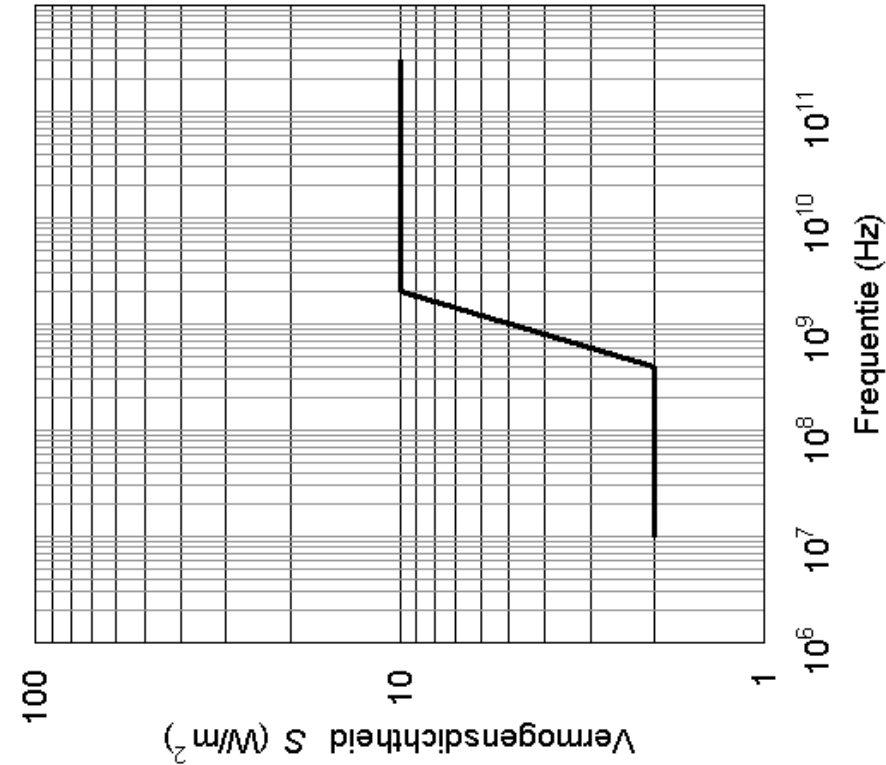
Figuur 26 Referentieniveaus magnetische veldsterkte.



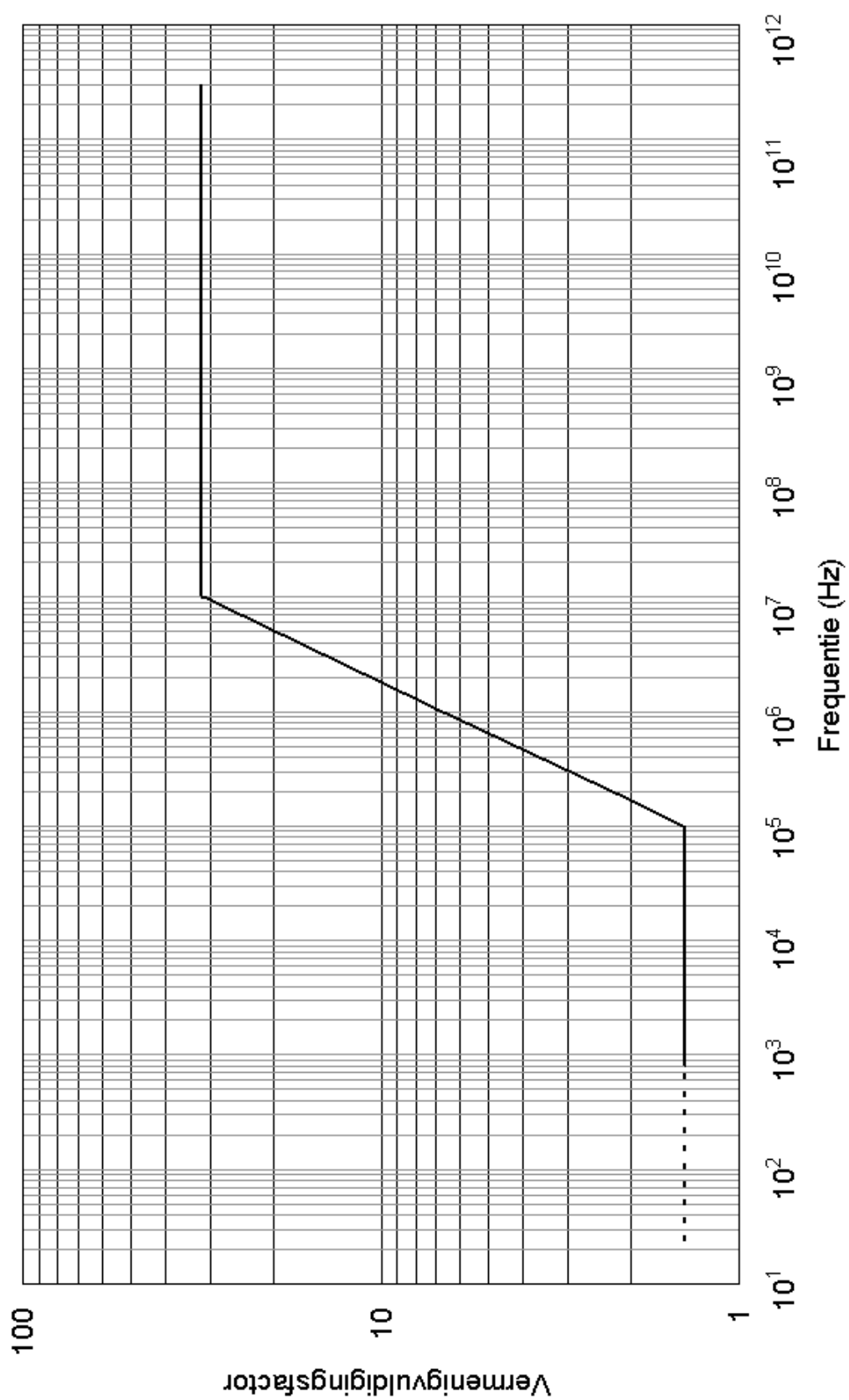
Figuur 27 Referentieniveaus magnetische fluxdichtheid.



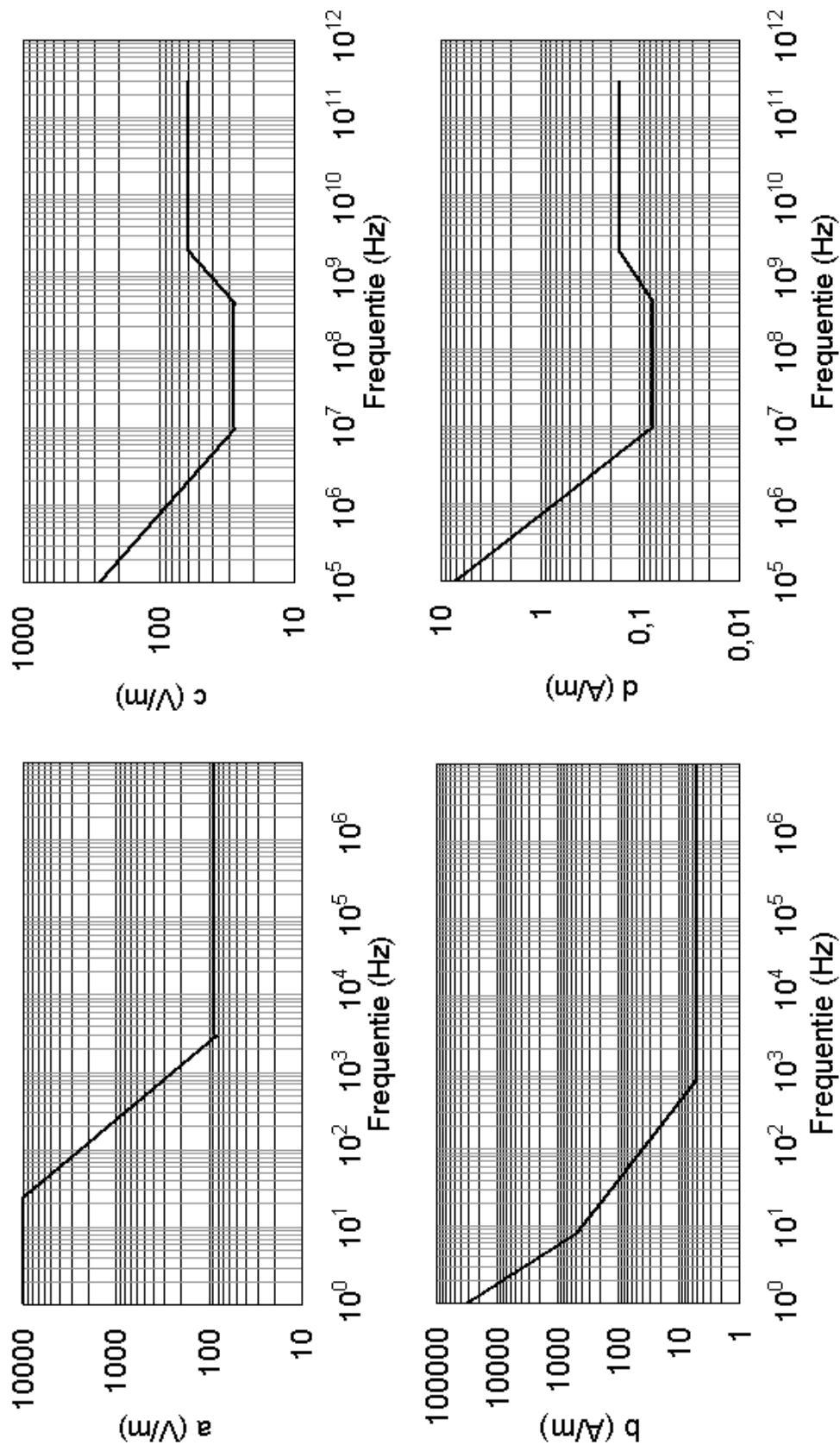
Figuur 29 Referentieniveaus contactstroom.



Figuur 28 Referentieniveaus vermogensdichtheid.



Figuur 30 Vermenigvuldigingsfactor voor berekenen van referentieniveaus voor piekwaarden.



Figuur 31 Waarden a, b, c, en d ten behoeve van het optellen bij meerdere frequenties.

Datum: 03-12-2019

Rapportnummer: 861020007 / 2004

Rapporttitel: Gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden - Probleemanalyse niet-ioniserende straling

Erratum:

Op pagina 86, laatste regel, moet de zin
'Dit is boven het referentieniveau van 61 V/m.'
worden gelezen als
'Deze piekwaarde van 80 V/m ligt beneden het piekreferentieniveau van 1928 V/m.'

Voor akkoord, 3 december 2019
Ir. R. (Ronald) van der Graaf
Afdelinghoofd Integrale Ruimtelijke Vraagstukken
Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid